

GILSON SERGIO LUCIANO JUNIOR

**INFLUÊNCIA DE RELAÇÕES CÁLCIO/MAGNÉSIO EM CALCÁRIOS NO
RENDIMENTO DE MASSA SECA DE CULTURAS EM CASA-DE-VEGETAÇÃO**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre no Curso de Pós-graduação em Ciência do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC.

Orientador: Paulo Roberto Ernani

Co-orientador: Luciano Colpo Gatiboni

**LAGES
2018**

**Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da
Biblioteca Setorial do CAV/UEDESC,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

Luciano Junior, Gilson Sergio
Influência de relações cálcio/magnésio em calcários no rendimento de massa seca de culturas em casa-de-vegetação / Gilson Sergio Luciano Junior. – 2018.
56 p.

Orientador: Paulo Roberto Ermani
Coorientador: Luciano Colpo Gatiboni
Dissertação (Mestrado) -- Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência Do Solo, Lages, 2019.

1. Calagem. 2. Acidez. 3. Cálcio. 4. Magnésio. I. Ermani, Paulo Roberto . II. Gatiboni, Luciano Colpo. III. Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência Do Solo. IV. Título.

GILSON SERGIO LUCIANO JUNIOR

**INFLUÊNCIA DE RELAÇÕES CÁLCIO/MAGNÉSIO EM CALCÁRIOS NO
RENDIMENTO DE MASSA SECA DE CULTURAS EM CASA-DE-VEGETAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina no Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo

Banca examinadora:

Orientador: 

Prof. PhD. Paulo Roberto Ernani

Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC

Membro: 

Prof. Dr. Paulo Cezar Cassol

Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC

Membro 

Prof. Marelise Nara Ciotta

Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina - Epagri

Lages, 21 de novembro de 2018

AGRADECIMENTOS

A Deus, que possibilitou esta conquista pessoal e profissional. Aos meus pais Nade e Gilson e a todos os familiares pela compreensão nos momentos de ausência e pelas infinitas demonstrações de incentivo. Ao professor Paulo Roberto Ernani pela orientação, exemplo profissional e confiança.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento à pesquisa. Ao Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC) pela infraestrutura e suporte necessário. Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, pela oportunidade.

Aos colegas do Laboratório de Química e Fertilidade do Solo, pela disposição, prestatividade e conhecimentos necessários para a correta execução das análises.

RESUMO

LUCIANO JR. G. S. **INFLUÊNCIA DE RELAÇÕES CÁLCIO/MAGNÉSIO EM CALCÁRIOS NO RENDIMENTO DE MASSA SECA DE CULTURAS EM CASA-DE-VEGETAÇÃO**. 2018, 56p. Dissertação (Mestrado em ciência do solo) – Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Lages, 2018.

Muitos solos brasileiros são naturalmente ácidos, limitando o rendimento vegetal, e a prática mais comum utilizada para corrigir esse problema é a calagem, através da aplicação de calcários calcínicos ou dolomíticos ao solo. Porém, se a relação entre cálcio e magnésio no solo não for adequada, poderão ocorrer problemas nutricionais nas plantas, e resultar em prejuízos às mesmas. O presente trabalho foi elaborado objetivando-se avaliar a eficiência de calcários com diferentes relações Ca:Mg na correção da acidez do solo, no rendimento de massa seca e também na absorção de nutrientes por plantas de milho, feijão e trigo. Os experimentos foram instalados em casa-de-vegetação, de 2016 a 2017, com três cultivos, e dois Latossolos. Os tratamentos consistiram de doses de calcário, misturando-se carbonato de cálcio e de magnésio nas seguintes relações molares de Ca e Mg: 0,5:1; 1:1; 2:1; 4:1 e 8:1. O experimento foi conduzido em blocos inteiramente casualizados com cinco tratamentos para cada solo e quatro repetições para cada tratamento. A adição de calcário ao solo elevou os níveis de pH a valores próximos de 5,5 para os três cultivos utilizados, que são considerados adequados para um desenvolvimento vegetal satisfatório. A quantidade de cálcio no solo e a absorvida pelas plantas aumentou com o aumento da relação Ca:Mg, e o inverso ocorreu com o magnésio. Cada unidade experimental produziu cerca de 5,0g de massa seca de tecido vegetal para cada cultura e não foi afetada pelas diferentes relações molares entre Ca e Mg. Sendo assim, pode-se usar calcários com diferentes relações Ca:Mg ao solo se, prejudicar o rendimento, desde que os teores de ambos no solo estejam em quantidades satisfatórias.

Palavras-chave: Calagem. Relação Ca:Mg. Acidez do solo.

ABSTRACT

LUCIANO JR. G. S. INFLUENCE OF THE CALCIUM/MAGNESIUM RATIO OF THE LIMESTONE ON DRY MASS YIELD OF CROPS IN A GREENHOUSE STUDY. 2018, 56p. Dissertation (Master degree in Soil Science) - Agroveterinary Sciences Center, Santa Catarina State University. Graduate Program in Soil Science, Lages, 2018.

Many Brazilian soils are naturally acidic, limiting plant yield, and require liming to increase the soil pH. However, if the relation between calcium and magnesium in the soil is not adequate, the use of limes with different Ca:Mg ratio may affect crop grow. The present work was carried out to evaluate the efficiency of limestone with different Ca:Mg ratios in soil acidity correction, dry mass yield and Ca and Mg uptake by different crops. Two Oxisols were used varying in their clay content. Three experiments were conducted in a greenhouse from 2016 to 2017, respectively with mayze, black beans and wheat. The treatments consisted of limestones, in order to have the following Ca:Mg molar ratios: 0.5:1; 1:1; 2:1; 4:1 and 8:1. Treatments were arranged in a completely randomized blocks design with four replicates. Addition of limestone to the soil raised the pH levels to values around 5,5, considered adequate for a satisfactory plant development. The amount of Ca in the soil as well as that taken up by the plants increased with increases on the Ca:Mg ratio in the lime; the opposite occurred for Mg. The amount of dry mass produced in each experimental unit was around 5.0g with no effect of the Ca:Mg ratio of the limes. Thus, in soils with adequate Ca and Mg in the adequate range, the ratio of Ca and Mg in the limestones has no influence on dry mass yield.

Keywords: Liming. Ca:Mg ratio. Soil acidity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Efeito da aplicação de corretivos da acidez com diferentes relações ca:mg nos valores desses nutrientes, na média dos dois solos, em amostras coletadas após o cultivo do milho.....	34
Figura 2 - Efeito da aplicação de corretivos da acidez com diferentes relações Ca:Mg nos valores desses nutrientes em dois Latossolos com diferentes teores de argila, em amostras coletadas após o cultivo de feijão.	35
Figura 3 - Efeito da aplicação de corretivos da acidez com diferentes relações Ca:Mg nos valores desses nutrientes em dois Latossolos com diferentes teores de argila, em amostras coletadas após o cultivo de trigo.....	36
figura 4 - Comparação entre os teores trocáveis de cálcio e magnésio para os três cultivos no lbvac com 66,6% de argila.	37
figura 5 - Comparação entre os teores trocáveis de cálcio e magnésio para os três cultivos no lbvac com 43% de argila.	38
Figura 6 - Efeito da aplicação de corretivos da acidez com diferentes relações Ca:Mg nos valores de rendimento de massa seca de milho. Em dois Latossolos com diferentes teores de argila. Presença de letras diferentes indica existência de diferença estatística entre os solos, considerando as médias dos calcários pelo teste de Tukey ($P<0,05$)	39
figura 7 - Efeito da aplicação de corretivos da acidez com diferentes relações ca:mg nos valores de rendimento de massa seca de feijão em dois latossolos com teores variáveis de argila. ausência de letras indica inexistência de diferença estatística entre as médias dos cultivos pelo teste de tukey ($p<0,05$). lbvac = 66,6% de argila; lbcer = 43% de argila.	41
Figura 8 - Efeito da aplicação de corretivos da acidez com diferentes relações Ca:Mg nos valores de rendimento de massa seca de trigo. Em dois Latossolos com diferentes teores de argila. Presença de letras diferentes indica existência de diferença estatística entre os solos, considerando as médias dos calcários pelo teste de Tukey ($P<0,05$).	42
Figura 9 - Efeito da aplicação de corretivos da acidez com diferentes relações Ca:Mg nos valores de absorção de Ca no primeiro cultivo (milho) na média dos dois Latossolos avaliados.	43
Figura 10 - Efeito da aplicação de corretivos da acidez com diferentes relações Ca:Mg nos valores de absorção de Ca, no primeiro cultivo (milho), em dois Latossolos com diferentes teores de argila. Médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($P<0,05$). LBVac = 66,6% de argila; LBcer = 43% de argila.....	44
Figura 11 - Efeito da aplicação de corretivos da acidez com diferentes relações Ca:Mg nos valores de absorção de Mg em dois Latossolos no primeiro cultivo (milho). LBVac = 66,6% de argila; LBcer = 43% de argila.	45
Figura 12 - Efeito da aplicação de corretivos da acidez com diferentes relações Ca:Mg nos valores de absorção de Ca no terceiro cultivo (trigo), pelo teste de Tukey ($P<0,05$)... ..	48
Figura 13 - Efeito da aplicação de corretivos da acidez com diferentes relações Ca:Mg nos valores de absorção de Ca, no terceiro cultivo (trigo) em dois Latossolos com diferentes teores de argila, pelo teste de Tukey ($P<0,05$). LBVac = 66,6% de argila; LBCer = 43% de argila.	48
Figura 14 - Efeito da aplicação de corretivos da acidez com diferentes relações Ca:Mg nos valores de magnésio entre os tratamentos, na cultura do trigo pelo teste de Tukey ($P<0,05$). Letras diferentes indicam existência de diferença estatística.	49
Figura 15 - Efeito da aplicação de corretivos da acidez com diferentes relações Ca:Mg nos valores de magnésio entre os Latossolos, na cultura do trigo pelo teste de Tukey ($P<0,05$). LBVac = 66,6% de argila; LBcer = 43% de argila.....	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Caracterização físico-química dos solos utilizados no exp	Tabela 1. Caracterização físico-química dos solos utilizados no experimento, onde LBVac = Latossolo Bruno Distrófico típico e LBCer = Latossolo Bruno Alumínico típico.	29
Tabela 2 - Efeito da aplicação de corretivos da acidez com diferentes relações Ca:Mg nos valores de pH-H ₂ O e pH-sal em dois Latossolos com teores variáveis de argila.....		33
Tabela 3 - Efeito da aplicação de corretivos da acidez com diferentes relações Ca:Mg nos valores de massa seca do primeiro cultivo em dois Latossolos com diferentes teores de argila.		39
Tabela 4 - Efeito da aplicação de corretivos da acidez com diferentes relações Ca:Mg nos valores de massa seca de feijão em dois Latossolos com teores diferentes de argila.		40
Tabela 5 - Efeito da aplicação de corretivos da acidez com diferentes relações Ca:Mg nos valores de massa seca de feijão em dois Latossolos com teores diferentes de argila.		42
Tabela 6 - Efeito da aplicação de corretivos da acidez com diferentes relações Ca:Mg nos valores de magnésio em tecido vegetal absorvidos pelas plantas em dois Latossolos, na cultura do feijão.....		47
Tabela 7 - Efeito da aplicação de corretivos da acidez com diferentes relações Ca:Mg nos valores de magnésio em dois solos, na cultura do trigo.....		50

Sumário

1	INTRODUÇÃO	17
2	REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	19
2.1	TIPOS DE ACIDEZ E CALAGEM NOS SOLOS ÁCIDOS	19
2.2	MINERALOGIA E FORMAS DE CÁLCIO E MAGNÉSIO EM SOLOS	21
2.3	INTERAÇÕES ENTRE CÁLCIO E MAGNÉSIO E SUAS DISPONIBILIDADES NO SOLO	22
2.4	EFEITO DAS INTERAÇÕES ENTRE CÁLCIO E MAGNÉSIO NA COMPOSIÇÃO MINERAL E NO RENDIMENTO DAS CULTURAS.....	25
3	OBJETIVO	27
4	MATERIAL E MÉTODOS	29
4.1	CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DOS EXPERIMENTOS	29
4.2	TRATAMENTOS E AVALIAÇÕES	30
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
5.1	pH	33
5.2	EFEITOS NOS VALORES DE CA E MG NO SOLO	33
5.2.1	Primeiro Cultivo	33
5.2.2	Segundo Cultivo	34
5.2.3	Terceiro Cultivo	36
5.3	EFEITO NO RENDIMENTO DE MASSA SECA	38
5.3.1	Primeiro cultivo	38
5.3.2	Segundo Cultivo	40
5.3.3	Terceiro Cultivo	41
5.4	ABSORÇÃO DE Ca e Mg PELAS PLANTAS	43
5.4.1	Primeiro cultivo	43
5.4.2	Segundo cultivo	46
5.4.3	Terceiro Cultivo	47
6	CONCLUSÕES	530

1 INTRODUÇÃO

Os sistemas agrícolas são expostos a ações naturais e antropogênicas que podem ser benéficas ou causarem prejuízos às plantas que ali serão cultivadas. Dentre estes, o desequilíbrio entre os nutrientes no solo destaca-se como um dos mais problemáticos, pois pode restringir o desenvolvimento da planta (CORRÊA et al., 2006). Esse desequilíbrio acontece devido a vários fatores, como a disponibilidade de nutrientes no solo e a absorção deles pelas plantas. Os principais fatores que afetam a disponibilidade e a absorção de nutrientes são: o tipo de solo, o pH, a concentração na solução do solo e o equilíbrio entre as formas sólidas e as formas presentes na solução do solo, além das interações entre íons.

Muitos solos brasileiros são naturalmente ácidos e apresentam teores de alumínio tóxicos às plantas, que limitam o aumento do rendimento vegetal além de limita a penetração radicular. Por isso, a calagem é uma prática agrícola normalmente utilizada pelos produtores e que, na maioria das vezes, proporciona retornos econômicos satisfatórios (PINTO DELLA FLORA, 2006).

A acidez dos solos pode ter origem em vários fatores, entre eles pode-se citar: o intemperismo dos minerais de argila que liberam Al, Fe e Mn para a solução do solo e esses, ao serem hidrolisados, liberam íons H^+ ; a decomposição da matéria orgânica que, devido à desprotonação de seus radicais ácidos, é um dos principais agentes tamponantes da acidez; a produção de gás carbônico, que libera íons H^+ pela dissociação dos bicarbonatos (HCO_3^-), principalmente em solos com pH maior que 5,0; a adição de fertilizantes de reação ácida (como os nitrogenados amoniacais e a ureia) que produzem íons H^+ ao final de suas reações químicas; além da lixiviação de cátions básicos, ou a absorção desses pelas plantas, que resulta na diminuição da sua concentração no solo e por isso poderá também reduzir o pH do mesmo.

A calagem consiste na aplicação de carbonato de cálcio (calcário), hidróxido de cálcio, óxido de cálcio, ou carbonato de cálcio/magnésio (calcário dolomítico) ao solo, seja em superfície ou incorporados ao solo (MERINO-GERGICHEVICH et al., 2010). O calcário é o corretivo de acidez mais usado, pois é um produto de ocorrência natural, disponível com boa frequência, grande quantidade e ampla distribuição geográfica. É um produto com baixa solubilidade em água, e sua ação neutralizante depende da superfície de contato com o solo e da umidade do mesmo (RODRIGHERO; BARTH; CAIRES, 2015).

Quando feita em níveis adequados, a adição de calcário aumenta o pH do solo e com isso diminui os níveis tóxicos de Al, além de aumentar a disponibilidade de fósforo para as plantas, por diminuir a capacidade de adsorção do P aos óxidos de menor grau de cristalinidade (aumenta a área superficial específica - ASE). A calagem também afeta a concentração de vários outros elementos necessários para o desenvolvimento vegetal, como o potássio (PINTO DELLA FLORA, 2006), podendo diminuir sua concentração devido à migração deste para as cargas criadas pela adição do corretivo, e os micronutrientes.

Dependendo das quantidades de Ca e Mg existentes no solo e do tipo e dose de calcário aplicado, a relação entre cálcio e magnésio no solo pode não ficar dentro da faixa adequada, podendo, com isso, ocasionar problemas nutricionais nas plantas.

O presente trabalho teve por objetivo avaliar o efeito de diferentes relações entre Ca e Mg no solo, proporcionadas pela aplicação calcários com diferentes relações Ca:Mg, na absorção desses cátions por diferentes culturas e na produção de massa seca das mesmas em experimentos conduzidos em casa-de-vegetação, pois a importância do estudo destes dois cátions reside no fato de que eles irão interferir na concentração de outros cátions no solo, sendo estes tão importantes quanto o Ca e o Mg.

2 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

A acidez do solo é um dos fatores que mais limita a produção das culturas em solos altamente intemperizados, como é o caso da maioria dos solos que ocorre no território brasileiro. Os problemas com a acidez ocorrem, principalmente, em decorrência de uma baixa capacidade de troca de cátions, baixa saturação por bases, elevados teores de alumínio e manganês além de afetar direta e indiretamente a disponibilidade de outros nutrientes essenciais, podendo provocar distúrbios fisiológicos nas plantas e afetar o rendimento das culturas (HOLZSCHUH, 2007).

Dentre os nutrientes, o cálcio geralmente encontra-se em baixa concentração nos solos ácidos, onde teores variando de 2,0 a 4,0 cmolc kg⁻¹ podem ser considerados como médios. Este nutriente participa das funções estruturais, osmóticas e de mensageiro citoplasmático nas plantas. Estudos têm tentado relacionar os teores de cálcio, tanto no solo como na planta, com outros elementos. Clarck et al. (1997), por exemplo, observaram em plantas de milho cultivadas em casas de vegetação, que conforme aumenta-se o teor de magnésio aplicado ao solo, o teor de cálcio é reduzido.

2.1 TIPOS DE ACIDEZ E CALAGEM NOS SOLOS ÁCIDOS

Existem dois tipos de acidez no solo: a ativa e a potencial. A acidez ativa é representada pela atividade dos íons H⁺ na solução do solo. É a forma que afeta as plantas e quase todas as reações que acontecem no solo que estejam relacionadas à disponibilidade de nutrientes. É expressa nos laudos de análise de solo através do valor do pH, que é determinado em água e/ou solução salina.

A acidez potencial é formada pela soma de todas as fontes de H⁺ existentes nos componentes sólidos do solo, destacando-se o alumínio trocável (Al⁺³) e grupos funcionais orgânicos e inorgânicos. É proporcional, portanto, aos teores de alumínio, argila e matéria orgânica, que determinam a necessidade de calcário, pois é tamponante da acidez ativa.

O calcário é um produto de ocorrência natural, resultante da moagem das rochas, disponível com relativa frequência, abundância e boa distribuição geográfica. É constituído principalmente pela calcita (CaCO₃) e pela dolomita [Ca.Mg(CO₃)₂], em proporções variáveis. É um produto de baixa solubilidade em água e, por isso, sua ação neutralizante depende da superfície de contato e da umidade do solo. Assim, quanto mais fino o corretivo, mais rápida será sua reação, desde que o solo esteja úmido (RODRIGHERO; BARTH; CAIRES, 2015).

Entre os fatores que afetam a eficiência do calcário, pode-se citar a área superficial de contato com o solo, que depende da uniformidade da aplicação e da antecedência em relação aos períodos de demanda pelas culturas (ANGHINONI; SALET, 2000). Entretanto, na escolha do corretivo alguns aspectos em relação à sua qualidade devem ser observados, principalmente suas características químicas, como o teor e do tipo de compostos neutralizantes, ou seja, o Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT), que irá indicar qual a eficiência do calcário em neutralizar a acidez, ou seja, quanto mais alto o valor, maior o poder de neutralização, assim como pelas suas características físicas, que são determinadas pelo grau de moagem, ou seja, a sua granulometria (TEDESCO; GIANELLO, 2000; ALCARDE; RODELLA, 2003).

A correção da acidez do solo, através do uso de calcário (CaCO_3 e MgCO_3), contribui fortemente para o aumento da produtividade das culturas em virtude de melhoria nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (FREIRIA et al., 2008; BARRETO et al., 2008). Guimarães Jr (2013) constataram que a produção de massa seca de plantas forrageiras não é afetada pela interação entre a relação Ca:Mg no solo. Salvador et. al (2011), verificaram que o aumento da relação Ca:Mg aumenta a concentração de cálcio na parte aérea e reduz a concentração de Mg dessa parte.

A calagem em solos ácidos pode desencadear vários processos. (BOLAN et al. 2011) decorrentes do aumento do pH: a calagem aumenta as concentrações de Ca^{+2} e Mg^{+2} na solução e nas cargas elétricas, diminui e até elimina a concentração de Al trocável (Al^{+3}), pois esse irá se juntar às hidroxilas adicionadas ao solo e o Al passa a existir sob a forma de $\text{Al}(\text{OH})_4^-$, que não é tóxica às plantas. O mesmo acontece com o Mn^{+2} . Altera também a concentração de vários micronutrientes na solução do solo, que irão se ligar às hidroxilas adicionadas pelo calcário e, pelo mesmo motivo do Al, ficarão indisponíveis às plantas.

A baixa solubilidade dos calcários é responsável pela pequena velocidade de suas reações, principalmente se eles não forem misturados (incorporados) ao solo. As reações de solubilização em condições normais de solos ácidos são lentas e dependem basicamente da velocidade de difusão dos íons Ca^{+2} e Mg^{+2} , HCO_3^- e OH^- no solo, a partir da partícula do corretivo, do grau de acidez do solo e da presença de água. As moléculas de carbonato de cálcio e de magnésio são bastante estáveis, uma vez que, a solubilidade do CaCO_3 é de $0,014 \text{ g L}^{-1}$ e a do MgCO_3 de $0,106 \text{ g L}^{-1}$, a 25°C , demonstrando que o carbonato de cálcio apresenta uma menor solubilidade em água do que o carbonato de magnésio (TEDESCO; GIANELLO, 2000; ALCARDE; RODELLA, 2003).

Entretanto, Barber (1967) afirma que os calcários dolomíticos, apesar de apresentarem um maior poder de neutralização em relação ao CaCO_3 , reagem mais lentamente com os solos ácidos do que calcários calcíticos, devido a maior estabilidade da dolomita comparada à calcita. Além disso, o Ca e o Mg adicionados pela calagem possuem baixa mobilidade no perfil porque os ânions provenientes da reação do calcário no solo (carbonatos, bicarbonatos, óxidos e hidróxidos) não permanecem por muito tempo na solução do solo, uma vez que reagem rapidamente com os ácidos do solo. Com isso, a quase totalidade do Ca e do Mg adicionados pela calagem migra para as cargas negativas criadas ou desocupadas pelo aumento do pH.

O tempo de duração do efeito residual da calagem no solo depende do poder tampão do solo e também da dose de calcário aplicada. Além dos efeitos nos nutrientes e pH do solo, já citados, a adição de calcário ao solo também aumenta a atividade orgânica e a disponibilidade de nitrogênio, enxofre, fósforo e molibdênio, além da CTC e interfere na estabilidade de agregados e dispersão das argilas, uma vez que a calagem diminui o grau de floculação da argila. Esta redução está, provavelmente, relacionada com o aumento da espessura da dupla camada elétrica difusa dos coloides atribuído à criação de cargas negativas (ALBUQUERQUE et al., 2003). Tudo isso variando conforme tipo de solo, espécie cultivada, pH e espessura da camada com aplicação de calcário (ERNANI, 2016).

2.2 MINERALOGIA E FORMAS DE CÁLCIO E MAGNÉSIO EM SOLOS

Os minerais primários, como feldspatos, micas e secundários, como as vermiculitas podem ser encontrados nas diferentes frações do solo, sendo responsáveis por grande parte do suprimento de cálcio e magnésio para a solução do solo resultante do processo de intemperismo (KÄMPF; CURI; MARQUES, 2009). Em ambientes subtropicais, estes minerais são frequentemente encontrados (BORTOLUZZI et al., 2005; CASTRO et al., 2010; FRAGA et al., 2009; MELO; MEURER; PINTO, 2004) e as formas estruturais, não trocáveis e trocáveis de cálcio e magnésio, constituem as reservas desses elementos nos solos. As formas prontamente disponíveis para as plantas são representadas pelas frações trocáveis e pela fração presente na solução do solo (MELO; CASTILHOS; PINTO, 2009).

As formas trocáveis de cálcio e magnésio representam frações destes nutrientes que estão ligadas eletrostaticamente às cargas negativas na superfície dos coloides orgânicos e minerais. Estas formas apresentam alta capacidade de repor os nutrientes retirados da solução do solo pela absorção radicular ou perdidos por lixiviação (MELO; CASTILHOS; PINTO,

2009). O cálcio e o magnésio, presentes nessa forma, são facilmente trocados por outros cátions da solução do solo, migrando para a solução e contribuindo de forma imediata para a nutrição das plantas. Os teores de cálcio e magnésio na solução são bastante variáveis entre as classes de solos, os teores de cálcio variando de 2,0 a 4,0 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, sendo geralmente mais abundantes do que os de magnésio, que variam de 0,4 a 0,8 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$.

Para a cultura do milho, cultivado em solo do cerrado, os melhores rendimentos foram obtidos com uma relação Ca:Mg de 3:1, segundo estudos realizados por silva (1980). De acordo com salvador (2011) a relação 3:1 é a mais adequada para o cultivo da soja, uma vez que permite um melhor balanço nutricional de K. De acordo com medeiros et al (2008), a maioria dos trabalhos considera relações Ca:Mg entre 4:1 e 8:1 como as mais adequadas para as culturas, no que se refere a rendimento de culturas anuais.

2.3 INTERAÇÕES ENTRE CÁLCIO E MAGNÉSIO E SUAS DISPONIBILIDADES NO SOLO

De uma maneira geral, admite-se que a taxa de absorção de nutrientes pelas plantas está diretamente relacionada com a concentração desses na solução do solo, junto às raízes (NEMETH et al. 1978). Entretanto, a disponibilidade dos nutrientes não se relaciona apenas com a concentração deles no solo, mas também, com as relações entre os íons. Estas relações são também chamadas interações iônicas.

As concentrações de cálcio nos tecidos vegetais, consideradas adequadas para um desenvolvimento vegetal satisfatório, variam de 3 a 24 g kg^{-1} (SENGIK, 2003) na matéria seca em função do período de crescimento. Este nutriente é essencial ao crescimento e ao funcionamento meristemático das plantas, participa de funções estruturais e atua na manutenção da integridade de membranas citoplasmáticas (MARSCHNER, 2012). Plantas deficientes em cálcio apresentam pequeno crescimento radicular, senescência foliar precoce (DECHEN; NACHTIGALL, 2007) e morte meristemática (SILVEIRA et al., 2002). A presença do nutriente em quantidades adequadas estimula o crescimento vegetal e maximiza a produção de biomassa (POZZA et al., 2009; ROCHA et al., 2008; SILVA; MORAES; SOUZA, 2011).

Nos tecidos vegetais, os teores de magnésio variam de 1 a 10 g kg^{-1} de matéria seca (DECHEN; NACHTIGALL, 2007). Dentre as funções deste nutriente, a mais conhecida é a participação na composição da molécula da clorofila e ainda o envolvimento na ativação enzimática, na síntese proteica, além de estimular a absorção, o transporte e a distribuição de

outros nutrientes nas plantas (MARSCHNER, 2012). Teores adequados de Mg elevam a taxa fotossintética, a síntese de proteínas, a absorção e a distribuição de outros nutrientes e, conseqüentemente, o aumento do crescimento vegetal. Por outro lado, baixas concentrações do elemento afetam negativamente processos que requerem e fornecem energia para as plantas.

A inter-relação entre cálcio e magnésio na nutrição vegetal está relacionada às suas propriedades químicas próximas, 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 entre estes dois cátions. Como consequência, a presença em excesso de um pode prejudicar os processos de adsorção e absorção do outro. O cálcio apresenta maior preferência em relação ao magnésio no complexo de troca do solo, por possuir maior raio iônico.

Medeiros et al. (2008) atestam em experimento que, para a cultura do milho em casa-de-vegetação com proporções molares de Ca:Mg variando de 1:1, 2:1, 4:1, 8:1, 16:1 e 32:1, os teores de Ca trocável no solo variaram de forma quadrática, partindo de 6,2 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ no tratamento com menor relação Ca:Mg e atingindo 24,5 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ no ponto de máxima. Já os teores de Mg trocável no solo responderam de maneira inversa ao observado com cálcio, diminuindo a medida que se aumentou a relação Ca:Mg nos corretivos. Os valores observados variaram de 0,8 a 5,7 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ da maior para a menor relação Ca:Mg testada, respectivamente. A concentração de Ca na parte aérea do milho variou de 1,2 a 3,2 g kg^{-1} , mostrando acúmulo deste elemento no tecido, com resposta quadrática à relação Ca:Mg do corretivo aplicado. Tal comportamento era esperado em função das quantidades crescentes de Ca que foram adicionadas pelos tratamentos. O acúmulo preferencial de cálcio pelas plantas se deu, provavelmente, porque a maior disponibilidade de cálcio no solo provocou sua aproximação às raízes em maior quantidade e, como cálcio, magnésio e potássio são absorvidos pelos mesmos mecanismos na membrana celular, provavelmente a absorção de Ca foi preferencial aos demais cátions estudados (Mg e K). Ainda de acordo com medeiros et al (2008), os teores de magnésio no tecido vegetal variaram de 0,9 a 2,2 g kg^{-1} , decrescendo as concentrações com o aumento da relação Ca:Mg do corretivo, com resposta quadrática. Isto demonstra que o aumento da absorção de Ca reduziu a absorção de Mg, comportamento explicado pelo antagonismo entre estes dois elementos, levando à deficiência de Mg na parte aérea das plantas de milho. Tal antagonismo entre Ca e Mg implica que o excesso de um desses elementos diminui a absorção do outro.

Com relação a respostas de culturas agrícolas à relações entre cátions básicos no solo, verificou-se que relações equilibradas de Ca e Mg em um Latossolo Distroférico, corrigido

utilizando-se da mistura de cloreto de potássio (60% K₂O), com calcários calcítico (42,7% CaO, 4,7% MgO e 87% PRNT) e dolomítico (28,5% CaO; 18,4% MgO e 69,3% PRNT), de Cambé PR, aumentou a produtividade da soja (WATANABE et al., 2005). Para a cultura do milho, cultivado em solos do cerrado, os melhores rendimentos foram encontrados em uma relação Ca:Mg de 3:1. Grant & Racz (1987) atestam que, para a cultura da cevada, as concentrações de Ca e Mg na solução do solo são mais importantes do que as relações entre estes cátions na CTC do solo. Guimarães Junior et al. (2013) constataram que quando avaliaram a proporção Ca:Mg isoladamente, foi observado diferença entre as diferentes relações Ca:Mg, ocorrendo aumento na quantidade de cálcio com o aumento destas proporções, isto pode ser atribuído ao aumento da quantidade do nutriente no corretivo. Historicamente, o estabelecimento de relações ideais para as plantas entre os cátions básicos parece ter sido desenvolvido a partir do trabalho de Bear e Toth (1948), que usaram vinte solos dos EUA e estabeleceram que as relações Ca:Mg, Ca:K e Mg:K ideais seriam de 6,5:1, 13:1 e 2:1, respectivamente.

Segundo Medeiros et al. (2008), a altura de plantas de milho diminuiu linearmente com o aumento da proporção Ca:Mg em um experimento, em casa-de-vegetação, com relações Ca:Mg que foram de 1:1, 2:1, 4:1, 8:1, 16:1 e 32:1. Sendo assim, há perda no potencial de produção de matéria seca, além de diminuir o teor de Mg e K, e aumentar o teor de cálcio da planta podendo causar desequilíbrio nutricional, que irá se refletir em menor produtividade. Porém, de acordo com Oliveira & Parra (2003), a relação Ca:Mg no solo não influenciou significativamente os rendimentos de matéria seca das plantas do feijoeiro no estágio de florescimento e de grãos, apesar de terem constatado que as concentrações de Ca e de Mg na matéria seca da parte aérea, na fase de florescimento do feijoeiro foram influenciadas. Concentrações essas, que são decorrentes da variação simultânea entre as concentrações de Ca e Mg trocáveis no solo.

Medeiros et al. (2008) verificaram que a aplicação de corretivos de acidez com diferentes relações Ca:Mg elevou o pH em água do solo para próximo de 6,0, não tendo sido afetado pelas diferentes relações Ca:Mg utilizadas, uma vez que esses cátions apenas acompanham o corretivo, porém não têm influência na correção do pH.

Guimarães Junior et al. (2013) atestaram, através de experimento com três espécies forrageiras (*Brachiaria brizantha* cv. Xaraés, *Panicum maximum* cv. Mombaça e *Stylozanthes* Campo Grande) com relações molares de Ca:Mg variando de 1:1; 2:1; 4:1; 6:1 e 8:1, que a inter-relação entre Ca e Mg na nutrição vegetal está relacionada às suas propriedades químicas próximas, já mencionadas, fazendo 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. Também constataram que as diferentes relações Ca:Mg não tiveram diferenças entre si quanto à absorção pelas plantas, mas causou algumas mudanças em propriedades químicas do solo.

Em relação às relações Ca:Mg, os resultados não coincidem e são pouco conclusivos a respeito da determinação da melhor relação Ca:Mg no calcário ou no solo que seja capaz de incrementar ao máximo o rendimento das culturas. Os diferentes efeitos observados podem estar relacionados com as condições em que os resultados foram obtidos. Neste caso, a grande maioria dos experimentos realizados foi conduzida em condições de casa de vegetação, normalmente com plantas em estágio inicial de desenvolvimento e limitações ao reduzido ambiente em que foram cultivadas. Ou ainda, a partir de observações feitas em solos com fertilidade natural elevada e pouco ácidos. Assim, as relações observadas naqueles experimentos passaram a ser difundidas e recomendadas como as mais apropriadas para todos os solos, inclusive os ácidos, com necessidade de correção da acidez. A escolha de determinada relação pode ter se originado, tanto de um solo pouco ácido ou mesmo das próprias relações escolhidas por pesquisadores nos seus tratamentos, quando da instalação de seus experimentos, o que, não justifica que possam ser vistos como uma regra na tomada de decisão sobre o melhor nível de Ca e Mg em diferentes tipos de solos.

2.4 EFEITO DAS INTERAÇÕES ENTRE CÁLCIO E MAGNÉSIO NA COMPOSIÇÃO MINERAL E NO RENDIMENTO DAS CULTURAS

Alguns trabalhos registraram que a relação Ca:Mg influencia o rendimento das culturas. Silva (1980), trabalhando com solos do cerrado, encontrou os melhores rendimentos de milho com relação a Ca:Mg de 3:1; Fageria (2001) constatou que os valores mais adequados da relação Ca/Mg no solo é de 1,8, 2,3, 2,4 e 2,6 no rendimento das culturas de arroz, feijão, milho e soja respectivamente.

Holzschuh (2007) constatou que a produção de matéria seca de milho é influenciada pela interação das relações Ca:Mg com as saturações por bases. Em um experimento, a saturação por bases de 50% mostrou maior eficiência no rendimento quando as relações Ca:Mg no solo eram de 2:1 e 3:1. Já, quando a saturação por bases era de 70%, não houve diferenças significativas entre os tratamentos. No entanto, conforme a relação Ca:Mg no solo aumenta, houveram decréscimos na produção de matéria seca das plantas, principalmente, para a saturação por bases de 50%, o que pode ser causado pelos teores de Mg baixos no solo, em

associação ao desequilíbrio da relação Ca:Mg no solo. Isto sugere que o uso de calcários calcíticos em solos com teores de Mg abaixo de $0,4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (considerado como teor médio) deve ser evitado (SENGIK, 2003).

A importância da relação Ca:Mg está relacionada não apenas com o potencial do solo de fornecer estes nutrientes, mas também com a necessidade nutricional de cada espécie cultivada, além do estágio de desenvolvimento da planta, e ainda, com os mecanismos que determinam o movimento de Ca e de Mg no solo.

3 OBJETIVO

O presente trabalho foi elaborado objetivando-se avaliar a eficiência de calcário com diferentes relações Ca:Mg na correção da acidez do solo, na absorção desses elementos por diferentes culturas e no rendimento da matéria seca das mesmas, em casa-de-vegetação.

4 MATERIAL E MÉTODOS

No presente trabalho foram utilizados dois Latossolos, ambos coletados no estado do Rio Grande do Sul. Em cada um deles, simultaneamente, foram conduzidos três experimentos, em casa-de-vegetação, o primeiro de outubro/2016 a dezembro/2016, o segundo de janeiro/2017 a março/2017 e o terceiro de março/2017 a maio/2017, sendo dois cultivos de verão e um de inverno.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DOS EXPERIMENTOS

Os experimentos foram conduzidos no Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV), no município de Lages, SC (27° 48' 58" S e 50° 19' 34" W), com uma altitude de 884m, e clima do tipo Cbf segundo a classificação de Köppen apresentando clima quente e temperado, com temperatura média de 16,6°C e pluviosidade anual média de 1441mm.

Os solos foram coletados no município de Vacaria, RS (28° 30' 44" S e 50° 56' 02" W) com altitude de 971m e clima do tipo Cfb, segundo a classificação de Köppen apresentando clima quente e temperado, com temperatura média de 16°C e pluviosidade anual média de 1789mm.

Os solos utilizados foram um Latossolo Bruno Distróférico típico (LBVac) e um Latossolo Bruno Alumínoférico típico (LBCer) (Tabela 1). Ambos foram coletados na profundidade de 0-20cm em áreas sem cultivos anteriores, e portanto, nunca antes calcariados. Foram secos ao ar e peneirados em malha de 2mm, para então serem acomodados em vasos de PVC com capacidade de 4,0 kg cada.

Tabela 1- Caracterização físico-química dos solos utilizados no expTabela 1. Caracterização físico-química dos solos utilizados no experimento, onde LBVac = Latossolo Bruno Distróférico típico e LBCer = Latossolo Bruno Alumínoférico típico.

Solo	Areia	Silte	Argila	pH		Complexo sortivo (Cmol _c kg ⁻¹)							V	M	
	g kg ⁻¹			Água	SMP	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	SB	Al ⁺³	H+Al	T	%	%
LBVac	35	274	666	4,73	4,59	2,9	2,2	0,15	0,10	5,3	2,0	11,6	16,9	31	27
LBCer	215	353	432	4,3	4,56	0,9	0,9	0,19	0,00	2,0	3,1	17,7	19,7	10	61

Fonte: Pereira, G. E (2017); Almeida et al. (1999)

Antes da implantação dos experimentos, foi efetuada a leitura do pH em água de uma amostra de cada um dos dois solos, os quais apresentaram valores de 4,31 para o LBCer e 4,73 para o LBVac para definir a quantidade de calcário utilizada por balde.

4.2 TRATAMENTOS E AVALIAÇÕES

Os tratamentos consistiram de diferentes relações Ca:Mg aplicados via calcário, preparado em laboratório, por meio da mistura de carbonato de cálcio (CaCO_3 PRNT 100%) e carbonato de magnésio (MgCO_3 PRNT 119%). As proporções molares foram as seguintes: T1 = 0,5 de Ca : 1,0 de Mg, T2 = 1,0 de Ca : 1,0 de Mg, T3 = 2,0 de Ca : 1,0 de Mg, T4 = 4,0 de Ca : 1,0 de Mg e T5 = 8,0 de Ca : 1,0 de Mg. O experimento foi conduzido em blocos inteiramente casualizados com cinco tratamentos para cada solo, possuindo quatro repetições para cada tratamento.

Foram colocadas 25g da mistura de calcários para cada vaso, equivalendo a um total de 12 t/ha de corretivo, a elevar o pH do solo a 5,5 isso corresponde a 6,0 g/kg de solo. Após isso, os solos foram acondicionados em sacos plásticos e cobertos por lona preta para o processo de incubação, durante um período de 20 dias para possibilitar a reação do calcário com o solo. A seguir, foi feita a adubação, colocando-se 150 mg/kg de P via sólida, com sódio fosfato bibásico ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ 8.4% P) para o LBVac e 100 mg/kg de para o LBCer. Para adubação potássica, foi usado cloreto de potássio (60% K_2O) via líquida, adicionando 50mL de solução por vaso, totalizando 100 mg kg^{-1} de K para cada vaso. Para adubação nitrogenada, foi usada ureia (45% N), via líquida, adicionando 50mL de solução, totalizando 100 mg kg^{-1} de N. Após a adubação, os solos foram colocados em vasos e foi feita a semeadura.

As culturas utilizadas foram milho (*Zea Mays* L.), no primeiro cultivo, feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) no segundo cultivo e Trigo (*Triticum aestivum* L.) no terceiro cultivo. Para manter a umidade do solo e fornecer água às plantas, diariamente foi feita a pesagem dos baldes e a adição de água destilada a estes, e quando as plantas atingiam aproximadamente 10cm de altura, foi feito um raleio para deixar sete plantas por vaso. A colheita da parte aérea foi feita quando as plantas atingiam uma estatura média de 40cm, utilizando-se esse critério em todos os cultivos. Em seguida, foram acondicionadas em estufa com circulação de ar forçada para secarem e, na sequência, moídas em moinho de tecido vegetal. Após isso, foi feita a digestão do tecido, segundo metodologia proposta pela Embrapa (2000), que preconiza a queima do tecido em mufla por oito horas a 600°C e então foi feita a adição 25mL de ácido nítrico (HNO_3

0,1M) por amostra, para então serem feitas as leituras de cálcio e magnésio em espectrofotômetro de absorção atômica. Este procedimento foi feito para os cultivos seguintes, de feijão e trigo.

Após a colheita do material vegetal, o solo era espalhado em bandeja para homogeneização, onde colheu-se também uma amostra de solo para ser seca ao ar e em seguida moída. A extração em solução KCL 0,1M de cálcio e magnésio foi feita de acordo com Tedesco et al. (1995), segundo esse procedimento as amostras foram agitadas durante trinta minutos o solo, e decantadas por dezesseis horas. A seguir, foi coletada uma alíquota do sobrenadante para determinação de Ca e Mg em espectrofotômetro de absorção atômica.

A leitura do pH do solo também foi feita, em água e solução salina (CaCl_2) para determinar o poder corretivo dos calcários.

Os dados foram submetidos a análises de variância, utilizando-se o programa Sisvar 5.6, utilizando-se análise de regressão para as variáveis pH, efeitos nos valores de Ca e Mg no solo, acúmulo de massa seca e taxa de absorção de Ca e Mg pelas plantas.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 pH

A aplicação dos corretivos da acidez com diferentes relações Ca:Mg elevou o pH em água do solo mais argiloso (LBVac) de 4,73 para uma média de 5,85 e de 4,31 para uma média de 5,41 no menos argiloso (LBCer) (Tabela 1), porém não houve diferença entre os corretivos com diferentes relações Ca:Mg. Verifica-se, portanto, que a capacidade de correção da acidez do solo pelos materiais é semelhante, independentemente de suas proporções de cálcio e magnésio (MEDEIROS et al., 2008) e isso era esperado uma vez que o Ca e o Mg não interferem na correção da acidez, pois são apenas cátions acompanhantes. A diminuição da acidez é feita pelos ânions básicos (hidroxilas) presentes nos calcários.

Tabela 2 - Efeito da aplicação de corretivos da acidez com diferentes relações Ca:Mg nos valores de pH-H₂O e pH-sal em dois Latossolos com teores variáveis de argila.

		Relação Ca:Mg					
		0,5:1	1:1	2:1	4:1	8:1	
pH água	LBVac	5,79	5,83	5,88	5,89	5,89	*NS
	LBCer	5,49	5,43	5,31	5,43	5,41	*NS
pH CaCl ₂	LBVac	5,37	5,39	5,44	5,49	5,5	*NS
	LBCer	5,17	5,1	5,07	5,14	5,1	*NS

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

*NS = Inexistência de diferença estatística entre os tratamentos. LBVac = Latossolo Bruno Distroférico típico (66,6% de argila) ; LBCer = Latossolo Bruno Aluminoférico típico (43% de argila)

5.2 EFEITOS NOS VALORES DE CA E MG NO SOLO.

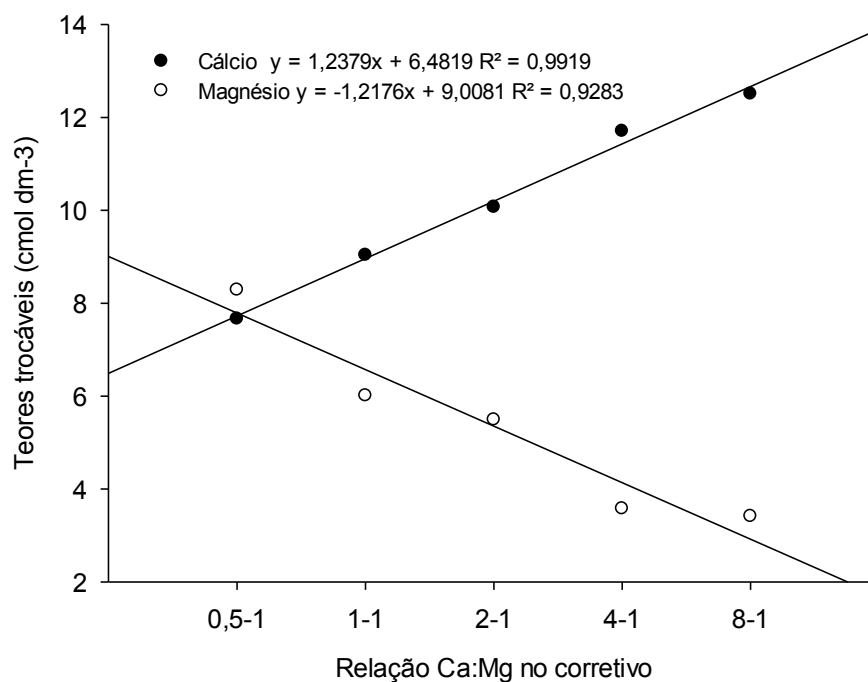
5.2.1 Primeiro Cultivo

Os teores de cálcio, que inicialmente eram de 2,9 e 0,9 cmol_c dm⁻³ para LBVac e LBCer, respectivamente, tiveram um teor mínimo de 7,6 aumentando linearmente até 11,7 cmol_c dm⁻³ com o incremento da relação Ca:Mg dos corretivos (Figura 1), após a aplicação dos calcários. A equação de regressão torna evidente que cada incremento de 1,0 na relação Ca:Mg promoveu um incremento de 1,24 cmol_c dm⁻³ no Ca do solo.

O magnésio, nessas mesmas amostras de solo, que inicialmente tinha teores de 2,2 e 0,9 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para LBVac e LBCer, respectivamente, teve um incremento máximo de 8,30 diminuindo linearmente para 3,40 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, na média dos dois solos, com o incremento na relação Ca:Mg dos corretivos da acidez (Figura 1). A equação evidencia que a diminuição de cada unidade de Mg na relação Ca:Mg dos corretivos proporcionou diminuição de 1,21 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ no Mg do solo.

Comparando os dois elementos, verifica-se que eles tiveram uma relação inversa, enquanto um aumenta sua concentração no solo com o aumento da relação, o outro diminui, porém as constantes são semelhantes (1,23 e 1,21). Esses fenômenos refletem o aumento ou a diminuição da quantidade de ambos adicionadas aos solos.

Figura 1 - Efeito da aplicação de corretivos da acidez com diferentes relações Ca:Mg nos valores desses nutrientes, na média dos dois solos, em amostras coletadas após o cultivo do milho.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2018.

5.2.2 Segundo Cultivo

Nas amostras de solo coletadas após o segundo cultivo, mesmo sem nova aplicação de corretivo, os teores de cálcio aumentaram linearmente de 7,7 até 10,8 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ com o incremento da relação Ca:Mg dos corretivos (Figura 2). Nelas, a equação de regressão mostra

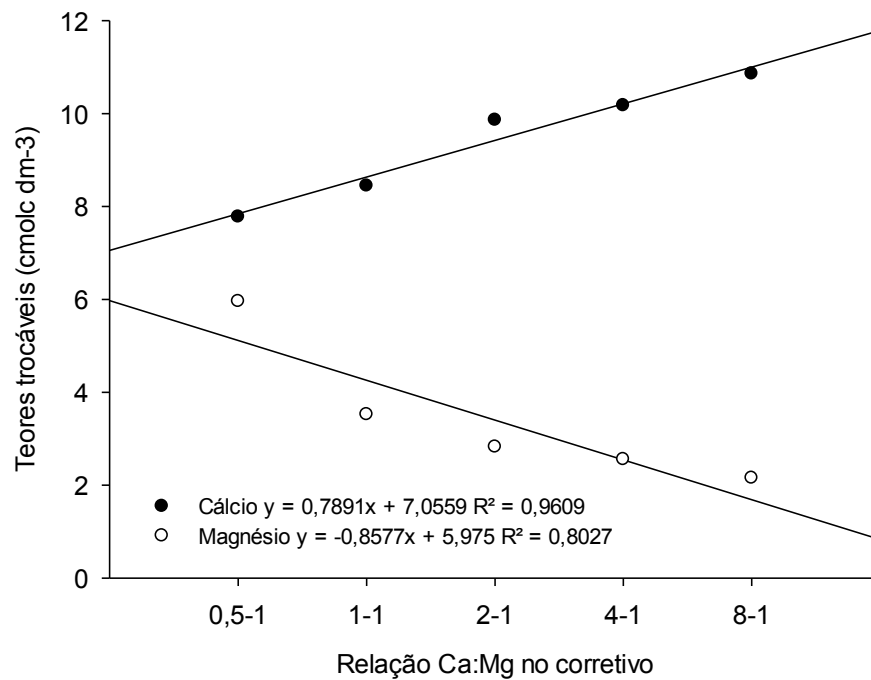
que cada incremento de 1,0 na relação Ca:Mg promoveu um incremento de 0,79 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ no Ca do solo.

O magnésio, nessas mesmas amostras, diminuiu linearmente de 5,9 para 2,1 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, na média dos dois solos, com o incremento na relação Ca:Mg dos corretivos da acidez (Figura 2). A equação de regressão indica que a diminuição de cada unidade de Mg na relação Ca:Mg dos corretivos proporcionou diminuição de 0,85 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ no Mg do solo.

Nas amostras de solo coletadas após esse cultivo houve redução nos teores dos dois nutrientes em cada tratamento (Figura 2), quando comparadas aos verificados no primeiro cultivo, em parte devido ao fato desses nutrientes terem sido absorvidos pelas plantas. Os coeficientes de incremento ou diminuição do Ca e do Mg, respectivamente, apesar de menores do que os do primeiro cultivo, foram novamente semelhantes entre os cátions.

Comparando os dois elementos, eles tiveram uma relação inversa, da mesma forma que ocorreu no primeiro cultivo. O motivo dessa relação inversa também é o mesmo verificado por ocasião das amostras do primeiro cultivo, ou seja, são reflexos das quantidades adicionadas.

Figura 2 - Efeito da aplicação de corretivos da acidez com diferentes relações Ca:Mg nos valores desses nutrientes em dois Latossolos com diferentes teores de argila, em amostras coletadas após o cultivo de feijão.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2018.

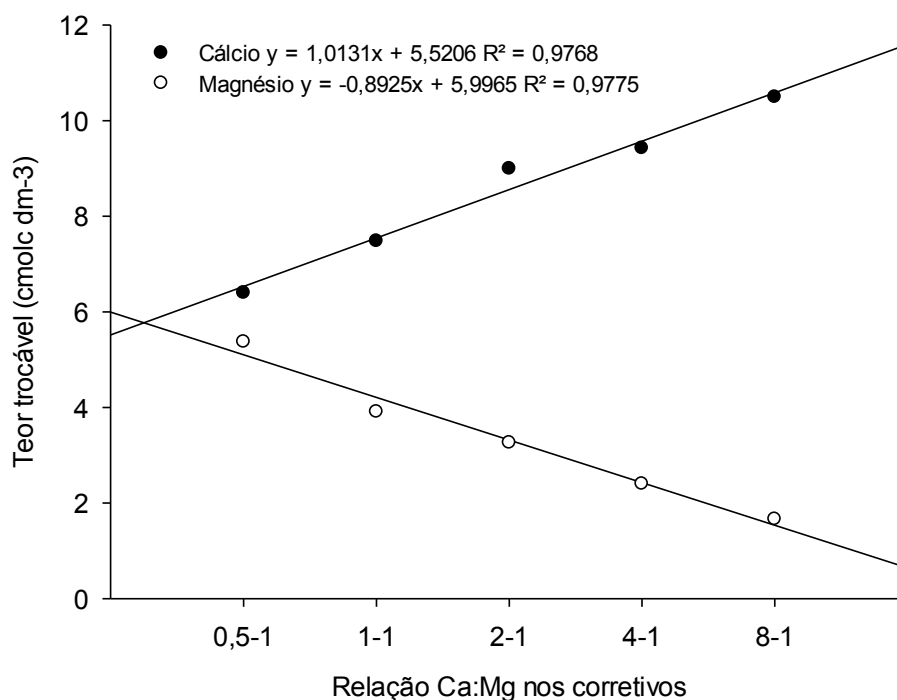
5.2.3 Terceiro Cultivo

Nas amostras de solo coletadas após o terceiro cultivo, os teores de cálcio aumentaram linearmente de 6,4 até 10,5 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ com o incremento da relação Ca:Mg dos corretivos (Figura 3). A equação de regressão mostra que cada incremento de 1,0 na relação Ca:Mg proporcionou um incremento de 1,01 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ de Ca no solo.

O magnésio, nessas mesmas amostras, diminuiu linearmente de 5,4 para 1,7 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, na média dos dois solos, com o incremento na relação Ca:Mg dos corretivos da acidez (Figura 3). A equação mostra que a diminuição de cada unidade de Mg na relação Ca:Mg dos corretivos proporcionou diminuição de 0,89 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ no Mg do solo.

Novamente, nas amostras de solo coletadas após esse cultivo, houve redução nos teores dos dois nutrientes, em todos os tratamentos (Figura 3), quando comparado aos valores existentes nas amostras coletadas após os dois cultivos anteriores, continuando com a relação inversa entre eles, da mesma forma que ocorreu nos cultivos anteriores. O motivo dessa relação inversa também é o mesmo mencionado para os cultivos anteriores.

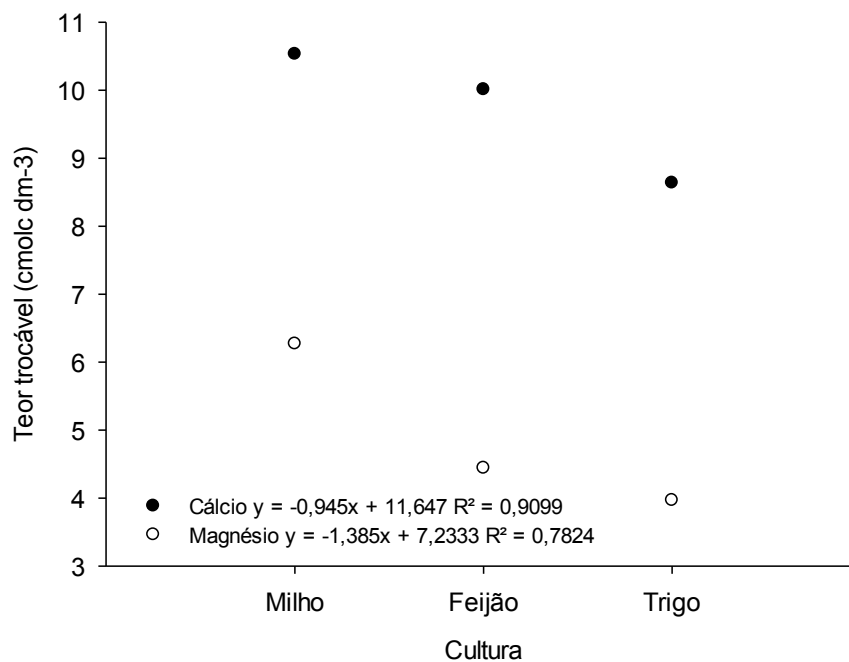
Figura 3 - Efeito da aplicação de corretivos da acidez com diferentes relações Ca:Mg nos valores desses nutrientes em dois Latossolos com diferentes teores de argila, em amostras coletadas após o cultivo de trigo.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2018.

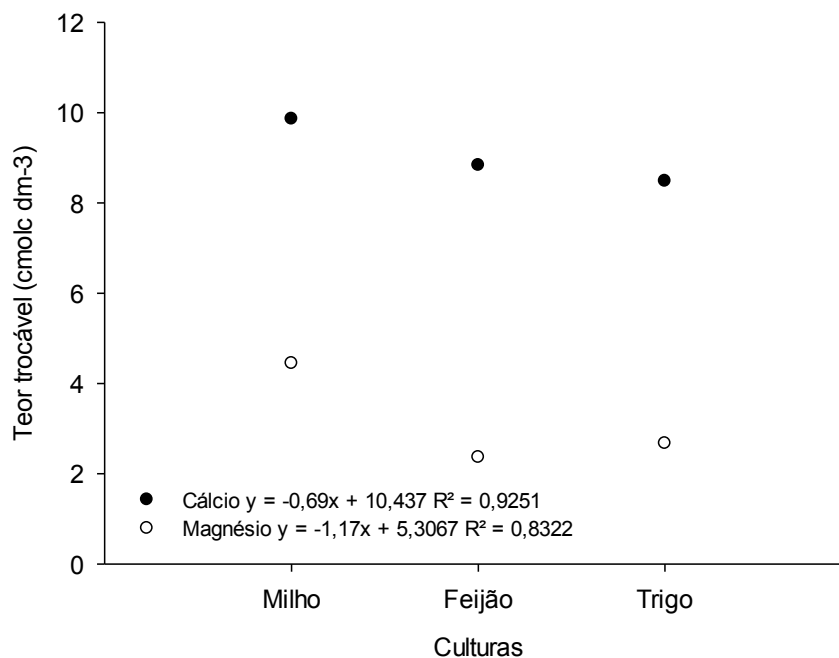
A inter-relação entre cálcio e magnésio na nutrição vegetal está relacionada às suas propriedades químicas, como o raio iônico, valência, grau de hidratação e mobilidade, o que irá influenciar o seu comportamento no solo, fazendo com que haja competição pelos sítios de adsorção, além da absorção pelas raízes. Como consequência, a presença em excesso de um prejudicará a adsorção e a absorção do outro, o que ocorre para Ca^{+2} e Mg^{+2} (ORLANDO FILHO et al., 1996). Essa relação é importante por haver competição entre cálcio e magnésio pelos sítios de adsorção no solo, o que pode afetar o desenvolvimento das plantas. O cálcio apresenta maior preferência em relação ao magnésio no complexo de troca do solo (HOLZSCHUH, 2007), por ter um raio iônico maior que o do Mg, além de maior raio hidratado, o que lhe confere preferência pelas partículas sólidas do solo.

Figura 4 - Comparação entre os teores trocáveis de cálcio e magnésio para os três cultivos no LBVac com 66,6% de argila.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2018.

Figura 5 - Comparação entre os teores trocáveis de cálcio e magnésio para os três cultivos no LBVac com 43% de argila.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2018.

5.3 EFEITO NO RENDIMENTO DE MASSA SECA

5.3.1 Primeiro cultivo.

A aplicação de calcários com diferentes relações Ca:Mg não afetou o rendimento de massa seca de milho quando comparamos os tratamentos (Tabela 2). A inexistência de diferença estatística entre os tratamentos é confirmada por Kopittke e Menzier (2007), que alertam que variações nas relações entre Ca, Mg, quando não extremas, não afetam a qualidade química do solo e o crescimento das plantas, de acordo com o estudo, o crescimento máximo das plantas será alcançada quando os teores de Ca do solo e de Mg são, aproximadamente, 65% de Ca, 10% de Mg (denominado o *solo ideal*) na saturação por bases. Isso também foi verificado por Veloso et al. (2001) em um experimento em casa-de-vegetação com o uso de quatro relações Ca:Mg (100:0; 75:25; 50:50 e 25:75), onde o crescimento de plantas de milho não é afetado pelas diferentes relações Ca/Mg, indicando pouca sensibilidade da cultura às diferentes proporções Ca:Mg do solo. Os resultados de Veloso et al. (2001) mostram que a quantidade dos cátions é mais importante que suas relações no solo, mostrando que desde que a quantidade de cátions demandada pelas culturas seja atendida, sua proporção no solo não causa diferenças na

produtividade. Isso dá uma possibilidade maior de escolha do calcário a ser utilizado. Por outro lado, Medeiros et al. (2008), utilizando corretivos com relações Ca:Mg de 1:1, 2:1, 4:1, 8:1, 16:1 e 32:1, verificaram que a altura das plantas diminuiu de forma linear, conforme aumentava a relação, da mesma forma que no potencial de produção de matéria seca causado por um desequilíbrio nutricional, que poderá se refletir em menor produtividade. Esse fato, porém, não foi observado no presente estudo.

Com relação à comparação entre os solos (Tabela 2), a produção de matéria seca no primeiro cultivo, na média de todas as doses de calcário, foi maior no LBVac (4,7g) do que no LBCer (3,9g) (Figura 4). Diferentes solos possuem diferentes potenciais produtivos e é difícil saber a causa específica para essa diferença.

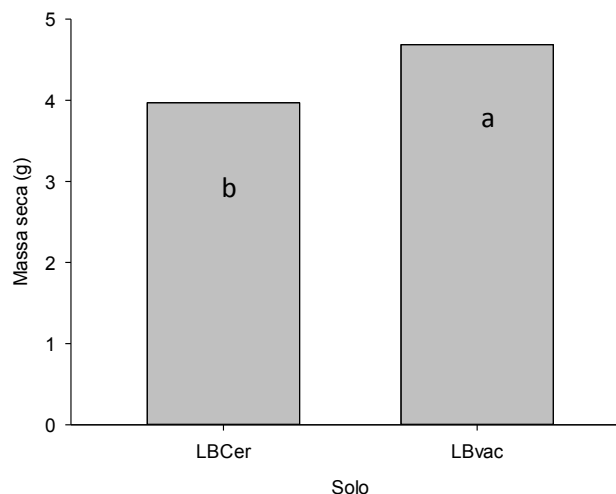
Tabela 3 - Efeito da aplicação de corretivos da acidez com diferentes relações Ca:Mg nos valores de massa seca do primeiro cultivo em dois Latossolos com diferentes teores de argila.

	Relações Ca/Mg nos corretivos				
	0,5-1	1-1	2-1	4-1	8-1
	-----g/vaso-----				
LBVac	4,4	5,2	4,5	4,3	5,0
LBCer	3,8	4,1	4,6	3,7	3,6

Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2018.

*A ausência de letras entre as relações Ca/Mg no calcário, indica inexistência de diferença estatística pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). LBVac = 66,6% de argila; LBCer = 43% de argila.

Figura 6 - Efeito da aplicação de corretivos da acidez com diferentes relações Ca:Mg nos valores de rendimento de massa seca de milho em dois Latossolos com diferentes teores de argila. Presença de letras diferentes indica existência de diferença estatística entre os solos, considerando as médias dos calcários pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).



Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2018.

5.3.2 Segundo Cultivo

Novamente, o uso de calcários com diferentes relações Ca/Mg não afetou o rendimento de massa seca de Feijão (Tabela 3), indicando que as várias relações Ca/Mg do calcário não afeta o rendimento das plantas. Oliveira e Parra (2003), que trabalharam com dois Latossolos coletados na camada de 0-20 cm e aplicação de calcário com relações molares de 0,5:1; 1:1; 2:1; 4:1; 6:1 e 8:1 em plantas de feijoeiro em casa-de-vegetação, com colheita de tecido vegetal para aferir a produção de massa seca feita em pleno florescimento, verificaram que a relação Ca:Mg no solo não influencia significativamente os rendimentos de matéria seca das plantas do feijoeiro.

Ausência de efeito de diferentes relações Ca/Mg no solo no rendimento de culturas também foi observado por Simson et al. (1979), Fox & Piekielek (1984), Muchovej et al. (1986). Para Key et al. (1962), se houver quantidades suficientes de Ca e Mg no solo, a relação entre esses cátions não influencia o rendimento tanto de soja quanto de milho, ambos cultivados em casa de vegetação.

No segundo cultivo (Feijão) (Figura 5), diferentemente do anterior, não houve diferença estatística entre os dois solos no tocante ao rendimento de massa seca, considerando as médias dos corretivos. Isso, mostra que as plantas apresentaram comportamento semelhante em ambas as condições, sendo que as médias de produção de massa seca ficaram em torno de 4,0 g/vaso.

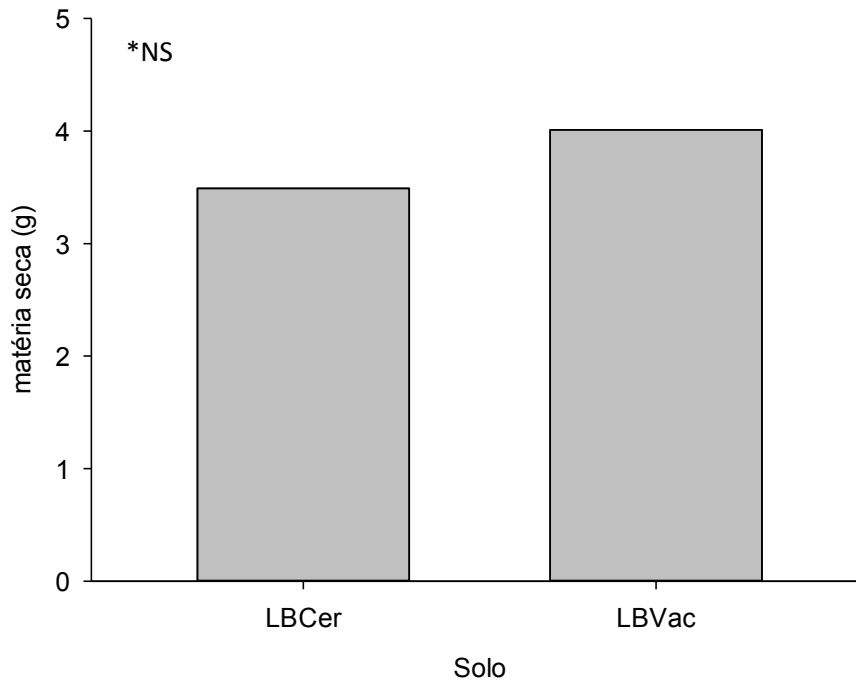
Tabela 4 - Efeito da aplicação de corretivos da acidez com diferentes relações Ca:Mg nos valores de massa seca de feijão em dois Latossolos com teores diferentes de argila.

	Relações Ca/Mg nos corretivos				
	0,5-1	1-1	2-1	4-1	8-1
	-----g/vaso-----				
LBVac	4,5	4,0	4,3	4,1	3,1
LBCer	3,0	3,4	3,8	3,9	3,3

Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2018.

*A ausência de letras indica inexistência diferença de estatística pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). LBVac = 66,6% de argila; LBcer = 43% de argila.

Figura 7 - Efeito da aplicação de corretivos da acidez com diferentes relações Ca:Mg nos valores de rendimento de massa seca de feijão em dois Latossolos com teores variáveis de argila. Ausência de letras indica inexistência de diferença estatística entre as médias dos cultivos pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). LBVac = 66,6% de argila; LBCer = 43% de argila.



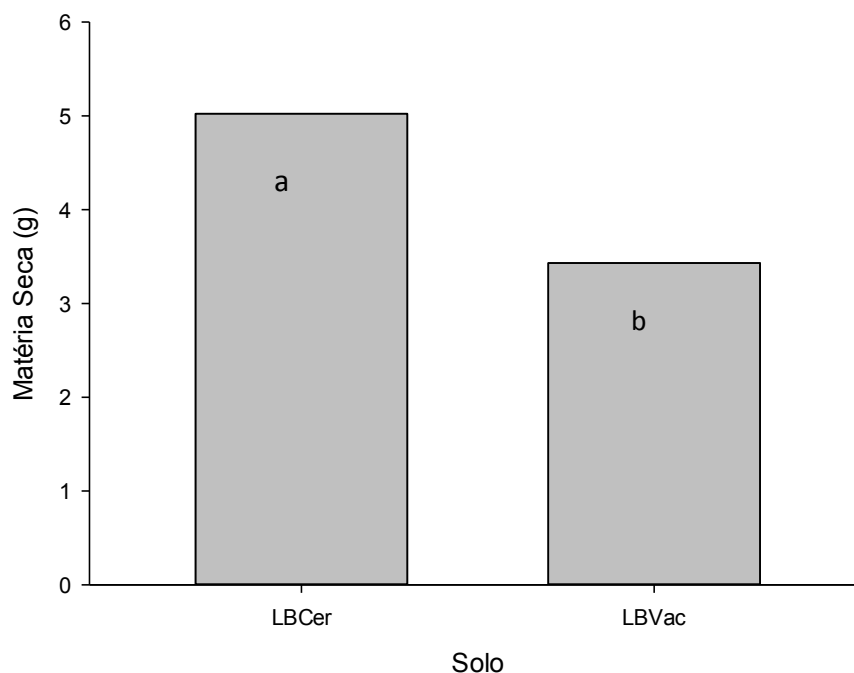
Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2018.

5.3.3 Terceiro Cultivo

Novamente, o uso de calcários com diferentes relações Ca/Mg, variando desde 0,5:1,0 até 8:1, não afetou o rendimento de massa seca, agora da cultura de trigo. No que se refere às relações Ca:Mg, não houve diferenças estatísticas para os tratamentos (Tabela 4), indicando que a relação Ca/Mg no calcário não afeta o rendimento das culturas, semelhante ao ocorrido nos cultivos anteriores. Essa inexistência de diferença estatística entre tratamentos acontece pela mesma razão mencionada nos cultivos anteriores, onde relações Ca/Mg, quando não extremas, não afetam o crescimento das plantas.

Houve diferença, entretanto, entre os solos (Figura 6) na produção de massa seca, evidenciando as características distintas entre os dois solos, como o fato de LBVac ter maior teor de argila, pH, Ca e Mg inicial, por isso, este solo apresentou uma produtividade mais alta em relação ao outro no primeiro cultivo.

Figura 8 - Efeito da aplicação de corretivos da acidez com diferentes relações Ca:Mg nos valores de rendimento de massa seca de trigo. Em dois Latossolos com diferentes teores de argila. Presença de letras diferentes indica existência de diferença estatística entre os solos, considerando as médias dos calcários pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).



Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2018.

Tabela 5 - Efeito da aplicação de corretivos da acidez com diferentes relações Ca:Mg nos valores de massa seca de feijão em dois Latossolos com teores diferentes de argila.

	Relações Ca/Mg nos corretivos				
	0,5-1	1-1	2-1	4-1	8-1
	-----g/vaso-----				
LBVac	2,8	3,9	3,6	3,3	3,5
LBCer	5,4	5,9	4,2	4,2	5,3

Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2018.

*A ausência de letras entre as relações Ca/Mg no calcário, indica inexistência diferença estatística pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). LBVac = 66,6% de argila; LBCer = 43% de argila.

Comparando os teores de nutrientes no solo com a produção de massa seca nos três cultivos, percebe-se que apesar de os teores de Ca terem aumentado de forma linear e os de Mg diminuído da mesma forma nos solos, conforme o aumento das relações Ca/Mg, não houve efeito na produção de massa seca em nenhum dos três cultivos. Isso demonstra, portanto, que essas relações, quando não extremas dentro da faixa analisada (0,5 a 8:1), não causam influência na

produção de massa seca, e isso dá maior flexibilidade na hora da escolha do calcário a ser utilizado. Os valores dos nutrientes nos solos variaram de aproximadamente 7,5 a 11,0 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ nos três cultivos. A único cuidado é fornecer quantidades suficientes dos nutrientes às exigências das plantas.

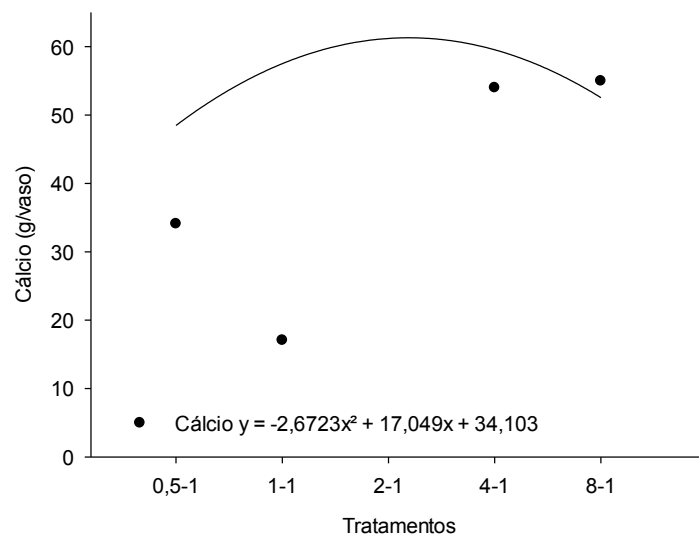
Resultados diferentes dos nossos foram obtidos por MEDEIROS et al (2008), que verificaram que a produção de matéria seca e a altura de plantas no estágio inicial de desenvolvimento decrescem com o aumento da relação Ca:Mg no solo, essa diferença pode ser causada pelo fato de que MEDEIROS et al (2008) utilizaram uma amplitude maior de relações Ca:Mg, de 1:1 até 32:1, o que dá uma possibilidade maior de diferenças, enquanto as relações estudadas no presente trabalho, foram de ordem mais restrita, ou seja, variaram de 0,5 até 8:1.

5.4 ABSORÇÃO DE Ca E Mg PELAS PLANTAS

5.4.1 Primeiro cultivo

Os valores de Ca absorvidos pelo milho variaram de forma quadrática com o aumento da relação Ca:Mg nos corretivos da acidez (Figura 9). De acordo com a equação, a absorção máxima de Ca foi de 61,2 mg g^{-1} , na relação 3,1:1,0. Após isso ocorreu uma redução na absorção do Ca, com o aumento da relação. A menor absorção de Ca ocorreu na relação 0,5:1 e foi de 46,7 mg g^{-1} .

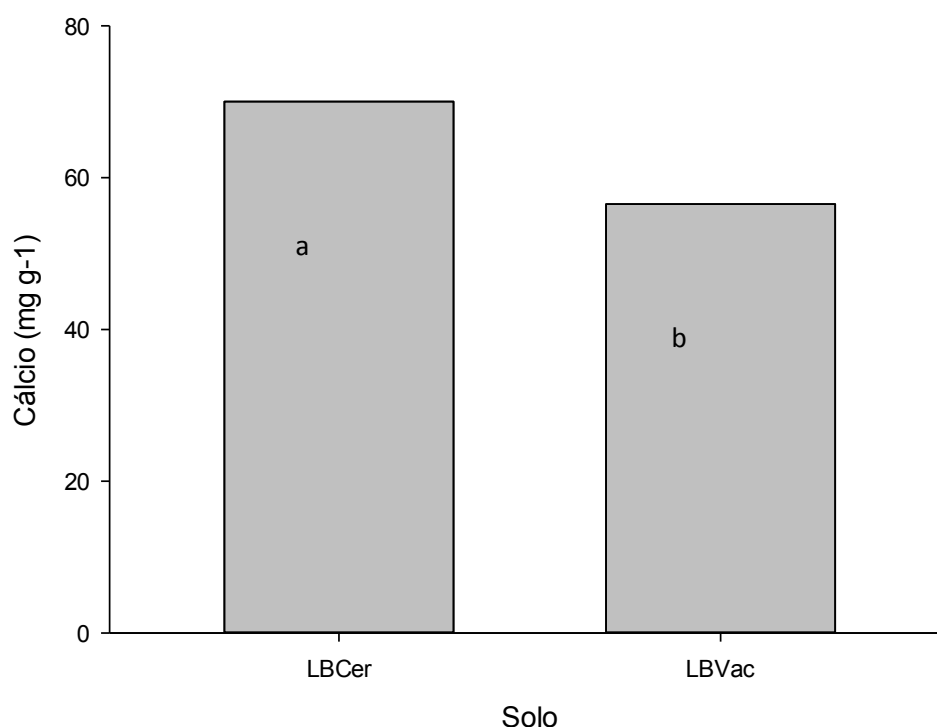
Figura 9 - Efeito da aplicação de corretivos da acidez com diferentes relações Ca:Mg nos valores de absorção de Ca no primeiro cultivo (milho) na média dos dois Latossolos avaliados.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2018.

No primeiro cultivo, não houve diferença estatística na absorção de Ca pelo milho entre os dois solos (Figura 10), mostrando que as plantas apresentaram comportamento semelhante em ambas as condições.

Figura 10 - Efeito da aplicação de corretivos da acidez com diferentes relações Ca:Mg nos valores de absorção de Ca, no primeiro cultivo (milho), em dois Latossolos com diferentes teores de argila. Médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). LBVac = 66,6% de argila; LBCer = 43% de argila.



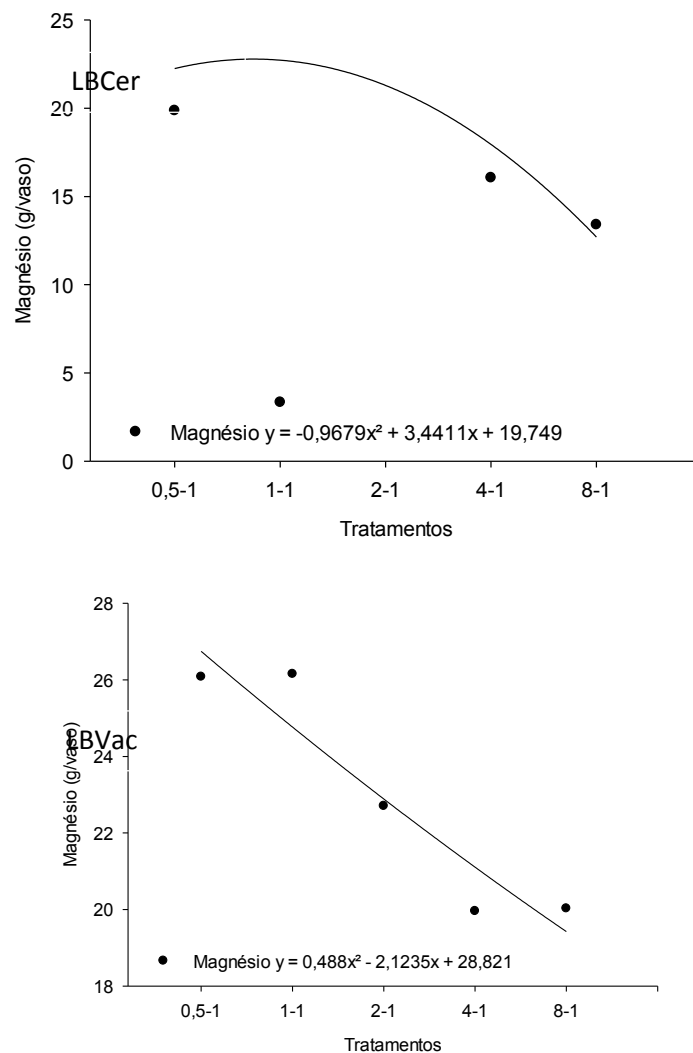
Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2018.

A absorção de magnésio pelas plantas de milho variou no sentido oposto ao que ocorreu com a absorção de Ca (Figura 11), ou seja, diminuiu com o aumento da relação Ca:Mg dos corretivos da acidez. Para os solos com menor teor argila (LBCer), de acordo com a equação, a máxima absorção de Mg ocorreria na relação Ca:Mg de 1,77:1,0 na quantidade de 22,80 mg g⁻¹, e no solo com maior teor de argila (LBVac), de acordo com a equação, a máxima absorção de Mg ocorreria na relação 2,17:1,0 na quantidade de 21,91 mg g⁻¹. Esses valores estão dentro do normal conforme foi observado por von Pinho et al. (2009) que encontraram as médias de 23,5 e 18,5 mg g⁻¹ para as médias de absorção de Mg pelas plantas de milho utilizadas em experimento a campo conduzido em um Latossolo vermelho com textura argilosa, fato também

observado por Vasconcellos et al. (1983), que conduziram experimento com milho em Latossolo vermelho-escuro distrófico, com a aplicação de 4 t/ha de calcário dolomítico dois meses antes da semeadura.

A variação na disponibilidade de Mg no solo foi relatada por Balbinot Júnior et al. (2006), que trabalharam com plantas de milho em casa-de-vegetação, com Cambissolo Húmico, com doses de calcário que equivalem a 13,3; 26,6; 39,9; 53,2 e 66,4 Mg ha⁻¹ (PRNT = 79%). Eles, que sugerem possível deficiência deste elemento em solos tratados com resíduos da indústria de papel que possuem relação Ca:Mg elevada, como por exemplo, as relações 4 e 8:1, que possuem níveis mais baixos de Mg em sua composição.

Figura 11 - Efeito da aplicação de corretivos da acidez com diferentes relações Ca:Mg nos valores de absorção de Mg em dois Latossolos no primeiro cultivo (milho). LBVac = 66,6% de argila; LBcer = 43% de argila.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2018.

A absorção preferencial de cálcio pelas plantas se deu, provavelmente, devido a maior disponibilidade de cálcio no solo e, como o cálcio e magnésio são absorvidos pelos mesmos mecanismos na membrana celular, sua absorção foi preferencial quando comparada ao magnésio. Além disso, as plantas normalmente são mais exigentes em Ca do que em Mg, cuja faixa ótima de absorção varia de 18,5 a 25 mg g⁻¹ conforme foi observado por von Pinho et al. (2009) que encontrou as médias de 23,5 e 18,5 mg g⁻¹ para as médias de absorção de Mg pelas plantas, fato também observado por Vasconcellos et al. (1983).

Hernandez e Silveira (1998) verificaram, em experimento realizado com milho em casa-de-vegetação com uso de areias quartzosas e relações Ca:Mg de 2:1; 3:1; 4:1 e 5:1, que baixos teores de Mg na solução do solo, em associação ao desequilíbrio Ca:Mg no solo, provocado pelos corretivos com alta proporção de cálcio, resultam em diminuição na produção das plantas, em função da deficiência de magnésio. Verifica-se, pelos resultados obtidos, que a relação Ca:Mg de 4:1 e 8:1 (Figuras 9 e 10) apresentaram desequilíbrio no balanço nutricional quanto aos teores foliares de cálcio e magnésio, favorecendo a absorção do primeiro pela planta, além é claro de mostrar pela mesma figura que as relações 1:1 e 2:1 apresentaram resultados semelhantes de absorção, pois as relações são menores, porém não houve diferença na produção de massa seca, conforme já foi comentado no item referente ao assunto. Essa diferença de absorção, entretanto, não afetou o rendimento de massa seca dos três cultivos.

5.4.2 Segundo cultivo

Os resultados do segundo cultivo (feijão) apresentaram um comportamento semelhante aos já vistos por outros autores que observaram a ausência de efeito em uma alta variação na relação Ca:Mg do solo no rendimento das culturas. Na existência de quantidades suficientes de Ca e Mg (sendo 3,0 a 24,0 g/kg⁻¹ de Ca e 2,0 a 4,0 g/kg⁻¹ de Mg), a relação entre estes cátions, desde que superior a 1:1, não tem influência no rendimento de soja e milho (Key et al., 1962).

A relação Ca:Mg no solo não influenciou significativamente os rendimentos de matéria seca das plantas do feijoeiro (Tabela 4), ainda que estas variáveis apresentassem valores mais elevados com a relação Ca:Mg em torno de 4,0.

As concentrações de Ca e de Mg na matéria seca da parte aérea do feijoeiro não foram significativamente influenciadas pela relação Ca:Mg do solo. Os acréscimos nas concentrações de Ca e os decréscimos nas de Mg são decorrentes da variação simultânea entre as

concentrações de Ca e Mg que provêm das diferentes relações adicionadas pelos cinco tratamentos.

A falta de resposta do feijoeiro às variações na relação Ca:Mg do solo, no rendimento de matéria seca, não permite o estabelecimento de uma relação Ca:Mg adequada no solo para o cultivo desta espécie.

Tabela 6 - Efeito da aplicação de corretivos da acidez com diferentes relações Ca:Mg nos valores de magnésio em tecido vegetal absorvidos pelas plantas em dois Latossolos, na cultura do feijão.

		Relações Ca/Mg nos corretivos				
		0,5:1	01:01	02:01	04:01	08:01
		-----g/vaso-----				
Cálcio	LBVac	52,7	49,2	48,0	58,0	37,8
	LBCer	36,3	48,0	45,5	53,1	43,6
Magnésio	LBVac	37,5	31,3	32,7	28,4	19,5
	LBCer	25,3	25,6	25,9	26,4	20,7

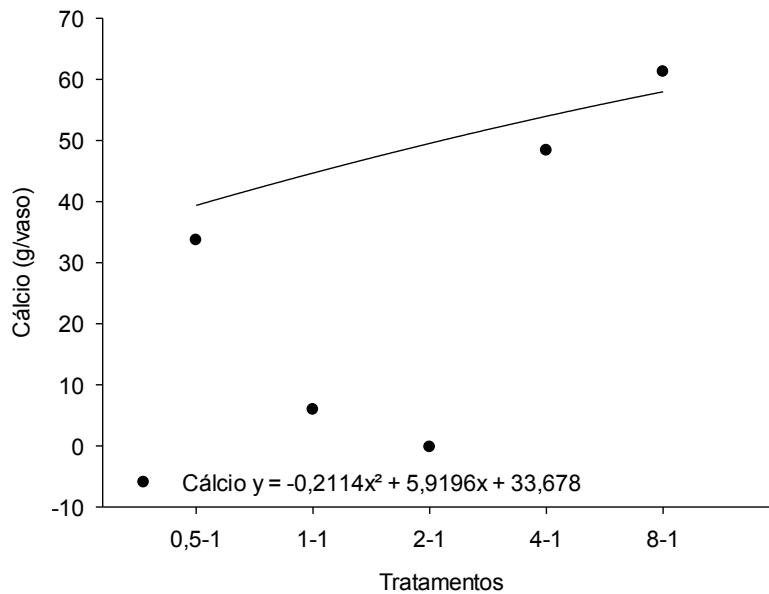
Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2018.

*Ausência de letras indica ausência de diferenças estatísticas entre os solos pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). LBVac = 66,6% de argila; LBCer = 43% de argila.

5.4.3 Terceiro Cultivo

Os valores de Ca absorvidos pelo trigo variaram de forma quadrática conforme mostra a equação (Figura 12), onde o ponto de máxima foi de $75,1 \text{ mg g}^{-1}$ e seria na relação 14:1 e o ponto de mínima foi de $35,21 \text{ mg g}^{-1}$ na relação 0,5:1. O ponto de mínima observado na relação 0,5:1 já era esperado pois esta relação possui a menor quantidade de cálcio quando comparada às outras e por isso, este elemento foi absorvido em menor quantidade pelas plantas. A absorção pelas plantas do terceiro cultivo foi menor quando comparada aos cultivos anteriores, pois boa parte dos nutrientes já foi absorvida pelas plantas dos cultivos anteriores.

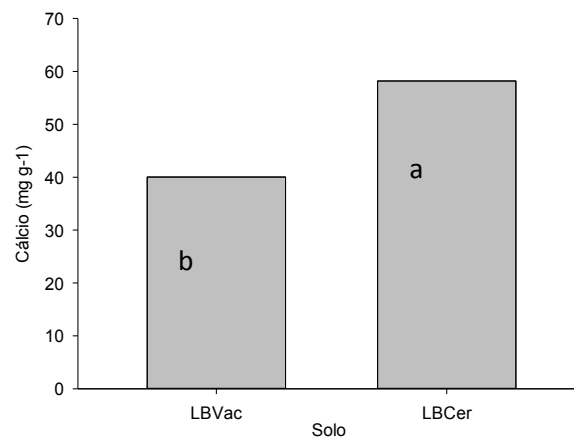
Figura 12 - Efeito da aplicação de corretivos da acidez com diferentes relações Ca:Mg nos valores de absorção de Ca no terceiro cultivo (trigo).



Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2018.

Comparando os dois solos, as plantas cultivadas no LBCer apresentaram absorção de cálcio superior àquelas cultivadas no LBVac (Figura 13). Apesar desse cultivo apresentar um comportamento semelhante ao primeiro, nesse caso a comparação estatística é significativa, já que o solo e o calcário reagiram por tempo maior quando comparado ao primeiro cultivo. Por isso, o tipo de solo terá maior influência quanto à absorção do elemento pelas plantas.

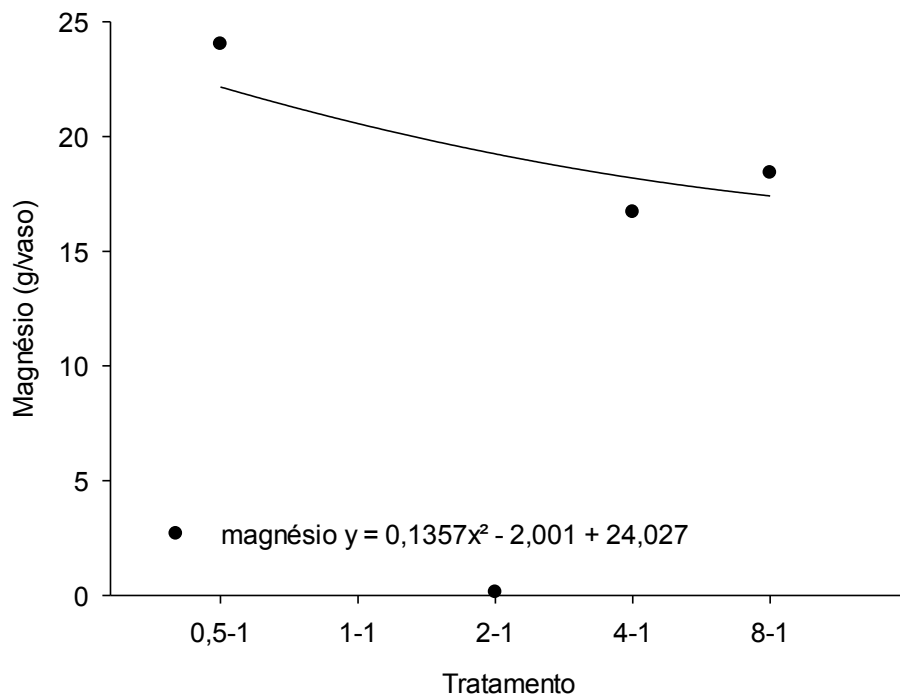
Figura 13. Efeito da aplicação de corretivos da acidez com diferentes relações Ca:Mg nos valores de absorção de Ca, no terceiro cultivo (trigo) em dois Latossolos com diferentes teores de argila, pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). LBVac = 66,6% de argila; LBCer = 43% de argila.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2018.

Os valores de Mg absorvidos pelo trigo variaram de forma quadrática conforme mostra a equação (Figura 14), onde o ponto de mínima foi de 26,65 mg g⁻¹ na relação 7,37:1. A absorção no geral pelas plantas do terceiro cultivo foi menor quando comparada aos cultivos anteriores, pois boa parte dos nutrientes já foram levados plantas dos cultivos anteriores.

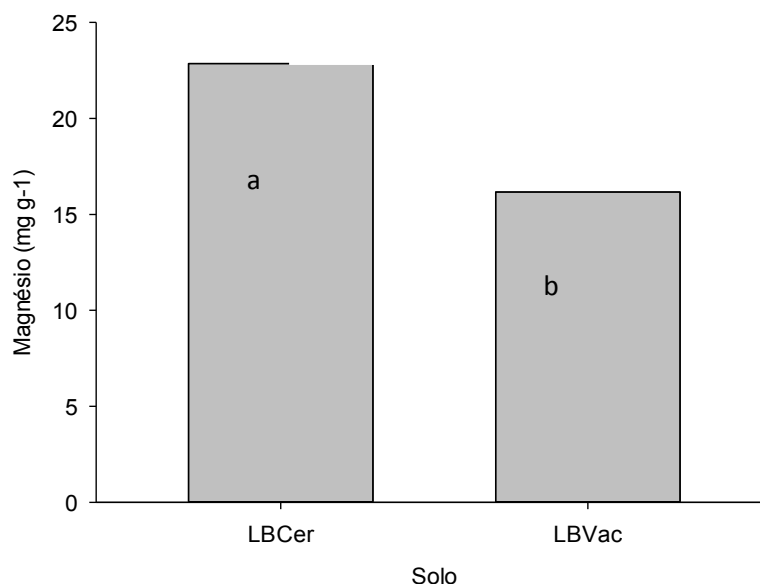
Figura 14 - Efeito da aplicação de corretivos da acidez com diferentes relações Ca:Mg nos valores de magnésio entre os tratamentos, na cultura do trigo.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2018.

A comparação entre os dois solos (Figura 15) mostra que as plantas cultivadas no LBCer apresentaram capacidade superior de absorção deste elemento quando comparadas às plantas cultivadas no LBVac.

Figura 15 - Efeito da aplicação de corretivos da acidez com diferentes relações Ca:Mg nos valores de magnésio entre os Latossolos, na cultura do trigo pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). LBVac = 66,6% de argila; LBCer = 43% de argila.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2018.

Pesquisas atestam que para outras gramíneas de inverno, como a cevada, as concentrações de Ca e Mg na solução do solo são mais importantes do que as relações entre estes cátions na CTC do solo. Guimarães Junior et al. (2013) constataram que quando analisado o fator relação Ca:Mg isoladamente, houve diferença entre as diferentes relações Ca:Mg, ocorrendo aumento na quantidade de cálcio com o aumento destas relações, e isso pode ser atribuído ao aumento da quantidade do nutriente no corretivo do solo com o aumento da relação Ca:Mg.

Quando comparamos cada solo dentro de uma relação Ca:Mg (Tabela 5) é possível verificar que o LBCer mostrou-se superior quanto à disponibilidade de elementos, tanto Cálcio quanto Magnésio para as plantas. Isso se deve, como já foi explicado, à sua natureza menos argilosa, o que permite que o elemento fique em maior concentração na solução do solo devido à menor quantidade de cargas nos compostos sólidos do solo, possibilitando assim uma maior absorção destes pelas plantas.

Tabela 7 - Efeito da aplicação de corretivos da acidez com diferentes relações Ca:Mg nos valores de magnésio em dois solos, na cultura do trigo.

		Relações Ca/Mg nos corretivos				
		0,5:1	1:1	2:1	4:1	8:1
		-----g/vaso-----				
Cálcio	LBVac	25,0	44,0	38,6	45,3	47,7

Magnésio	LBCer	45,5	64,1	55,0	52,5	75,0
	LBVac	15,2	19,5	16,0	15,3	14,8
	LBCer	26,0	29,0	19,4	18,2	22,0

Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2018.

*Ausência de letras indica ausência de significância a nível estatístico pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). Onde LBVac = 66,6% de argila; LBcer = 43% de argila.

A absorção de Ca e Mg pelas plantas dos três cultivos foi adequada por se encontrar dentro dos valores considerados como adequados por Sengik, 2003, porém não aumentou linearmente, conforme o que ocorreu no solo, mostrando que as plantas, após atingirem um máximo de absorção, terão uma decaída na taxa absorptiva, independentemente de aumento dos teores.

Apesar de ter uma boa absorção dos dois nutrientes, esse fator não influenciou na produção de massa seca das culturas, o que dá mais liberdade na escolha de uma proporção entre Ca e Mg, dentro dos valores estudados, uma vez que elas possuem comportamentos semelhantes na produção de massa seca.

6 CONCLUSÕES

As conclusões deste trabalho são:

- a) A adição de calcário ao solo elevou os valores de pH a níveis considerados adequados para o desenvolvimento vegetal satisfatório, independentemente da relação Ca:Mg dos corretivos;
- b) A produção de massa seca pelas plantas não foi afetada pelas diferentes relações molares entre Ca e Mg nos corretivos da acidez, mostrando que no estágio inicial de desenvolvimento, calcários com relações Ca:Mg desde 0,5:1,0 até 8,0:1,0 podem ser usados sem afetar negativamente o rendimento de milho, feijão e trigo;
- c) A absorção diferencial de Ca e Mg, bem como seus valores no solo decorrentes do uso de diferentes relações Ca:Mg não afetam o rendimento de matéria seca das plantas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, Jackson Adriano et al. Aplicação de calcário e fósforo e estabilidade da estrutura de um solo ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 5, p.799-806, out. 2003.
- ALCARDE, J. C.; RODELLA, A. A. Qualidade e Legislação de fertilizantes e corretivos. In: Tópicos em Ciência do Solo. vol.3. (2003) - Viçosa - MG: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2003. p.292-331.
- ANGHINONI; I; SALET, R. L. Reaplicação de calcário no sistema plantio direto consolidado. In: KAMINSKI, J. **Uso de corretivos da acidez do solo no plantio direto**. Pelotas: SBCS - Núcleo Regional Sul, 2000. p.41-59.
- BALBINOT JÚNIOR, A. A.; TORRES, A. N. L.; FONSECA, J. A.; TEIXEIRA, J. R.; NESI, C. N. Alteração em características químicas de um solo ácido pela aplicação de calcário e resíduos de reciclagem de papel. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 5, n. 1, p. 16-25, 2006.
- BARRETO, P. M.; SANTOS, A. C.; GUIMARÃES JÚNIOR, M. P. A.; BRITO, S. S.; TERRA, T. G. R.; LEAL, T. C. A. **Relações Ca:Mg nas características agrônômicas do Brachiaria brizantha cv. MG-4**. Pubvet, v.2, n.38, 2008.
- BEAR, F. E.; TOTH, S. J. Influence of Ca on availability of other soil cations. **Soil Science**, Baltimore, v. 65, n. 1, p. 69-75, 1948.
- BOLAN N. S., Adriano D. C, Kunhikrishnan A, James T., McDowell R, Senesi N (2011) Dissolved organic matter: biogeochemistry, dynamics, and environmental significance in soils. **Advances in Agronomy** 110:1–75.
- BORTOLUZZI, E. C. et al. Alterações na mineralogia de um Argissolo do rio grande do sul submetido à fertilização potássica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.29, n. 5, p.327-335, maio/jun. 2005.
- CASTRO, P. P. et al. Química e mineralogia de solos cultivados com Eucalipto (*Eucalyptus* sp.). **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.38, n. 88, p.645-657,dez. 2010.
- CLARK, R. B. et al. Maize growth and mineral acquisition on acid soil amended with flue gas desulfurization by products and magnesium. **Communi. Soil Sci. Plant Anal**, v. 28, p. 1441-1459, 1997.
- CORREA, J. C. et al. Doses de boro e crescimento radicular e da parte aérea de cultivares de arroz de terras altas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 6, p. 1077- 1082, 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v30n6/a17v30n6.pdf>>. Acesso em: 23 fev. 2018.
- DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: SBCS/UFV, 2007. p.92-132.

ERNANI, P. R.; ALMEIDA, J. A.; SANTOS, F. C. Potássio. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: SBCS/UFV, 2007. p. 551-594.

FAGERIA, Nand Kumar. 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, nov. 2001.

FRAGA, T. I. et al. Suprimento de potássio e mineralogia de solos de várzea sob cultivos sucessivos de arroz irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.33, n. 3, p.497-506, mar./jun. 2009.

FREIRIA, A. C.; MANTOVANI, J. R.; FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P.; YAGI, R. Alterações em atributos químicos do solo pela aplicação de calcário na superfície ou incorporado. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.30, n.2, p.285-291, 2008.

GONÇALVES J. R. P., MOREIRA A., BÜLL L. T., CRUSCIOL C. A. C., VILLAS BOAS R. L., Granulometria e doses de calcário em diferentes sistemas de manejo. **Acta Scientiarum Agronomy**. 2011;33:369-75.

GRANT, C.A. & RACZ, G.J. The effect of Ca and Mg concentrations in nutrient solution on the dry matter yield and Ca, Mg and K content of barley (*Hordeum vulgare* L). **Can. J. Soil Sci.**, 67:857-865,1987.

GUIMARÃES JUNIOR, P. A. M. et al. Relação Ca:Mg do corretivo da acidez do solo e as características agrônomicas de plantas forrageiras. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 14, n. 3, p.460-471, set. 2013.

HERNANDEZ, R. J.; SILVEIRA, R. I. Efeitos da saturação por bases, relações Ca:Mg no solo e níveis de fósforo sobre a produção de material seco e nutrição mineral do milho (*Zea mays* L.). **Scientia Agricola**, v. 55, n. 1, p. 79-85, 1998. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-0161998000100014&script=sci_arttext>. Acesso em: 08 out. 2018.

HOLZSCHUH, J. M., Eficiência de calcário calcítico e dolomítico na correção da acidez de solos sob plantio direto. 2007. 85 f. **Dissertação (Mestrado)** - Curso de Mestrado em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

KÄMPF, N., CURI, N., MARQUES, J. J. Óxidos de alumínio, silício, manganês e titânio. In: MELO, V.F., ALLEONI, L.R.F. (Ed.). **Química e mineralogia do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. p.573-610.

KEY, J. L.; KURTZ, L. T. & TUCKER, B. B. Influence of ratio of exchangeable calcium-magnesium on yield and composition of soybeans and corn. **Soil Sci.**, 4:265-271, 1962.

KOPITTKKE, P. M.; MENZIER, N. W. A review of the use of the basic cation saturation ratio and the "ideal" soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 71, n. 2, p. 259-265, 2007.

MEDEIROS, J. C. et al. 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, p.799-806, 10 ago. 2008.

MELO, G. W.; MEURER, E. J.; PINTO, L. F. S. Fontes de potássio em solos distroféricos caulíníticos originados de basalto no rio grande do sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 4, p. 597-603, jul./ago. 2004.

MELO, V. F.; CASTILHOS, R. M. V.; PINTO, L. F. S. Reserva mineral do solo. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. (Ed.). **Química e mineralogia do solo: parte I, conceitos básicos**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009.p.251-332.

MERINO-GERGICHEVICH C., ALBERDI M., IVANOV A. G., REYES-DIAZ M. (2010) Al³⁺-Ca²⁺ interaction in plants growing in acid soils: Alphytotoxicity response to calcareous amendments. **J Soil Sci Plant Nutr** 10:217–243. doi:10.4067/s0718- 95162010000100003

NEMETH, K.; MENGEL, K.; GRIMME, H. The concentration of K, Ca and Mg in the saturation extract in relation to exchangeable K, Ca and Mg. **Soil Sci**. Baltimore, v.109, p.179-185, 1978.

OLIVEIRA, E. L.; PARRA, M. S. . Resposta do feijoeiro a relações variáveis entre cálcio e magnésio na capacidade de troca de cátions de latossolos. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, XXVIII., 2001, Londrina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo ...** Londrina: [s.n.], 2003. p. 859-866. v. 27.

PINTO DELLA FLORA, L.; ERNANI, P. R., Influência da calagem na mobilidade de cátions básicos e na disponibilidade de nutrientes. 2006. 69 p. **Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo)** - Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, SC, 2006.

POZZA, A. A. A. et al. Suprimento do silicato de cálcio e a eficiência nutricional de variedades de cafeeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.33, n. 6, p.1705-1714, nov./dez. 2009.

RESENDE, M. et al. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. 5. ed. Lavras: UFLA, 2007. 322p.

ROCHA, J. B. O. et al. Efeito da calagem na nutrição mineral e no crescimento inicial do eucalipto a campo em Latossolo húmico da Zona da Mata. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.36,n. 80, p.255-263, dez. 2008.

RODRIGHERO, M. B.; BARTH, G.; CAIRES, E. F., Aplicação Superficial de Calcário com Diferentes Teores de Magnésio e Granulometrias em Sistema Plantio Direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Ponta Grossa, n. 39, p.1723-1736, jul. 2015.

SALVADOR, J. T. et al. Relações cálcio e magnésio presentes no solo e teores foliares de macronutrientes. **Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais**, Curitiba, v. 9, n. 1, p.27-32, mar. 2011.

SENGIK, Erico S. **Os macronutrientes e os micronutrientes das plantas**. [S.l.: s.n.], 2003. 22p. Disponível em: <<http://www.nupel.uem.br/nutrientes-2003.pdf>> . Acesso em: 30 nov. 2018

SILVA, J. E. Balanço de cálcio e magnésio e desenvolvimento de milho em solos de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 15, n. 3, p. 329-333, 1980.

SILVA, S. A.; MORAES, W. B.; SOUZA, G. S. Doses de cálcio no crescimento do feijoeiro cultivado em solução nutritiva, na presença de alumínio. **IDESIA**, Arica, v.29, n. 3, p.53-58, dic. 2011.

SILVEIRA, R. L. V. A. et al. Sintomas de deficiência de macronutrientes e de boro em clones de híbridos de *Eucalyptus grandis* com *Eucalyptus urophylla*. **Cerne**, Lavras, v.8, n. 2, p.108-117, 2002.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C. Escolha do corretivo da acidez do solo. In: KAMINSKI, J. Uso de corretivos da acidez do solo no plantio direto. Pelotas: **SBCS - Núcleo Regional Sul**, 2000. p.95-113.

WATANABE, R. T.; FIORETTO, R. A.; FONSECA, J. B.; SEIFERT, A. L.; SANTIAGO, D. C.; CRESTE, J. E.; HARADA, A.; CUCOLOTTO, M. Produtividade da soja em função da densidade populacional e da porcentagem de cátions (Ca, Mg e K) no complexo sortivo do solo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 26, n. 4, p. 477- 484, 2005.