

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA - UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS - CAV
PRORAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
MESTRADO EM CIÊNCIA DO SOLO

JHULLIA ANDOLFATO MATTÉ

INFLUÊNCIA RELATIVA DA APLICAÇÃO DE CALCÁRIO E GESSO AGRÍCOLA
NO RENDIMENTO DE MILHO E NABO-FORRAGEIRO

LAGES/SC

2024

JHULLIA ANDOLFATO MATTE

**INFLUÊNCIA RELATIVA DA APLICAÇÃO DE CALCÁRIO E GESSO AGRÍCOLA
NO RENDIMENTO DE MILHO E NABO-FORRAGEIRO**

Dissertação apresentada como requisito para
obtenção do título de Mestre em Ciência do
Solo pelo Programa de Pós-graduação em
Ciência do Solo do Centro de Ciências
Agroveterinárias - CAV, da Universidade do
Estado de Santa Catarina – UDESC
Orientador: Prof. Dr. Paulo Roberto Ernani

LAGES, SC

2024

**Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da
Biblioteca Universitária Udesc,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

Matté, Jhullia
INFLUÊNCIA RELATIVA DA APLICAÇÃO DE CALCÁRIO
E GESSO AGRÍCOLA NO RENDIMENTO DE MILHO E
NABO-FORRAGEIRO / Jhullia Matté. -- 2024.
49 p.

Orientador: Paulo Roberto Ernani
Dissertação (mestrado) -- Universidade do Estado de Santa
Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de
Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lages, 2024.

1. Calcário agrícola. 2. Rendimento. 3. Gesso agrícola. 4.
Milho. I. Roberto Ernani, Paulo. II. Universidade do Estado de Santa
Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de
Pós-Graduação em Ciência do Solo. III. Título.

JHULLIA ANDOLFATO MATTÉ

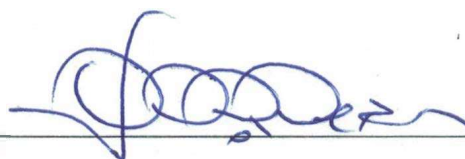
**INFLUÊNCIA RELATIVA DA APLICAÇÃO DE CALCÁRIO E GESSO
AGRÍCOLA NO RENDIMENTO DE MILHÔ E NABO-FORRAGEIRO**

Dissertação apresentada como requisito
para obtenção do título de mestre em
Ciência Do Solo pelo Programa de Pós-
graduação em Ciência do Solo do Centro
de Ciências Agroveterinárias - CAV, da
Universidade do Estado de Santa
Catarina – UDESC

Orientador: Prof. Dr. Paulo Roberto
Ernani

BANCA EXAMINADORA

Orientador:



Ph. D. Paulo Roberto Ernani

CAV/UDESC

Membros:

Documento assinado digitalmente



ELAINE DAMIANI CONTE

Data: 19/03/2024 15:54:22-0300

Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Dra. Elaine Damiani Conte

UCS- Universidade de Caxias Do Sul



Dr. Milton Cesar Coldebella

UDESC- Universidade Estadual de Santa Catarina

Lages, SC, 23 de janeiro de 2024.

Dedico este trabalho aos meus pais, Vera e Vanderlei, pelo amor, carinho e apoio. Obrigada por estarem sempre ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me mantido na trilha certa durante este projeto de pesquisa, com saúde e forças para realização deste trabalho.

Sou grata à minha família, principalmente a meus pais Vera e Vanderlei, que sempre me deram apoio durante toda a minha vida.

Deixo um agradecimento especial ao meu orientador, professor Dr. Paulo Roberto Ernani, pelo incentivo e pela dedicação do seu escasso tempo ao meu projeto de pesquisa. Obrigada pela amizade, paciência e ensinamentos proporcionados. Foi uma honra trabalhar com um profissional tão dedicado e que inspira pessoas.

Aos amigos e colegas que fiz durante o mestrado, principalmente os da minha convivência, no Laboratório de Química e Fertilidade do Solo, que de alguma forma me auxiliaram nessa etapa.

Também agradeço à Universidade do Estado de Santa Catarina (CAV- UDESC), ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, e aos professores do meu curso pela elevada qualidade do ensino oferecido. Agradeço também ao Prof. Dr. David Jose Miquelluti, pelo auxílio na parte estatística.

Agradeço à Capes e ao PROMOP pela concessão da bolsa e suporte à pesquisa, e a todos que de alguma forma contribuíram ou apoiaram minha formação.

RESUMO

A aplicação de calcário e gesso agrícola ao solo promovem modificações químicas nos atributos do solo que podem influenciar positivamente a produção das culturas. Assim, esse estudo foi realizado com o objetivo de avaliar o efeito comparativo da aplicação de calcário e gesso agrícola no rendimento de milho e nabo-forrageiro, em casa-de-vegetação, e seus efeitos em algumas características químicas do solo. Para isso, foram realizados quatro cultivos, no Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), em Lages, SC. Foi utilizado um Cambissolo Húmico, coletado na camada de 0 a 20 cm em área de vegetação nativa, no município de Lages. Os tratamentos consistiram em quatro doses de calcário (equivalentes a 0,25; 0,50, 1,0 e 1,5 vez a quantidade recomendada pelo método SMP para elevar para 6,0 o pH-H₂O, corrigidas para PRNT 100%), e quatro doses de gesso agrícola (equivalentes a 1, 2, 4 e 8 Mg ha⁻¹), as quais foram incorporadas ao volume total de solo contido em vasos com capacidade de 4,0 kg. Também foi utilizado um tratamento testemunha, sem gesso e calcário. As culturas utilizadas foram milho no primeiro, segundo e quarto cultivo, e nabo-forrageiro no terceiro cultivo. Após a coleta do material vegetal (caule e folhas), foram realizadas avaliações da matéria seca da parte aérea (MSPA), além das análises químicas do solo. As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se um modelo linear hierárquico de efeitos fixos, em dois níveis, e as comparações entre os fatores (calcário e gesso) foram testadas por meio do teste F, enquanto os efeitos das doses de ambos foram analisados por meio de regressão polinomial. As doses de calcário foram eficientes na correção do solo, promovendo redução da atividade de Al³⁺ e aumento no teor de cálcio e magnésio, e no rendimento de MSPA, este apenas no primeiro e quarto cultivo. O gesso agrícola aumentou o teor de Ca trocável do solo, não afetou a concentração de Mg, teve pequeno efeito na diminuição do Al e do pH, e aumentou a MSPA também somente no primeiro e quarto cultivo. O pequeno incremento no rendimento da MSPA dos cultivos e a pequena diferença entre o calcário e o gesso agrícola possivelmente se devem aos altos teores de fósforo inicialmente presentes no solo e a algum efeito relacionado com as condições climáticas dentro da casa-de-vegetação.

Palavras-chave: Gesso agrícola; Calcário agrícola; Rendimento; Milho.

ABSTRACT

Addition of limestone and agricultural gypsum to the soil cause some chemical modifications on some soil attributes that may increase crop yield. The objective of this study was to evaluate the comparative effect of lime and agricultural gypsum addition to the soil on the dry matter yield of corn and forage turnip, in a greenhouse, and its effects on some chemical characteristics of the soil. Four consecutive cultivations were carried out at the Santa Catarina State University, in the city of Lages, SC. We used an Haplumbrept, collected in the 0 to 20 cm surface layer, in the municipality of Lages. The treatments consisted of four rates of limestone (equivalent to 0.25, 0.50, 1.0 and 1.5 times the amount indicated by the SMP method to raise the pH-H₂O to 6.0), and four rates of agricultural gypsum (equivalent to 1, 2, 4 and 8 Mg ha⁻¹), which were incorporated into the total volume of soil contained in pots with a capacity of 4.0 L. A control treatment was also used, without gypsum and limestone. The crops used were corn in the first, second and fourth cultivation, and fodder turnip in the third cultivation. After collecting the plant material (stem and leaves), dry matter yield (DMY) and soil chemical analyzes were performed. Statistical analyzes were performed using a hierarchical linear model with fixed effects, at two levels, and comparisons between factors (limestone and gypsum) were tested using the F-test, while the effects of rates were analyzed using of polynomial regression. The rates of lime were efficient in correcting the soil acidity, decreased Al³⁺ values, increased the content of Ca, Mg, and sum of bases, and increased the DMY only in the first and fourth cultivation. Agricultural gypsum increased the exchangeable Ca content, did not affect the exchangeable Mg, had a small effect on reducing Al and pH, and increased DMY also only in the first and fourth cultivation. The small increment on the DMY caused limestone and gypsum addition and the small differences between then on this parameter was probably caused by the high values of available phosphorus initially in the soil, in addition to an unknown climatic effect inside of the greenhouse.

Keywords: Agricultural Gypsum; Agricultural limestone; Performance; Corn.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Efeito de gesso agrícola em profundidade.....	20
Figura 2- Crescimento radicular de milho aos 40 dias após a emergência das plantas em colunas de solo indeformadas de 0,5 m sob a aplicação de gesso e N (Prochnow; Caires; Rodrigues, 2016).....	21
Figura 3- Efeito da aplicação de doses de calcário no pH em água em um Cambissolo Húmico após quatro cultivos sucessivos de milho e nabo-forrageiro.	27
Figura 4- Efeito da aplicação de doses de calcário no alumínio trocável em um Cambissolo Húmico após quatro cultivos sucessivos de milho e nabo-forrageiro.	28
Figura 5- Valores de cálcio e magnésio após aplicações de doses de calcário em um Cambissolo Húmico.	30
Figura 6- Efeito da aplicação de doses de gesso agrícola no pH em água, em um Cambissolo Húmico após quatro cultivos sucessivos de milho e nabo-forrageiro.	33
Figura 7- Efeito da aplicação de doses de gesso agrícola no Alumínio trocável em um Cambissolo Húmico após quatro cultivos sucessivos de milho e nabo-forrageiro.	34
Figura 8- Valores de cálcio após aplicações de doses de gesso em um Cambissolo Húmico.	36
Figura 9- Rendimento de matéria seca da parte aérea (MSPA) com aplicações de calcário e gesso agrícola após cultivos sucessivos de milho e nabo-forrageiro.....	39

LISTA DE ABREVIATURAS

CTC	Troca de Cations
pH-H ₂ O	Potencial Hidrogeniônico em água
V%	Saturação por Bases
CO ₂	Dioxido de Carbono
M.O.	Matéria Orgânica
SPD	Sistema de Plantio Direto
SMP	Índice SMP (Shoemaker, Mac lean e Pratt)
PRNT	Poder Relativo de Neutralização Total
WG	Grânulos dispersíveis em água
MSPA	Massa seca da Parte Aérea
MS	Massa seca

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL.....	12
1.1	OBJETIVO GERAL.....	14
1.3	JUSTIFICATIVA	14
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	15
2.1	ACIDEZ DO SOLO.....	15
2.2	CALCÁRIO AGRÍCOLA E CORREÇÃO DO SOLO.....	17
2.3	GESSO AGRÍCOLA.....	18
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	23
3.1	ANÁLISES QUÍMICAS ANTES DA APLICAÇÃO DE CALCÁRIO E GESSO AGRÍCOLA.....	23
3.2	DESCRIÇÃO DOS TRATAMENTOS.....	23
3.3	IMPLANTAÇÃO DOS TRATAMENTOS	24
3.4	AMOSTRAGEM DE TECIDO VEGETAL DE PLANTAS DE MILHO E NABO-FORRAGEIRO.....	25
3.5	ANÁLISES QUÍMICAS DO SOLO	25
3.6	ANÁLISES ESTATÍSTICAS	25
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	25
4.1	DOSES DE CALCÁRIO	25
4.1.1	Atributos químicos do solo	25
4.2	DOSES DE GESSO AGRÍCOLA.....	32
4.2.1	ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO.....	32
4.2.2	RENDIMENTO DE MATÉRIA SECA DA PARTE AÉREA COM DOSES CRESCENTE DE CALCÁRIO E GESSO AGRÍCOLA EM MILHO E NABO-FORRAGEIRO.....	36
5	CONCLUSÕES.....	41
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	42

1 INTRODUÇÃO GERAL

A acidez do solo é um dos fatores mais limitantes ao aumento da produtividade agrícola em muitos solos brasileiros e mundiais. A acidez prejudica a produção agrícola principalmente por afetar negativamente o crescimento radicular, devido à presença de nutrientes tóxicos como o alumínio, que também afeta a disponibilidade de nutrientes essenciais às plantas (Ernani, 2016, p. 254).

Dentre os processos responsáveis pela acidificação do solo, destaca-se o intemperismo, que ocorre em locais úmidos e com boa drenagem. Nessas áreas ocorre intensa remoção de cátions de reação básica da CTC do solo, com posterior lixiviação, principalmente Cálcio, Magnésio, Potássio e Sódio, resultando em um acúmulo de Al^{3+} nas cargas elétricas negativas. Devido à hidrólise do Al^{3+} , ocorre a disponibilização de íons H^+ , causando a acidificação do meio (Alleoni, 2019).

Os impactos negativos causados pela acidez no desempenho produtivo estão, de modo geral, ligados à presença de formas trocáveis e fito tóxicas de alumínio (Al^{+3}) e manganês (Mn^{+2}), que ocorrem na solução de solos com valores de pH inferior a 5,5. Além disso a baixa disponibilidade de bases trocáveis e a baixa saturação por bases nas cargas negativas (Biscaro *et al.*, 2011) impacta o desenvolvimento do sistema radicular e prejudica a disponibilidade e a absorção de nutrientes, com consequências negativas no rendimento da maioria das culturas de interesse econômico (Rutkowska *et al.*, 2015; Brignoli *et al.*, 2020).

A adequada correção da acidez do solo permite maior aproveitamento da maioria dos nutrientes em qualquer sistema de cultivo. Em valores de pH- H_2O em torno de 6,0 a 6,5, há uma maior disponibilidade de macronutrientes e de alguns micronutrientes (Sousa *et al.*, 2007). Desta forma, os problemas provocados pela acidez são frequentemente corrigidos por meio da aplicação de calcário.

A diminuição da acidez abaixo da camada de deposição do calcário ocorre somente quando o pH na área de dissolução do calcário chega em valor de ordem 5,0 a 5,6 (Caires, 2005). Entretanto, a calagem tem ação limitada ao local de aplicação, não tendo efeito rápido na redução da acidez de camadas mais profundas, por seus produtos possuírem baixa mobilidade em água. Quando o calcário é incorporado ao solo, normalmente apresenta melhor resultados nos atributos físicos e químicos, quando comparado com sua aplicação sobre a superfície do solo, resultando numa maior disponibilidade de nutrientes e na produtividade das espécies (Blum *et al.*, 2014; Rodrighero, 2015).

De acordo com Moreira (2018), em algumas situações, há necessidade de reaplicações de corretivos em intervalos de dois a três anos, para que os solos argilosos ácidos atinjam os valores de V% e teores de Cálcio e Magnésio adequados. Isso sugere, que quantidades recomendadas por esses métodos geralmente são menores do que a necessária para a adequada correção da acidez.

O gesso agrícola é um mineral que ajuda a movimentação de cátions em profundidades para camadas superficiais, é basicamente constituído por sulfato de cálcio diidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), obtido como subproduto industrial (Sousa, 2007). Normalmente, o gesso agrícola não altera o pH do solo, porém, tem a habilidade em determinadas circunstâncias, de amenizar a toxicidade causada pelo alumínio às plantas, devido ao suprimento de cálcio e principalmente à formação do par iônico $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$.

Por conta da sua mobilidade e alta solubilidade, à medida que o gesso se movimenta no perfil do solo, há melhorias nas condições químicas do ambiente radicular, sem que haja a necessidade de incorporação deste insumo. O gesso, em algumas circunstâncias promove acréscimo na produção agrícola e pode também tornar as plantas mais tolerantes aos déficits hídricos (Caires *et al.*, 1998; Vitti *et al.*, 2008).

Entretanto, a dinâmica do sulfato nos solos é bastante complexa, com resultados esperados bastante distintos, em razão tanto da forma e a fonte de enxofre utilizada, bem como à resposta da cultura a aplicação dele. Alguns autores não obtiveram aumento de produtividade de grãos na cultura da soja com a aplicação de 9 Mg ha^{-1} de gesso em um Latossolo Vermelho Distrófico com textura argilosa, tanto em sistema de plantio direto quanto em plantio convencional (Caires *et al.*, 2013; Quaggio *et al.*, 1993). Enquanto outros autores, encontraram maiores rendimentos de grão em soja com aplicação de gesso agrícola na Região do Cerrado (Sousa *et al.*, 2004).

A utilização inadequada do gesso agrícola pode causar inconvenientes às culturas, principalmente se aplicado em excesso, causando à lixiviação de nutrientes para horizontes mais profundos, e atuando negativamente na eficiência da adubação, com aumentos nos custos de produção. Assim, a resposta das culturas à aplicação de gesso agrícola necessita ser mais estudada.

Diante disso, o presente trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos comparativos da aplicação de doses de calcário e gesso agrícola sobre o rendimento da cultura de milho e nabo-forrageiro em casa de vegetação e seus efeitos nas características químicas do solo.

1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o efeito comparativo da aplicação calcário e gesso agrícola no rendimento de milho e nabo-forrageiro, em casa de vegetação, e seus efeitos em algumas características químicas do solo.

1.3 JUSTIFICATIVA

Um dos fatores limitantes ao incremento da produtividade agrícola em muitos solos brasileiros é a acidez. Ela pode prejudicar tanto a produção agrícola como o crescimento radicular, devido à presença de nutrientes tóxicos como o alumínio e diminuindo a de vários outros nutrientes importantes. Sendo assim a calagem nesses solos, além de elevar o pH, diminui o Al e fornece cálcio e magnésio. Em solos muito ácidos, portanto, a calagem é uma prática de extrema importância.

O gesso agrícola é um importante produto que tem como objetivo amenizar a toxicidade de Al^{3+} , além de proporcionar um melhor ambiente químico para o desenvolvimento radicular, não só pela diminuição do alumínio tóxico, como também pelo fornecimento de nutrientes como o enxofre e o cálcio. Tal melhoria possibilita uma maior absorção de água e nutrientes em camadas mais profundas do solo, tornando as plantas mais resistentes a intempéries climáticas.

Entretanto, a aplicação inadequada do gesso, pode causar inconvenientes às culturas, principalmente se aplicado em excesso, causando à lixiviação de nutrientes para horizontes mais profundos, atuando negativamente na eficiência da adubação e aumentando os custos de produção da cultura. Diante disso, foi possível avaliar os efeitos comparativos da aplicação de calcário e gesso agrícola sobre o rendimento da cultura de milho e nabo-forrageiro em casa de vegetação e seus efeitos nas características químicas do solo, uma vez que há dados científicos com resultados positivos e negativos sobre aplicação desses produtos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 ACIDEZ DO SOLO

A acidez do solo é uma das principais características químicas ligada ao desenvolvimento das plantas, pois determina a presença ou não de elementos tóxicos, assim, como a disponibilidade da maioria dos nutrientes do solo essenciais às plantas (Ernani, 2016, p. 256). A deficiência de Ca e Mg, e a toxidez causada pelo Al, são os fatores que mais causam limitação no aumento da produção das culturas nos solos de regiões tropicais e subtropicais (Caires, 2016). Em solos ácidos, as formas tóxicas de alumínio [Al^{+3} , $\text{Al}(\text{OH})^{+2}$ e $\text{Al}(\text{OH})_2^{+}$] variam em função da variação do pH da solução do solo.

Segundo Caires (2013), os efeitos prejudiciais do Al refletem nas raízes, ocorrendo crescimento mais lento em função do impacto deste elemento no processo de divisão celular. As raízes paralisam o crescimento e desenvolvem alterações morfológicas profundas, que engrossam e não se ramificam normalmente.

O processo de acidificação do solo pode ter origem em várias razões, incluindo: material de origem, clima, agentes de intemperismo, decomposição de matéria orgânica e resíduos culturais, exportação e lixiviação de cátions básicos como K, Ca, Mg e Na (Escostegui, 2013). Além disso, a exploração agrícola também é um fator gerador de acidez do solo, pois durante a absorção de nutrientes as plantas liberam na rizosfera íons H^{+} ou OH^{-} , à medida que realizam a absorção, respectivamente, de um cátion ou um ânion, para manter a eletronegatividade interna. Nas leguminosas esse processo é mais intenso, pois absorvem mais cátions, como Ca^{2+} e Mg^{2+} , quando comparado às gramíneas, resultando em maior liberação de íons H^{+} no solo, favorecendo a acidificação. (Meurer, 2010; Goulding, 2016).

O uso intensivo de fertilizantes nitrogenados, tais como ureia e nitrato de amônio e as reações dos ácidos carboxílicos, grupos fenólicos e alcoólicos presentes na matéria orgânica também podem provocar a acidificação dos solos. Convertendo os compostos orgânicos em inorgânicos, ocorre a liberação de N e S, que ao sofrerem oxidação liberam H^{+} . A produção de CO_2 , proveniente da decomposição de compostos orgânicos e da respiração das raízes, ao combinar com a água libera prótons, acidificando também o solo (Sousa *et al.*, 2007).

A acidez do solo é consequência do equilíbrio entre os fatores intensidade, quantidade, e capacidade ou poder tampão desta acidez. O fator intensidade (I) refere-se à atividade/concentração efetiva de H^{+} na solução do solo. O fator quantidade (Q) está relacionado com a concentração de H^{+} e de Al^{3+} (e de outros cátions de caráter ácidos)

adsorvidos aos coloides e que ser dessorvidos da fase sólida, como resultado da neutralização e precipitação desses cátions na solução do solo (Sousa *et al.*, 2007).

Portanto, a acidez pode ser definida nos seguintes componentes: acidez ativa e acidez potencial (que engloba a acidez trocável e acidez não-trocável). A acidez ativa, ou fator intensidade, está relacionada com a concentração efetiva de H^+ na solução do solo. É estimada por métodos potenciométricos, sendo representada pelos valores de pH, que pode ser determinado numa suspensão de solo com água destilada ou com soluções salinas, normalmente, cloreto de cálcio $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ (Luchese *et al.*, 2002).

A acidez potencial, ou fator quantidade, refere-se à quantidade de formas trocáveis e não-trocáveis desses íons no solo. Corresponde às substâncias ou compostos aptos a liberarem H^+ para a solução do solo, principalmente o Al^{3+} adsorvido às cargas negativas presentes nas argilas e nos grupos funcionais COOH e OH da matéria orgânica (Meurer, 2010). Os fatores que compõem a acidez potencial caracterizam o poder tampão do solo (Raij, 2011).

O poder tampão é a definido pela resistência do solo em variar seu pH quando ocorre a aplicação de bases, através da aplicação de compostos alcalinizantes, como os calcários e/ou acidificantes, gerados pelos fertilizantes nitrogenados (Moreira; Moraes, 2018, Sousa; Miranda; Oliveira; 2007). A determinação desta acidez é usualmente extraída com um sal tamponado a pH 7,0, como o acetado de cálcio $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ (Sousa *et al.*, 2007, Brady; Weil, 2013).

Para que ocorra a eletroneutralidade dentro das plantas, se exige que a resultante das cargas seja zero, ou seja, a soma de cargas positivas tem que ser igual à soma de cargas negativas (Raij, 2011). Sendo assim, existem algumas definições isoladas dos conceitos de acidez do solo como meta para avaliar em conjunto diagnoses de problemas voltados à fertilidade do solo (Camargo, 2015).

Na maioria dos solos brasileiros o valor de pH varia de 4,0 a 7,5, exercendo grande influência na vida das plantas, pois afeta o desenvolvimento e quase todas as reações que ocorrem no solo que estejam correlacionadas com a disponibilidade de nutrientes (Camargo, 2005, Lopes, 1991). Geralmente, solos com altos teores de matéria orgânica apresentam alta acidez potencial, pois o H^+ está ligado aos componentes das substâncias húmicas (grupos carboxílicos e fenólicos), os quais podem gerar desprotonação e liberar H^+ na solução do solo. Os solos argilosos e ácidos apresentam maior acidez potencial do que os arenosos. Assim, solos com alta acidez potencial apresentam alto poder tampão (Raij, 2011; Ebeling, 2008).

Para determinar a necessidade de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, o poder tampão dos solos é considerado diretamente, por incluir o $H+Al$ (CQFS-

RS/SC, 2016; Ernani, 2016). E como já mencionado, solos ácidos argilosos e ricos em matéria orgânica apresentam poder tampão elevado e, desta forma, necessitam de maior quantidade de calcário para serem corrigidos, comparados aos solos arenosos e com menores teores de M.O. Deve-se sempre evitar a aplicação de doses de calcário em excesso, que podem elevar o pH acima de 7,0 e afetar a disponibilidade de vários nutrientes, principalmente os micronutrientes (Moreira; Moraes, 2018).

2.2 CALCÁRIO AGRÍCOLA E CORREÇÃO DO SOLO

O calcário é um produto obtido pela moagem da rocha calcária, que se constitui predominantemente de carbonato de cálcio (CaCO_3) e carbonato de magnésio (MgCO_3), mas também podem conter óxidos e hidróxidos (Ernani, 2016). São classificados de acordo com o teor de MgCO_3 . Calcários calcíticos têm teor de MgCO_3 inferior a 10%; magnesianos, têm teor de MgCO_3 entre 10% e 25%; e dolomíticos têm teor de MgCO_3 acima de 25% (Alcarde, 2005).

A calagem tem por objetivo corrigir a acidez do solo, neutralizar o Al trocável e disponibilizar nutrientes como Ca^{2+} e Mg^{2+} para os cultivos. Segundo Souza *et al.* (2007), ao reduzir os valores de acidez do solo, observa-se redução na solubilidade de Al^{3+} e Mn^{2+} , os quais em concentrações mais altas causam problemas de toxidez às culturas.

De acordo com Fageria *et al.* (2002), a disponibilidade de nutrientes para as plantas pode ser afetada por vários atributos do solo, tais como, teor de M.O., temperatura, umidade, potencial redox e atividade de microrganismos, além da competição por sítios de adsorção, bem como pelo próprio sistema de cultivo. Para proporcionar maior produtividade, a técnica da calagem depende principalmente de três fatores: dosagem adequada, características do corretivo aplicado e utilização correta do corretivo (Luz, 2002).

Dentre algumas características que se relacionam com a qualidade dos calcários, podemos citar: teor de neutralizantes, tamanho das partículas, forma química dos neutralizantes, variedade e conteúdo de nutrientes. O poder de neutralização (PN), mostra a capacidade potencial de um corretivo de neutralizar a acidez do solo, que depende do teor e da natureza química do neutralizante presente no corretivo. A reatividade (RE) de um corretivo é responsável pela velocidade de sua reação no solo, depende das condições de clima e solo, das características químicas do corretivo e também de sua granulometria, além disso ela expressa o percentual do corretivo que reage no solo no período de três meses em função da sua

granulometria. As características de reatividade e poder de neutralização demonstram a ação do corretivo (Volkweiss, 1984).

A granulometria de um corretivo é feita através de uma análise granulométrica por meio do peneiramento mecânico de uma amostra. Como os constituintes neutralizantes dos corretivos possuem baixa mobilidade, a ação deles depende, além da umidade, do contato do corretivo com o solo (Primavesi, 2004; Alcarde, 2005).

Para se ter melhor avaliação da ação dos corretivos, essas duas características devem ser associadas e fornecem o índice denominado Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT), calculado pela equação: $PRNT = PN \times RE (\%) / 100$ (Prochnow, 2014). Segundo os autores, para conseguir o aumento do PRNT dos corretivos é feita moagem mais fina do calcário, ou sua calcinação. Assim, a moagem confere aumento da sua reatividade e a calcinação aumento do PN e da reatividade. Portanto, quanto maior o PRNT do corretivo, maior será sua reatividade (Primavesi, 2004).

No Sistema de Plantio Direto, o cálculo da necessidade de calcário com base na análise química do solo, e a frequência de aplicação na superfície do solo, ainda são assuntos em discussão (Caires, 2013, Miyazawa *et al.*, 1996). Segundo a CQFS (2016), a tomada de decisão é fundamentada na sensibilidade da cultura e no grau de acidez do solo ou, em alguns casos, também no sistema de produção.

Com exceção do arroz irrigado, as demais culturas de grãos têm como pH de referência o valor 6,0. Porém, os maiores efeitos da acidez que limitam a produção aparecem quando o valor de pH do solo é menor do que 5,5. Nos estados de RS, SC e PR, a necessidade de calcário de um solo é preferencialmente estimada pelo índice SMP. Em função do valor desse índice, as doses de calcário (PRNT 100%) a serem aplicadas para que o solo da camada 0-20 cm atinja valores de referência de 5,5; 6,0 ou 6,5 variam de 1,0 a 29 t ha⁻¹ (CQFS, 2016).

2.3 GESSO AGRÍCOLA

Diferentemente do calcário, o gesso agrícola não é considerado um corretivo da acidez, pois normalmente não altera valores de pH, é considerado um condicionador de solo, pois pode diminuir a toxidez do Al³⁺, além de ser fonte de S e Ca e auxiliar na percolação de alguns nutrientes no perfil do solo, como Ca, Mg e K associados ao sulfato (SO₄⁻²) (Nuernberg, 2004). Na região do Cerrado brasileiro, onde os teores de Ca são baixos no subsolo, o uso do gesso é importante, pois atua como melhorador do ambiente radicular e, conseqüentemente, na redução dos efeitos dos veranicos (Caires *et al.*, 2004).

O gesso agrícola ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – sulfato de cálcio di-hidratado), é um subproduto industrial derivado da fabricação de ácido fosfórico (Maschietto, 2009). Sua composição química básica contém cálcio (17% a 20%), enxofre (14% a 17%) e água livre (15% a 20%) (Nuernberg, 2004, Caires, 2003).

Desde a década de 1980, o gesso agrícola vem sendo utilizado em áreas de sistema de plantio direto, com a finalidade de minimizar problemas de acidez pela redução na toxicidade por Al^{3+} em subsuperfície (Zambrosi; Alleoni; Caires, 2007). Segundo Zandona (2015), o gesso reage com o Al^{3+} tornando-o menos tóxico às plantas, na forma do par iônico sulfato de alumínio $[\text{Al}(\text{SO}_4)^+]$. Assim, seus efeitos ocorrem em maiores profundidades em relação ao calcário, uma vez que é mais solúvel e, por isso, se movimenta muito mais no solo.

Por possuir Ca e não alterar o pH, o gesso agrícola pode deslocar Al, Mg e K dos complexos de troca liberando-os para a solução. Parte do Al pode ser retirado das cargas negativas pelo Ca e, ao se combinar com o sulfato, pode se movimentar longo do perfil do solo, diminuindo os níveis de alumínio Al tóxico para as plantas (Costa *et al.*, 2015, Dias, 1992).

A partir disso, os íons Al^{3+} têm a sua atividade reduzida na solução do solo, bem como o alumínio trocável. A presença de Ca^{2+} em profundidade é importante pois ele desempenha função no crescimento radicular pela ação na divisão celular. Porém, por ser um elemento imóvel na planta, o Ca^{2+} absorvido pelas raízes superficiais não responde às necessidades das raízes mas profundas caso exista deficiência desse nutriente (Hawkesford *et al.*, 2012, Taiz; Zeiger, 2009).

Devido sua alta mobilidade e solubilidade, o gesso agrícola na presença de água no solo, favorece a sua movimentação ao longo do perfil (Figura 1), isso por que, o gesso por ser um sal solúvel em água penetra mais facilmente no subsolo e é rapidamente removido da camada superficial por lixiviação (Van raij, 2008, Caires *et al.*, 2003, 2008, Castro *et al.*, 2013).

Figura 1 - Efeito de gesso agrícola em profundidade

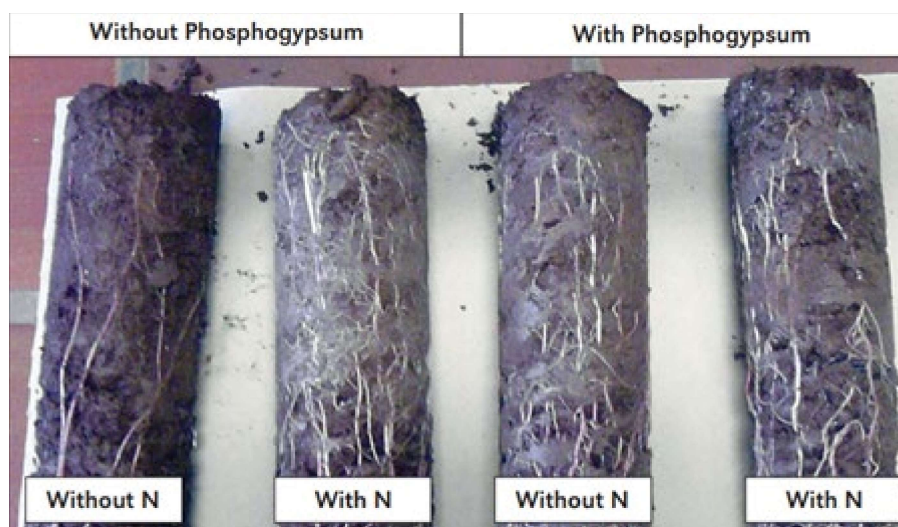


Fonte: EMBRAPA, 2016.

Um sistema radicular bem desenvolvido em profundidade garante maior acesso à água nas camadas subsuperficiais, principalmente quando ocorrem problemas de déficit hídrico, e com cultivares cada vez mais produtivas e adaptáveis ao manejo utilizado. (Dalla Nora *et al.*, 2017).

A resposta ao gesso agrícola, como melhorador do ambiente radicular em profundidade, tem sido observada em diversos trabalhos para a maioria das culturas anuais. Nas duas colunas ao lado direito (Figura 2), fica evidente quanto maior o crescimento e desenvolvimento radicular de plantas de milho até a profundidade de 0,5 m, com e sem a aplicação de N.

Figura 2- Crescimento radicular de milho aos 40 dias após a emergência das plantas em colunas de solo indeformadas de 0,5 m sob a aplicação de gesso e N (Prochnow; Caires; Rodrigues, 2016).



Fonte: (Prochnow; Caires; Rodrigues, 2016).

A prática da gessagem otimiza exploração das camadas subsuperficiais do solo, nas quais em função da percolação entre camadas de solo, há quantidade expressiva de umidade e nutrientes. Assim, verificam-se menores perdas na produção por ação de estresse hídrico e insuficiência nutricional, reduzindo, portanto, os prejuízos com veranicos, visto que a planta passa a absorver água e nutrientes das camadas mais profundas do solo (Cardoso *et al.* 2014).

Porém, deve-se ter cuidado ao aplicá-lo, pois a aplicação de gesso agrícola em altas dosagens, pode reduzir a concentração de Mg^{2+} e K^+ na solução do solo em profundidade (Ramos, 2013, Sorrato; Crusciol, 2008). Assim, segundo Caires (2004), é essencial conciliar a utilização com a aplicação de calcário dolomítico para compensar as perdas de Mg trocável, evitando problemas com a nutrição das plantas após a gessagem.

A aplicação de gesso agrícola vem comprovando desde ausência de resposta do trigo (Caires *et al.*, 1999, Bartezen, 2020), até aumento quadrático na produção de grãos (Caires *et al.*, 2002), com a máxima produção atingida com dose de $8,2 \text{ t ha}^{-1}$. Boem *et al.* (2007) obteve aumento na produção de biomassa e na produção de grãos de soja de 15 kg ha^{-1} de S via gesso em quatro solos dos Pampas Argentinos.

Entretanto, ainda há dúvidas sobre as condições em que se podem esperar efeitos favoráveis do gesso nas produções das culturas (Caires *et al.*, 2003). Diversos trabalhos realizados em SPD (Caires *et al.*, 1998, 2003, 2006, Fois, 2018) têm mostrado ausência

de resposta da soja à aplicação do gesso, e até pequenos decréscimos na produção de grãos da cultura com o emprego de altas doses de gesso, causados pela lixiviação de Mg^{2+} trocável no solo (Caires *et al.*, 1998, Pauletti *et al.*, 2014). Com isso, a resposta das culturas com aplicação de gesso agrícola necessita ser mais estudada para estabelecer melhores alternativas para a melhoria e a manutenção dos atributos químicos e físicos do solo.

Segundo Ritchey, Silva e Costa (1982), o aporte de Ca é o principal fator responsável para um melhor desenvolvimento radicular em profundidade em solos que apresentam baixa concentração de Al e teores de Ca abaixo do ideal. De acordo com experimentos obtidos de um Latossolo Vermelho argiloso no Paraná, a associação do gesso com o calcário melhorou o condicionamento em subsuperfície, resultando em grandes benefícios como o aumento dos teores de Ca, redução do Al tóxico, além de promover uma pequena elevação do pH (Caires; Feldhaus; Blum, 2001). Em outro estudo realizado por Caires *et al.* (2004), observou-se que os teores de Ca do solo aumentaram linearmente até 0,80 m de profundidade com o aumento das doses de gesso (0, 3, 6 e 9 Mg ha⁻¹) aplicadas em um Latossolo Vermelho distrófico de textura argilosa.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi constituído por quatro cultivos, todos conduzidos em casa de vegetação, no Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), em Lages, SC (27° 48' 58" S e 50° 19' 34" W), com altitude de 884 m, clima do tipo Cbf, segundo a classificação de Köppen, apresentando clima quente e temperado, com temperatura média de 16,6°C. Utilizou-se um Cambissolo Húmico Alumínico léptico coletado na camada de 0 a 20 cm, em área de vegetação nativa, no município de Lages SC, nunca antes corrigido ou adubado.

3.1 ANÁLISES QUÍMICAS ANTES DA APLICAÇÃO DE CALCÁRIO E GESSO AGRÍCOLA

Após as coletas as amostras de solo foram secas ao ar, em casa de vegetação, destorroadas, moídas e passadas em peneiras com malha de 4 mm. Para as análises químicas, utilizaram-se amostras peneiradas em malha de 2 mm. Após o processamento das amostras, foram realizadas análises para a caracterização do solo, conforme proposto por Tedesco *et al.* (1995). As propriedades químicas do solo estão apresentadas na Tabela 1. Os cálculos para estabelecer a necessidade de calcário foram realizados com base nas recomendações da Comissão de Química e Fertilidade do Solo para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina (CQFS-RS/SC, 2016). Inicialmente o solo apresentou pH-H₂O = 4,3; pH-SMP = 4,8; Al⁺³ = 4,8 cmol_c dm⁻³; CTC pH 7,0 = 21,2 cmol_c dm⁻³; H+Al = 17,2 cmol_c dm⁻³; Ca⁺² = 1,51 cmol_c dm⁻³ e Mg⁺² = 1,75 cmol_c dm⁻³.

3.2 DESCRIÇÃO DOS TRATAMENTOS

Os tratamentos consistiram de cinco doses de calcário e cinco doses de gesso agrícola. No caso do calcário, aplicou-se as doses de 0; 0,25; 0,50, 1,0 e 1,5 vez a quantidade recomendada pelo método SMP para elevar para 6,0 o pH-H₂O da camada superficial do solo, corrigidas para PRNT 100%. A dose integral (1,0 SMP) correspondeu a 12 Mg ha⁻¹ (6,0 g kg⁻¹). As doses de gesso agrícola, foram equivalentes a 0, 1, 2, 4 e 8 Mg ha⁻¹. O delineamento experimental foi em blocos completamente casualizados (DCC), com dez tratamentos e três repetições cada, totalizando 30 vasos para cada experimento. O calcário utilizado foi o

dolomítico que continha 28% de CaO e 20% de MgO, e PRNT 100%; o gesso agrícola tinha 18% de Ca e 15% de enxofre.

Após a homogeneização de todos os tratamentos com as amostras de solo, este foi umedecido com água destilada para elevar a capacidade de campo até aproximadamente 80%. Em seguida, todas as unidades experimentais foram acondicionadas em sacos plásticos, capazes de permitir as trocas gasosas, e cobertos por lona preta para o processo de incubação durante 45 dias. Esse processo foi necessário para possibilitar a reação do calcário com o solo, até a estabilização dos valores de pH.

3.3 IMPLANTAÇÃO DOS TRATAMENTOS

Após o período de incubação, em cada unidade experimental correspondente a 4,0 kg de solo, foram realizados quatro cultivos: os dois primeiros com milho (*Zea mays L.*), no período de janeiro-abril de 2022, o terceiro com nabo forrageiro (*Raphanus raphanistrum*), no período de junho-agosto de 2022, e o quarto cultivo com milho novamente, no período de novembro-dezembro de 2022. Para o milho foi utilizado a cultivar NK508 e para o nabo-forrageiro a cultivar IPR116. Os cultivos com milho tiveram 30 dias de desenvolvimento enquanto a cultura do nabo-forrageiro teve um período de 60 dias de desenvolvimento, ambos em casa de vegetação,.

Juntamente com a semeadura, foram aplicadas doses de NPK, cujas quantidades foram: 200 mg kg⁻¹ de P, via líquida, na forma de fosfato monoamônico (MAP), e 200 mg kg⁻¹ de K, via líquida, na forma de cloreto de potássio (KCl). Para a adubação nitrogenada, foi utilizada solução de ureia (45%), adicionando-se 100 mg kg⁻¹ de N. O nitrogênio foi aplicado em todos os cultivos, enquanto os nutrientes P e K foram aplicados novamente, nas mesmas doses, no terceiro e quarto cultivo.

Quando as plantas atingiram aproximadamente 10 cm de altura, foi realizado o desbaste, deixando-se quatro plantas por vasos nos cultivos de milho e oito plantas por vaso no cultivo de nabo-forrageiro. Para manter a umidade do solo e fornecer água às plantas, foi efetuada diariamente a pesagem dos vasos e a adição de água destilada para manter a umidade próxima a 80% da capacidade de campo. As condições de temperatura na casa de vegetação não eram controláveis. A retirada de plantas daninhas foi realizada quando emergidas. Para o controle de pragas foi utilizado o controle químico com o produto comercial Actara® 250 WG, na dose equivalente a 150 g ha⁻¹ em pulverização foliar.

3.4 AMOSTRAGEM DE TECIDO VEGETAL DE PLANTAS DE MILHO E NABO-FORRAGEIRO

Após o desenvolvimento de cada cultivo, foi realizada a coleta da parte aérea das plantas (colmo + folhas). As plantas foram cortadas rente ao solo, armazenadas em sacos de papel, e secas em estufa com circulação forçada de ar, a 60 °C. Ao atingirem peso constante, realizou-se a pesagem para a determinação da matéria seca da parte aérea (MSPA).

3.5 ANÁLISES QUÍMICAS DO SOLO

Finalizando cada cultivo, realizou-se a coleta das amostras de solo. O volume de solo de todo o vaso foi espalhado em bandejas plásticas, homogeneizado e a seguir foram retiradas aproximadamente 150g de solo úmido, posteriormente seco em estufa a 65 °C. Na sequência, as amostras foram moídas e passadas em peneiras com diâmetro de 2,0 mm. Nelas, foi determinado o pH em água (relação 1:1) e os valores dos elementos químicos Ca, Mg e Al trocáveis. Sendo extraídos com solução de KCl 1,0 mol L⁻¹.

O Ca e o Mg foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica e o Al trocável foi por titulometria com NaOH 0,018 mol L⁻¹.

3.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se um modelo linear hierárquico de efeitos fixos, em dois níveis. Consideraram-se as doses de calcário e de gesso no primeiro nível e os corretivos no segundo nível. As comparações entre os fatores (calcário e gesso) foram testadas por meio do teste F, enquanto os efeitos das doses de ambos foram analisados por meio de regressão polinomial. Todas as análises foram conduzidas usando-se o software R (R Core Team, 2022). Para todos os testes efetuados foi considerado o nível mínimo de significância de 5%.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 DOSES DE CALCÁRIO

4.1.1 Atributos químicos do solo

Os valores dos componentes de acidez do solo sofreram alterações à medida que se aumentaram as doses de calcário depois de cultivos sucessivos de milho e nabo-forrageiro. Como esperado, houve aumento linear do pH do solo, onde os valores passaram de 4,3 para 5,4, 5,9, 5,9 e 5,7, na maior dose aplicada nas amostras coletadas após cada um dos quatro cultivos, respectivamente (Figura 3). No entanto, o pH não atingiu valores predeterminados pelo método SMP, pois no tratamento com 100% da dose recomendada a elevar o pH a 6,0, o valor chegou em torno de 5,2. Inúmeras causas podem ter contribuído para que o pH não tenha atingido o valor desejado, porém não foi realizada nenhuma quantificação que nos permita precisar a causa disso.

Nas amostras coletadas após o segundo e terceiro cultivo em relação as coletas após o quarto cultivo, houve uma queda de pH para 5,7 na dose de 18 Mg ha⁻¹. Isso pode estar relacionado, com a aplicação de adubos nitrogenados, na forma de ureia, a qual promove a acidificação do solo. Após a hidrólise da ureia, ocorre a nitrificação gerando dois prótons (H⁺) para cada íon de NH₄⁺ nitrificado (Campos, 2004, Moreira; Siqueira, 2006). Alguns trabalhos têm mostrado que os adubos nitrogenados acidificam o solo, como verificado por Campos (2004), com sulfato de amônio na cultura do milho em solo sob pastagem de capim-braquiária; por Lange *et al.* (2006), com aplicação da ureia na cultura do milho e por Primavesi *et al.* (2005) com aplicação de ureia e nitrato de amônio em capim coast-cross.

O aumento das doses de calcário aplicadas reduziu de forma linear e quadrática o Al trocável (Al³⁺) (Figura 4). O Al³⁺ diminuiu de 6,1 para 0,7 cmol_c dm⁻³ no tratamento que recebeu a maior dose de calcário. Em consequência da diminuição do Al, ocorreu redução da atividade do Al³⁺, pois ambos estão intimamente ligados ao pH do solo. De acordo com Kinraide (1991), quando o solo atinge valores de pH-H₂O próximos a 5,5, há a precipitação Al⁺³ na forma de Al(OH)₃, e as formas tóxicas deixam de existir na solução do solo. O efeito do aumento do pH na redução dos teores de Al⁺³ foi também observado por Zambrosi (2007), onde nos tratamentos com calcário não foi encontrado Al⁺³ na camada de 0-5 cm.

Figura 3- Efeito da aplicação de doses de calcário no pH em água em um Cambissolo Húmico após quatro cultivos sucessivos de milho e nabo-forrageiro.

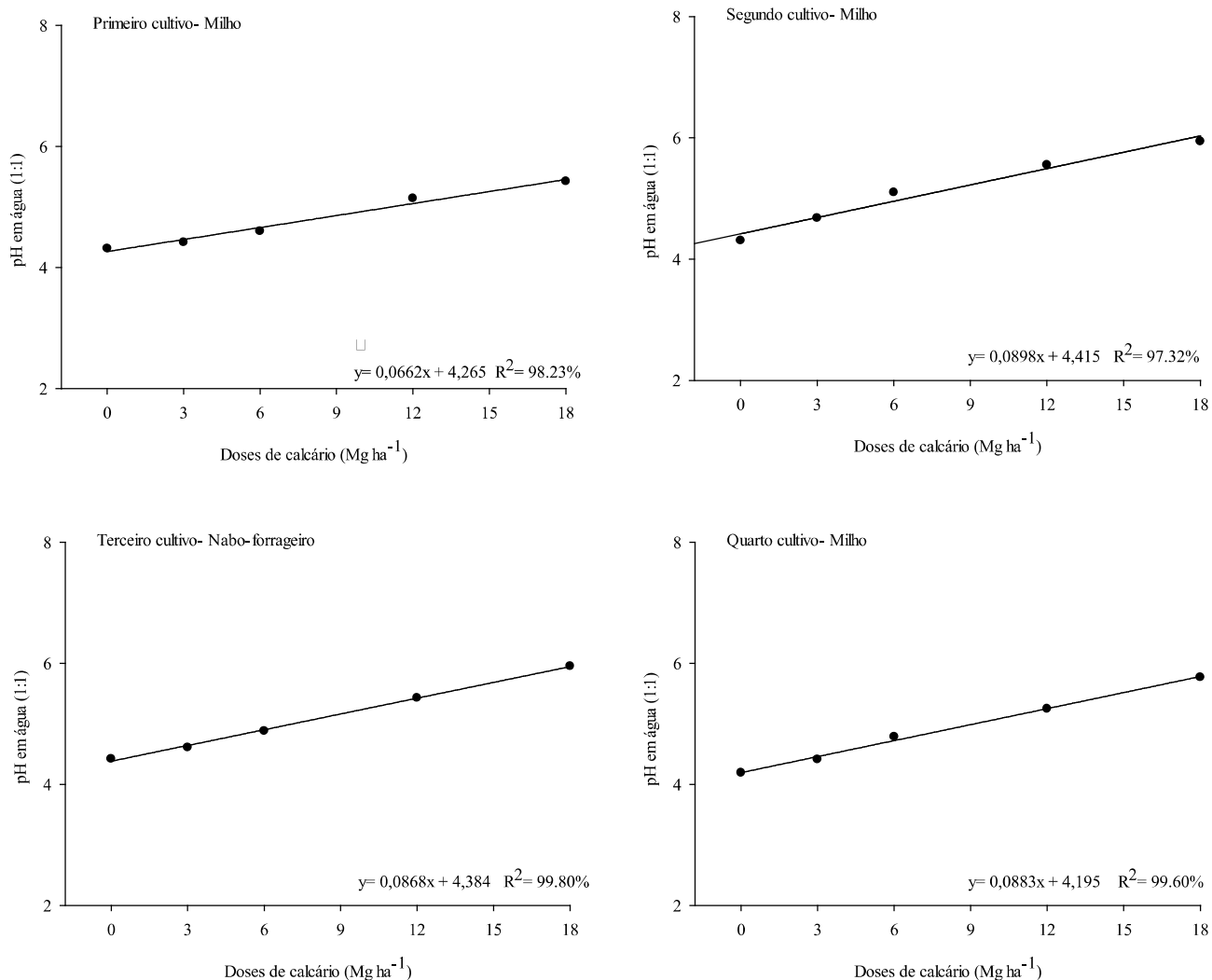
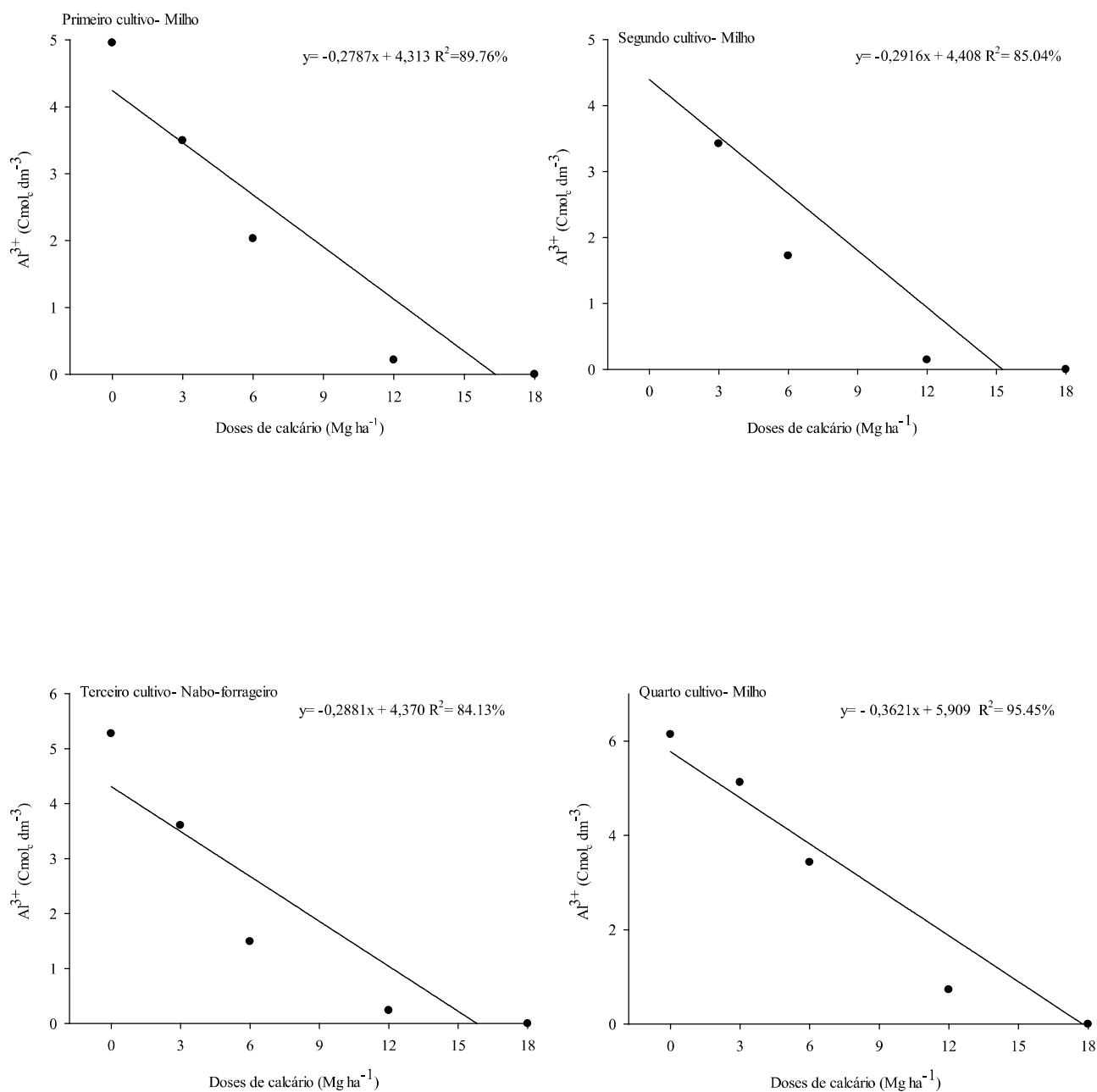


Figura 4- Efeito da aplicação de doses de calcário no alumínio trocável em um Cambissolo Húmico após quatro cultivos sucessivos de milho e nabo-ferrageiro.



Tanto o Ca^{2+} quanto o Mg^{2+} (Figura 5) aumentaram seus teores de forma linear com as doses de calcário, os quais tiveram níveis em adequado para as plantas a partir da dose de $3,0 \text{ Mg ha}^{-1}$, conforme interpretação do Manual de Adubação e Calagem para os Estados do RS e SC (CQFS-RS/SC, 2016). O Ca aumentou de $2,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, no tratamento sem calcário, para $5,2 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ com aplicação da dose recomendada pelo método SMP para elevar o pH a 6,0 (12 Mg ha^{-1}), enquanto o Mg aumentou de 1,29 para $3,63 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ nesses mesmos tratamentos. Na prática, recomenda-se que o solo tenha uma relação Ca/Mg de 3:1 a 4:1,

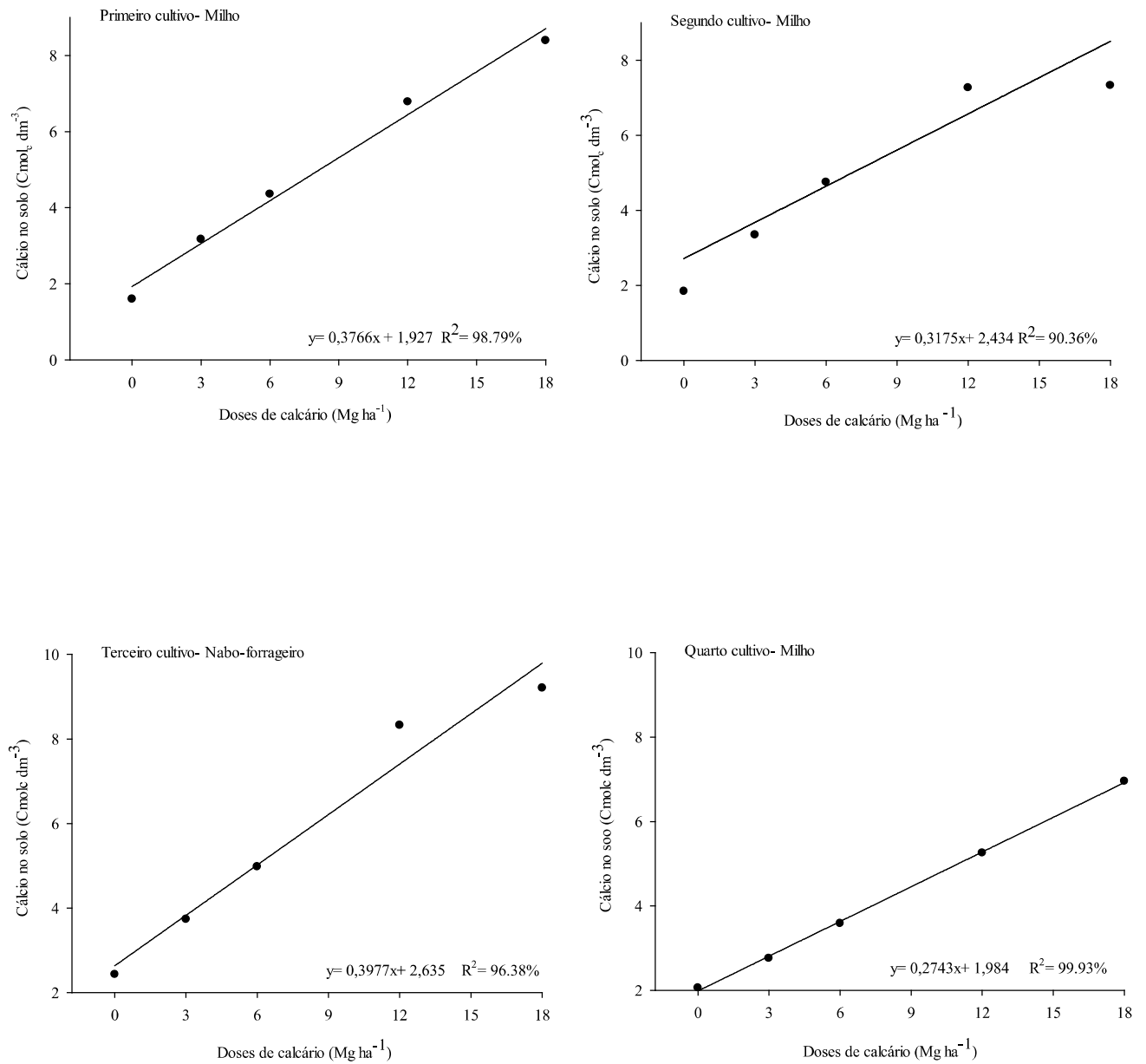
entretanto, relações Ca/Mg desde 1:1 até 8:1 não têm influenciado o rendimento das culturas (Oliveira; Ernani; Amarante, 2002).

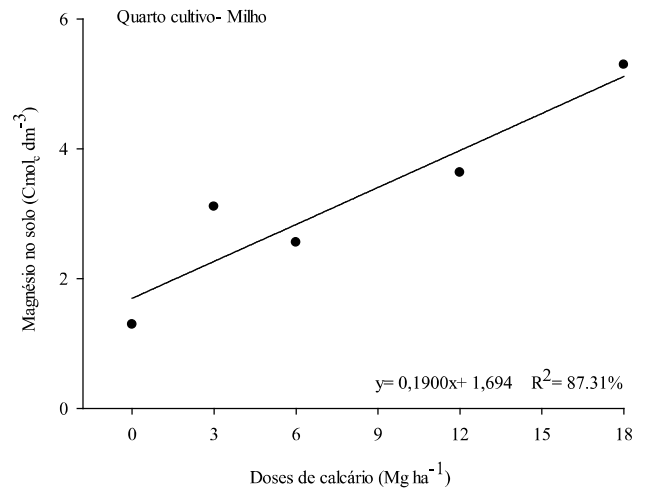
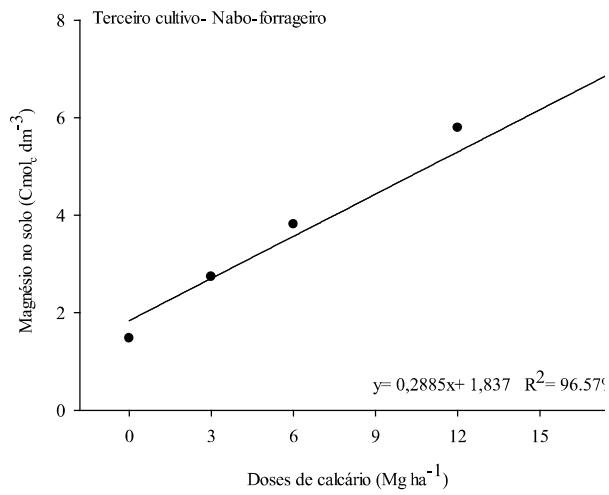
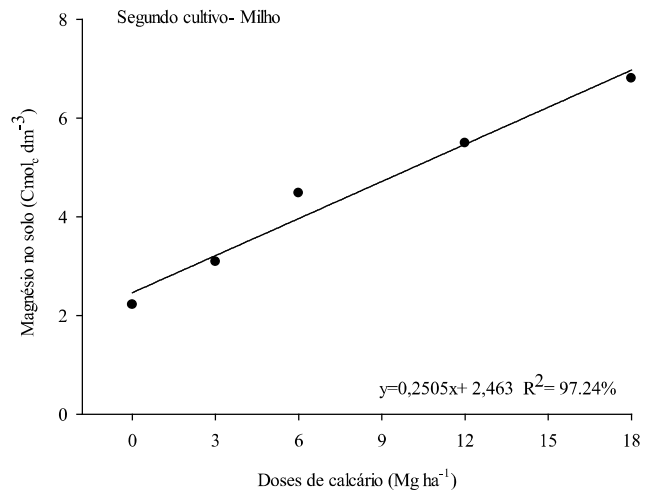
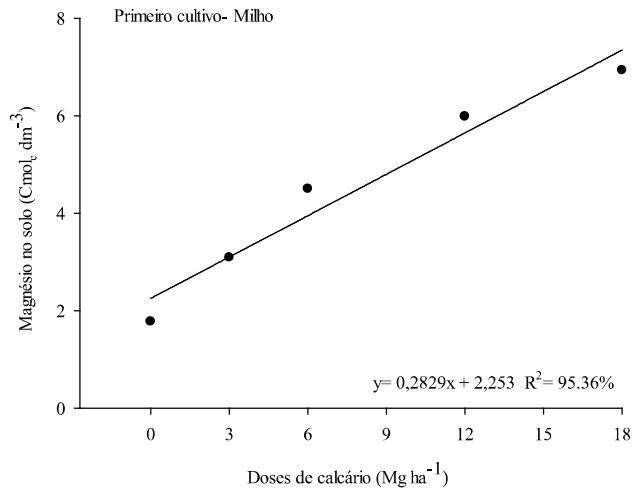
Resultados obtidos também por Ernani, Ribeiro e Bayer (2004), mostram aumento nas concentrações de Ca e Mg na dose recomendada para elevar o pH a 6,0 (9,0 Mg ha⁻¹). Para cada tonelada de calcário aplicado, houve um aumento de 0,37, 0,31, 0,39 e 0,27 cmol_c dm⁻³ do teor cálcio, nas amostras coletadas após cada um dos quatro cultivos, respectivamente.

Os valores de Ca e Mg obtidos neste estudo estão de acordo com os observados por Medeiros (2008), em um trabalho avaliando o efeito de diferentes proporções entre cálcio e magnésio em um Cambissolo Húmico, onde houve aumento nos teores de Ca trocável no solo de forma quadrática, partindo de 6,2 cmol_c dm⁻³, no tratamento com menor relação Ca/Mg, atingindo 24,5 cmol_c dm⁻³ no ponto de máxima, obtido na relação 23:1. Outros autores como Bombolim *et al.* (2015), em um trabalho avaliando o efeito de doses de calcário na correção da acidez de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, também verificaram aumento linear nos teores de Ca²⁺ nos tratamentos que receberam a aplicação do corretivo da acidez.

Esse incremento após a adição do calcário também foi observado nos teores de Mg²⁺, apresentando valores considerado como satisfatórios para o desenvolvimento agrônomo das culturas. Esses resultados se assemelham aos obtidos por Bossolani *et al.* (2021) que, ao estudarem a influência da calagem em diferentes doses nas propriedades químicas de um Latossolo Amarelo, constataram efeito crescente nos teores de Mg²⁺ do solo até a aplicação da maior dose testada. Além disso, inúmeros outros trabalhos também mostraram a eficiência do calcário dolomítico no aumento dos teores de Mg, incluindo Melo *et al.* (2019) e Biazati *et al.* (2020). No presente trabalho, cada tonelada do corretivo aplicado aumentou 0,28, 0,25, 0,28 e 0,19 cmol_c dm⁻³ do nutriente, para cada um dos quatro cultivos, respectivamente.

Figura 5- Valores de cálcio e magnésio após aplicações de doses de calcário em um Cambissolo Húmico.





4.2 DOSES DE GESSO AGRÍCOLA

4.2.1 Atributos químicos do solo

A adição de doses de gesso agrícola não afetou o pH do solo, a não ser nas amostras coletadas após o terceiro e quarto cultivo onde houve pequena diminuição do pH na maior dose aplicada (Figura 6). Esse pequeno ou inexistente efeito do gesso no pH se justifica, pois ele é um sal neutro e não possui capacidade de consumir prótons H^+ e aumentar o pH do solo (Mashietto, 2009). Outros trabalhos comprovam que a adição de gesso agrícola, independente do modo de aplicação, pode diminuir o pH da solução percolada e da fase sólida em até quatro unidades decimais. Essa diminuição de pH, explica-se pela hidrólise do Al, deslocado das cargas negativas pelo Ca aplicado, e pelo aumento da concentração de eletrólitos, uma vez que o Cambissolo tem predomínio de carga elétrica líquida negativa (Ernani, 2001).

A aplicação de gesso diminuiu o Al trocável apenas nas amostras coletadas após o primeiro e terceiro cultivo (Figura 7). Alguns autores afirmam haver redução nos teores de H^+Al e de Al^{3+} pela adição de grandes quantidades de gesso, contribuindo na amenização dos efeitos tóxicos do Al^{3+} no solo (Auler, 2018). Embora o gesso agrícola não seja um corretivo da acidez do solo, é importante ressaltar que seus efeitos na alteração na atividade de Al^{3+} ou mesmo na redução do Al, o efeito da adição de SO_4^{2-} presente no gesso agrícola pode elevar levemente o pH do solo em função de sua adsorção específica, que desloca hidroxilas dos sítios de adsorção, principalmente no subsolo (Alcarde, 1992, Pauletti *et al.*, 2014, Costa; Crusciol, 2016). No presente trabalho, no entanto, o gesso agrícola diminuiu levemente o pH do solo.

Figura 6- Efeito da aplicação de doses de gesso agrícola no pH em água, em um Cambissolo Húmico após quatro cultivos sucessivos de milho e nabo-forrageiro.

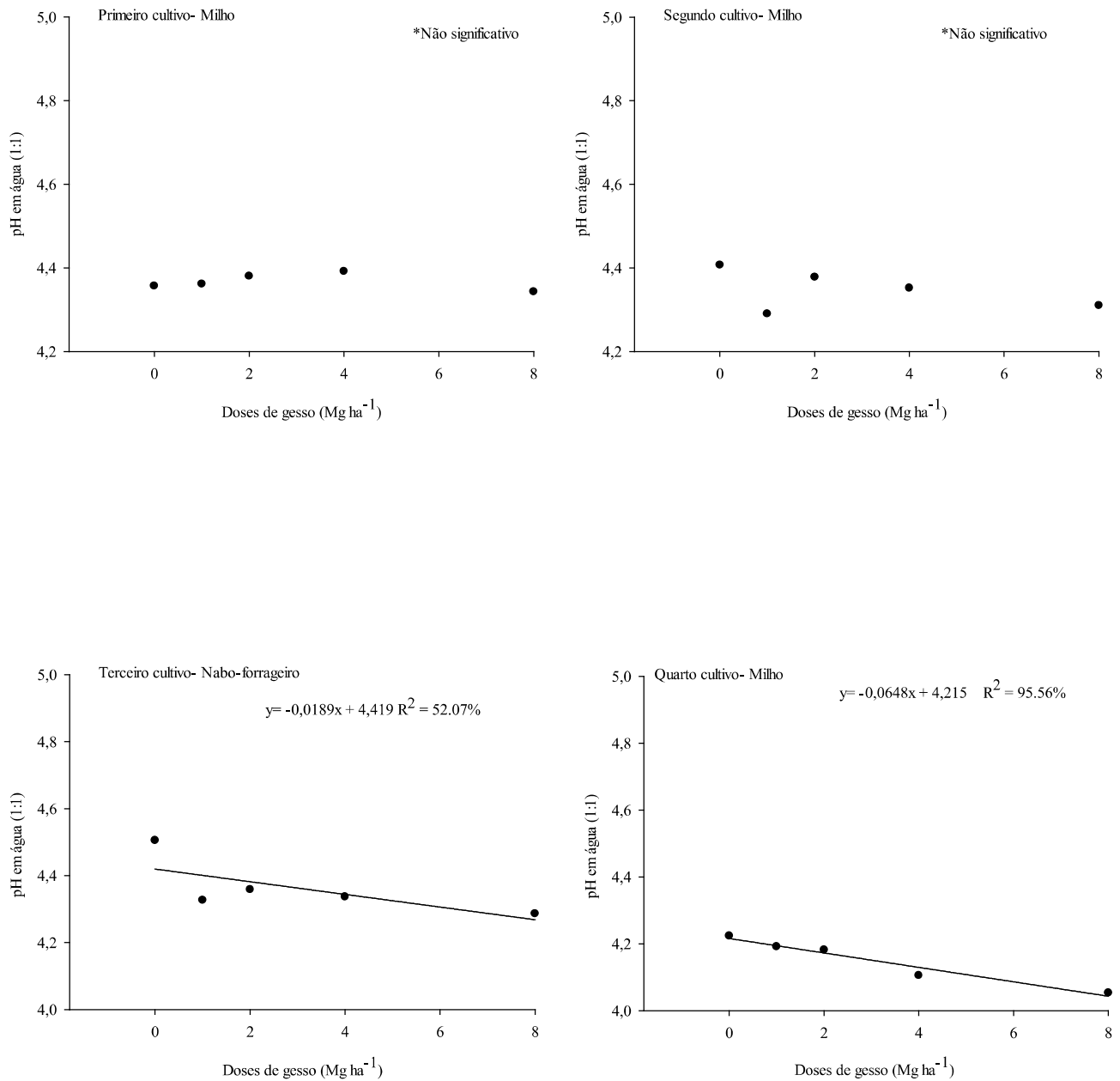
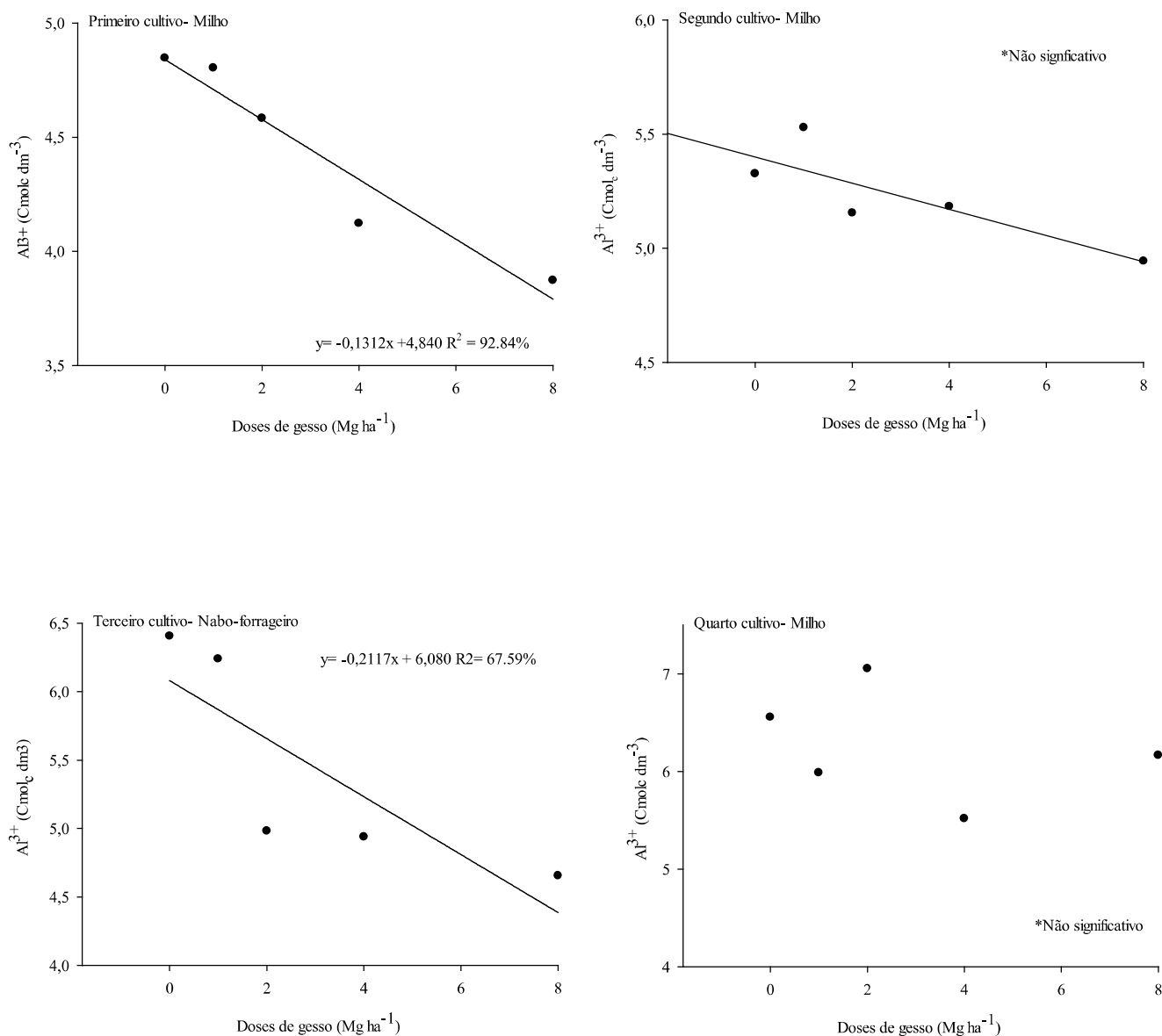


Figura 7- Efeito da aplicação de doses de gesso agrícola no Alumínio trocável em um Cambissolo Húmico após quatro cultivos sucessivos de milho e nabo-forrageiro.



Os teores de Ca^{2+} no solo aumentaram linearmente nas amostras coletadas após todos os cultivos estudados com aplicação de doses de gesso agrícola (Figura 8). Inicialmente, os teores de Ca^{2+} no solo, sem o gesso agrícola, variavam de 1,5 a 2,0 $\text{cmol}_e \text{ dm}^{-3}$, enquanto, com a aplicação da maior dose, as concentrações de Ca^{2+} no solo atingiram respectivamente 7,5, 7,2, 6,5 e 5,5 $\text{cmol}_e \text{ dm}^{-3}$.

Na aplicação da dose de 4,0 Mg ha^{-1} , os resultados chegaram em torno de 4,5 $\text{cmol}_e \text{ dm}^{-3}$ de Ca^{2+} no solo, e esses valores já estão dentro dos parâmetros considerados como satisfatórios

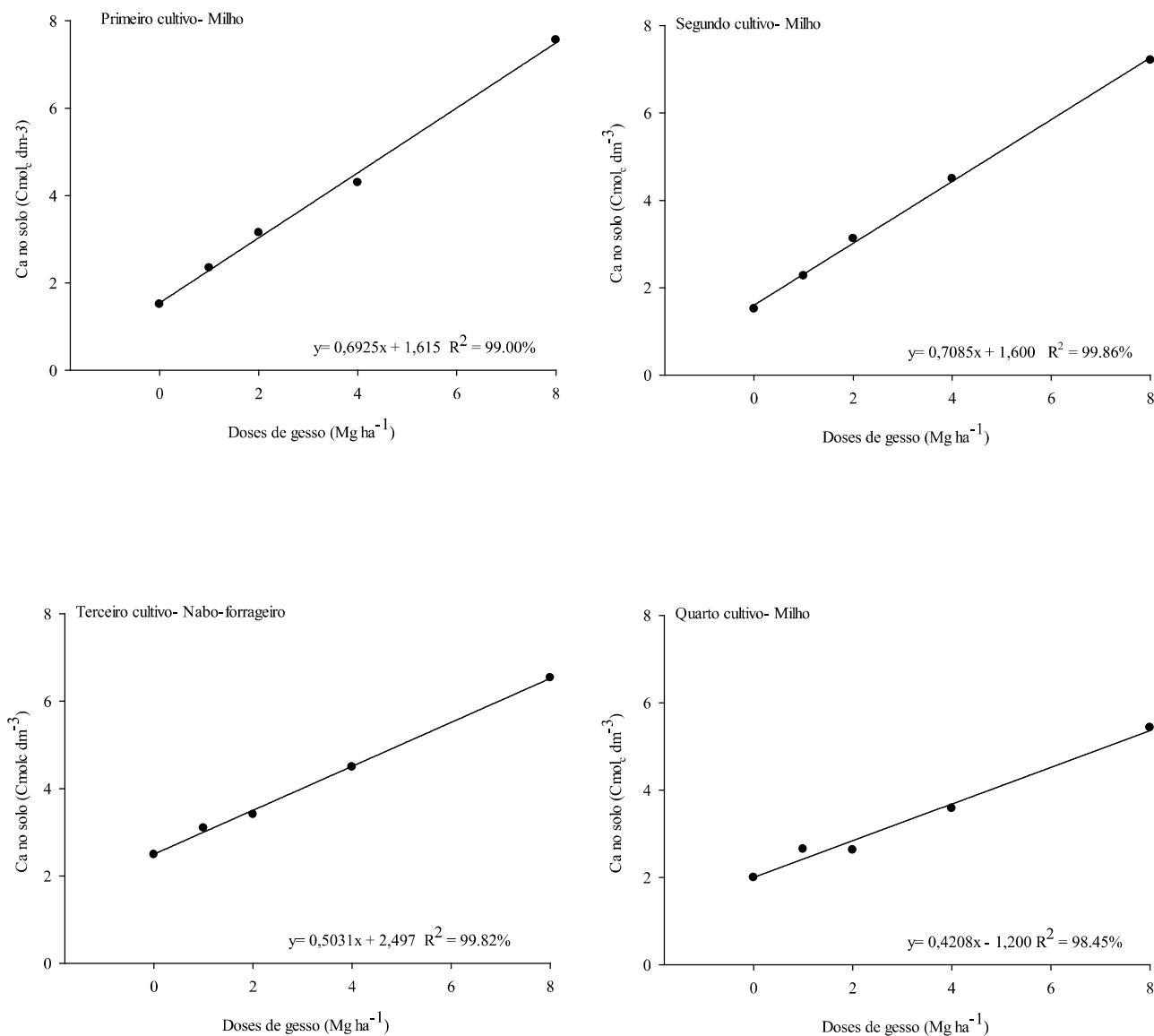
para as culturas. Outros trabalhos também observaram, incrementos de Ca no solo pela aplicação de gesso ao solo. É o caso do trabalho de Oliveira (2002), o qual verificou que o Ca na fase trocável passou de $1,39 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, no tratamento sem gesso, para de $5,59 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ com aplicação de $9,0 \text{ Mg ha}^{-1}$. Sendo assim, o gesso agrícola pode ser utilizado como fonte de Ca para aumentar a relação Ca/Mg em solos onde ela esteja muito baixa e não se pretenda elevar o pH.

Muitos estudos comprovam a eficiência do gesso agrícola em diversas culturas, principalmente nas camadas mais profundas do solo. Ramos *et al.* (2006), em estudo com colunas de lixiviação, observaram aumento nos teores de Ca^{2+} com a aplicação de gesso em todas as profundidades avaliadas, comprovando que o gesso agrícola é uma ferramenta alternativa e complementar à calagem para se aumentar os teores de Ca^{2+} em profundidade, devido a maior solubilidade e mobilidade vertical do gesso no perfil comparado ao calcário (Raij, 1998).

Para os teores de Mg no solo, a aplicação de gesso agrícola não afetou significativamente seus teores nas amostras coletadas após cada cultivo, isso porque o gesso não possui Mg em sua composição.

Alguns trabalhos têm observado aumento na concentração de Mg com a aplicação de gesso em camadas de 10-20 cm e 20-40 cm, ocorrendo a redistribuição de Mg^{2+} no perfil do solo. Esse aumento em profundidade pode estar relacionado ao fato do nutriente ser menos fortemente retido no complexo de troca em relação ao Ca trocável, e por ser maior raio hidratado e menor eletronegatividade, possibilitando essa maior movimentação do perfil (Zandona, 2015). No presente estudo, não fizemos coleta estratificada por camada e, por isso, os valores representam os teores de Mg de todo o volume de solo. Sendo assim, não se esperaria alteração dos valores de Mg, pois não houve lixiviação desse nutriente, em função de não ter havido percolação de água, e a análise determina o somatório do Mg trocável e do Mg da solução. O gesso, por ter Ca, promove deslocamento do Mg das cargas elétricas para a solução pelo Ca adicionado. Então, se não houver lixiviação, os teores de Mg extraíveis na camada avaliada não serão afetados pela aplicação de gesso.

Figura 8- Valores de cálcio após aplicações de doses de gesso em um Cambissolo Húmico.



4.2.2 Rendimento de matéria seca da parte aérea com doses crescente de calcário e gesso agrícola em milho e nabo-forrageiro

A produção da massa seca da parte aérea (MSPA) dos quatro cultivos aumentou pela aplicação de calcário ou de gesso agrícola somente no primeiro e no quarto cultivo, ambos de milho; os dois cultivos intermediários, um de nabo-forrageiro e outro de milho, não foram afetados pelos tratamentos (Figura 9).

Nos dois cultivos onde os tratamentos aumentaram o rendimento de MSPA, o incremento foi quadrático. Para o calcário, a estimativa do rendimento máximo seria obtida pela aplicação respectivamente de 10,2 Mg ha⁻¹ e 8,2 Mg ha⁻¹; para o gesso, o rendimento máximo seria obtido pela aplicação respectivamente de 5,5 Mg ha⁻¹ e 5,0 Mg ha⁻¹. Com o calcário agrícola o rendimento máximo de MSPA foi de 5,6 g/vaso e 8 g/vaso no primeiro e quarto cultivo, respectivamente; com o gesso agrícola, esses valores foram de 5,2 g/vaso e 8 g/vaso, respectivamente. Verifica-se, portanto, semelhança entre os dois produtos no tocante ao incremento no rendimento de MSPA. Em relação à testemunha, houve um aumento na MSPA de quase 1,6 e 1,3 vezes no primeiro e quarto cultivo, respectivamente para o calcário, e quase 1,6 e 1,2 vezes para o gesso, no primeiro e quarto cultivo, respectivamente.

O pouco incremento no rendimento de MSPA e a falta de incremento nos dois cultivos intermediários podem estar relacionadas aos altos teores de P que havia no solo antes da aplicação dos tratamentos, que era de 32 mg dm⁻³. Segundo Ernani (2000), em estudo envolvendo adubação fosfatada e calagem, a aplicação de calcário aumentou o rendimento de milho somente no tratamento que recebeu a menor dose de P; nas doses mais altas de P, não houve resposta de rendimento de milho à aplicação de calcário. Além disso, alguma condição climática dentro da casa-de-vegetação, principalmente temperatura e umidade, também pode ter influenciado os rendimentos.

Miranda *et al.* (2005), verificam aumento significativo de produtividade de matéria seca em função da adição de doses de calcário em plantas de cobertura, mucuna e milheto, sendo que o rendimento máximo foi obtido em parcelas que receberam 4 t ha⁻¹ de calcário incorporado. Outro trabalho feito por Araujo *et al.* (2009), também demonstram que a calagem alterou significativamente a produção de MS da parte aérea das plantas de milho, com o uso de dois tipos de calcários com alta reatividade.

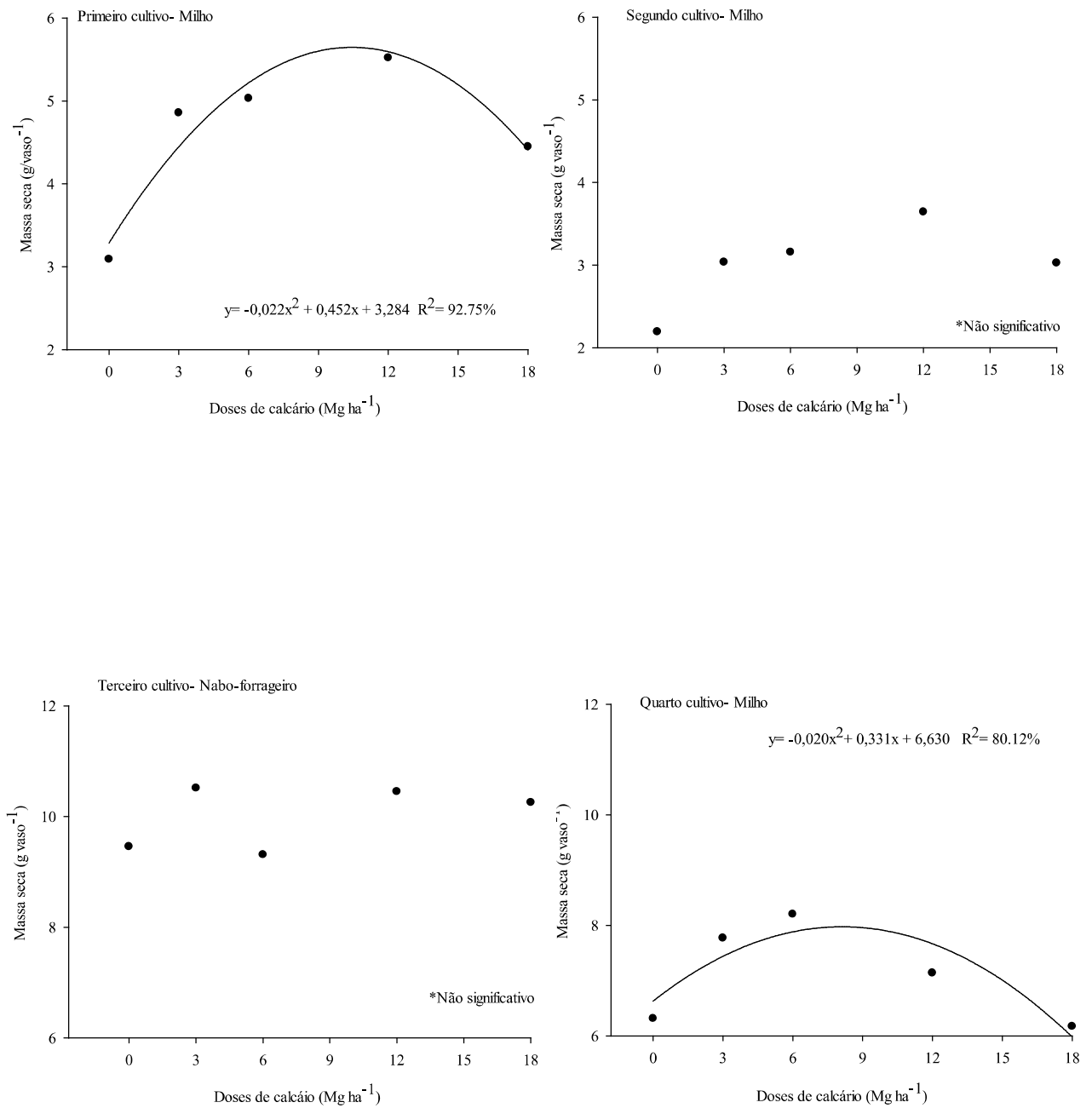
Os incrementos no rendimento de MSPA de milho com aplicações de doses de calcário agrícola encontrados no presente trabalho estão relacionados com o aumento nos teores de Ca, Mg, pH e na redução no Al trocável do solo nos cultivos estudados. Esses fatores contribuem para melhoria na nutrição das plantas de milho, que segundo Melo *et al.* (2021) é proporcionada pela calagem.

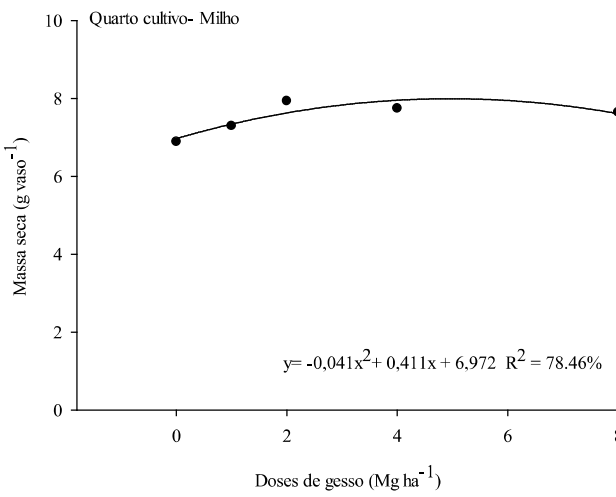
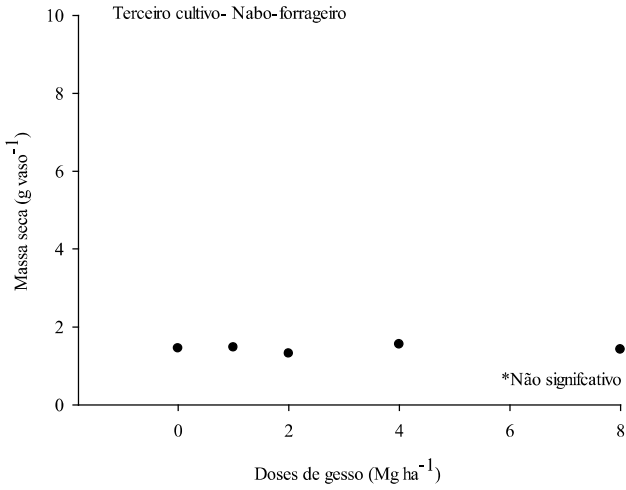
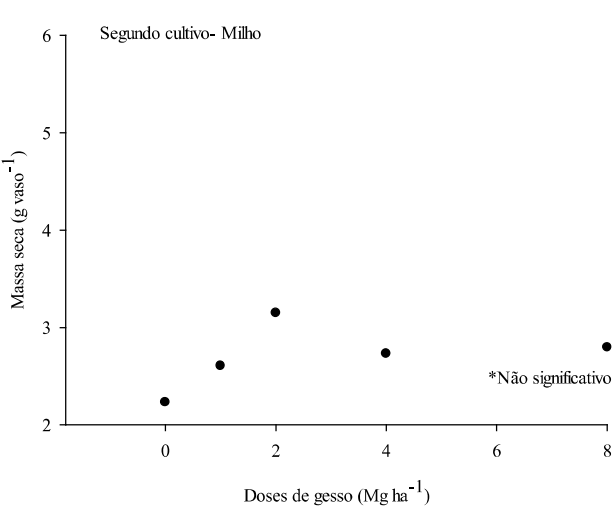
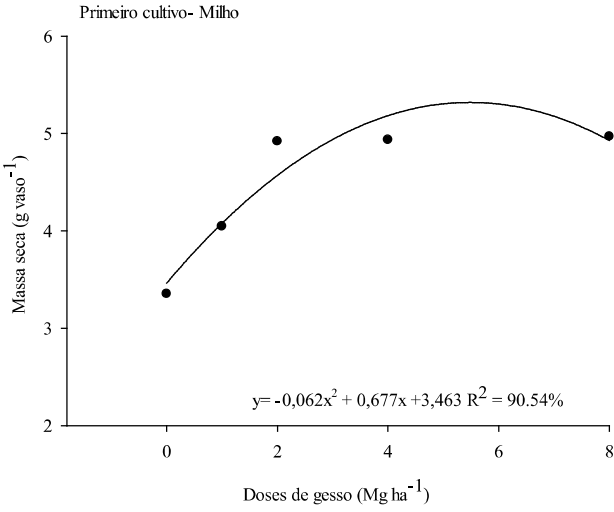
Já no gesso agrícola, alguns trabalhos demonstram que o crescimento aéreo do milho é estimulado em função do aumento das doses do produto. Segundo Foloni (2008), a aplicação de gesso na dose de 1 t ha⁻¹ contribui significativamente para o crescimento das plantas, quando comparado ao tratamento testemunha (sem gesso). Nesse trabalho, o gesso incrementou a

absorção de cálcio (Ca) e de sulfato (SO_4^{2-}) das plantas de milho já com a dose de 1 t ha^{-1} (relativamente baixa).

Na cultura do trigo, segundo Blum (2008), o incremento na massa seca da parte aérea com aplicação de gesso também está relacionada com o aumento da relação Ca/Mg na camada superficial do solo (0-5 cm) e com os teores de enxofre em profundidade. No presente trabalho não foram avaliados o teor de sulfato no solo, mas acreditamos que o aumento de MSPA proporcionado pelo gesso esteja relacionado com o aumento dos teores de Ca e sulfato no solo, além da diminuição de Al trocável.

Figura 9- Rendimento de matéria seca da parte aérea (MSPA) com aplicações de calcário e gesso agrícola após cultivos sucessivos de milho e nabo-forrageiro.





5 CONCLUSÕES

Apesar do pH-H₂O não ter atingido os valores desejados, o calcário diminuiu a atividade de Al³⁺ a valores considerados não tóxicos às plantas, principalmente nas doses de 6,0 e 12,0 Mg ha⁻¹. Além disso, cada tonelada de calcário adicionado aumentou o teor de Ca em 0,37 cmol_c dm⁻³ e o de Mg em 0,28 cmol_c dm⁻³.

Incrementos na produção de MSPA pela adição de calcário foram observados somente no primeiro e quarto cultivo, ambos com a cultura do milho, onde os maiores rendimentos foram observados nas doses de 10,2 Mg ha⁻¹ e 8,2 Mg ha⁻¹, respectivamente.

O gesso agrícola aumentou o Ca trocável, numa magnitude de 0,74 cmol_c dm⁻³ para cada tonelada aplicada, não afetou a concentração de Mg, e provocou uma pequena diminuição no pH do solo e no Al trocável, porém, somente nas amostras coletadas após o primeiro e quarto cultivo.

A adição de gesso agrícola somente aumentou a MSPA no primeiro e quarto cultivo, ambos com a cultura do milho, onde os maiores rendimentos foram observados nas doses de 5,2 Mg ha⁻¹ e de 5,0 Mg ha⁻¹, respectivamente.

O pequeno incremento causado pela adição de calcário e gesso agrícola no rendimento de massa seca dos cultivos, e a pequena diferença entre esses dois produtos, provavelmente foram causados pelo alto teor de fósforo inicialmente presente no solo.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCARDE, José Carlos et al. Avaliação da higroscopicidade de fertilizantes e corretivos. **Scientia agrícola**, v. 49, p. 137-144, 1992.

ALCARDE, José Carlos. **Corretivos da acidez dos solos: características e interpretações técnicas por JC Alcarde**. São Paulo, ANDA, 2005.

ALLEONI, Luis Reynaldo Ferracciu; CAMBRI, Michel Alexandro; CAIRES, Eduardo Favero. Atributos químicos de um Latossolo de cerrado sob plantio direto, de acordo com doses e formas de aplicação de calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 923-934, 2005.

ALMEIDA, Jaime Antônio de; ERNANI, Paulo Roberto; MAÇANEIRO, Kátia Cilene. Recomendação alternativa de calcário para solos altamente tamponados do extremo sul do Brasil. **Ciência Rural**, v. 29, p. 651-656, 1999.

ANTONIO MINATO, Evandro et al. Teores foliares de macronutrientes e produção de milho (*Zea mays* L.) após gessagem em um Latossolo Vermelho Distrófico típico. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 16, n. 2, 2017.

ARAÚJO, Suzana Romeiro; DEMATTÊ, José Alexandre Melo; GARBUÍO, Fernando José. Aplicação de calcário com diferentes graus de reatividade: Alterações químicas no solo cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1755-1764, 2009.

AULER, André Carlos et al. **Efeitos de corretivos da acidez do solo associados ao gesso agrícola sobre os atributos físicos e químicos do solo**. Tese (Doutor em Agronomia). Universidade Estadual de Ponta Grossa. Ponta Grossa-PR. 2018)

BAMBOLIM, Amauri et al. Calcário líquido e calcário convencional na correção da acidez do solo. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 2, n. 3, p. 34-38, 2015.

BARTZEN, Bruna Thaina et al. **Atributos químicos e físicos do solo após a aplicação de doses de gesso agrícola e o rendimento do trigo e soja em sucessão**. 2020. Dissertação de mestrado (Pós Graduação em Agronomia) - Marechal Cândido Rondon – Paraná, 2020.

BIAZATTI, Renan Marré et al. Fitomassa do capim-Braquiária e atributos químicos de um latossolo sob compactação induzida e doses de calcário. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 8, p. 55368-55387, 2020.

BISCARO, Guilherme Augusto et al. Nitrogênio em cobertura e molibdênio via foliar no feijoeiro irrigado cultivado em solo de cerrado. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 33, p. 665-670, 2011.
<https://www.scielo.br/j/pat/a/rgKddGWwQ8DCgHVmPShcfYc/?format=pdf&lang=pt>

BLUM, Susana Churka et al. Assessing available soil sulphur from phosphogypsum applications in a no-till cropping system. **Experimental Agriculture**, v. 50, n. 4, p. 516-532, 2014. <https://www.cambridge.org/core/journals/experimental-agriculture/article/abs/assessing->

[available-soil-sulphur-from-phosphogypsum-applications-in-a-notill-cropping-system/6D0EA1F7343C06631245BB0B61155076](https://doi.org/10.1016/j.scia.2016.06.006)

BLUM, Susana Churka et al. **Atributos químicos de um latossolo e comportamento do trigo e da soja no sistema plantio direto influenciados pela aplicação e reaplicação de gesso agrícola**. Dissertação (Mestrado em agronomia, área agricultura). Ponta grossa–PR. Fevereiro, 2008.

GUTIERREZ BOEM, Flavio H.; PRYSTUPA, Pablo; FERRARIS, Gustavo. Seed number and yield determination in sulfur deficient soybean crops. **Journal of Plant Nutrition**, v. 30, n. 1, p. 93-104, 2007.

BOSSOLANI, JOÃO W.; CRUSCIOL, CARLOS A.C.; LEITE, MÁRCIO F.A.; MERLOTI, LUIS F.; MORETTI, LUIZ G.; PASCOALOTO, ISABÔ M.; KURAMAE, EIKO E. Modulation of the soil microbiome by long-term Ca-based soil amendments boosts soil organic carbon and physicochemical quality in a tropical no-till crop rotation system. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 156, p. 108188, 2021.

BRADY, Nyle C.; WEIL, Ray R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. Bookman Editora, 2009.

BRIGNOLI, Fernando Marcos et al. Atributos biométricos da soja influenciados pelo nível de pH do solo. **Revista Científica Rural**, v. 22, n. 2, p. 13-28, 2020.

BRIGNOLI, Fernando Marcos et al. Atributos biométricos da soja influenciados pelo nível de pH do solo. **Revista Científica Rural**, v. 22, n. 2, p. 13-28, 2020. Acesso em: <
<http://ediurcamp.urcamp.edu.br/index.php/RCR/article/view/3211>>

CAIRES, Eduardo Fávero et al. Lime and gypsum application on the wheat crop. **Scientia Agricola**, v. 59, p. 357-364, 2002. Acesso em: <
<http://www.scielo.br/j/sa/a/Rp8njMgTm7sy4McNLwkQmQN/?lang=en>>

CAIRES, Eduardo Fávero et al. Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 125-136, 2004.

CAIRES, Eduardo Fávero et al. Correção da acidez do solo, crescimento radicular e nutrição do milho de acordo com a calagem na superfície em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 26, p. 1011-1022, 2002.

CAIRES, Eduardo Fávero et al. Crescimento radicular e nutrição da soja cultivada no sistema plantio direto em resposta ao calcário e gesso na superfície. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 1029-1040, 2001.

CAIRES, Eduardo Fávero et al. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 275-286, 2003.

CAIRES, Eduardo Fávero et al. Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 125-136, 2004.

CAIRES, Eduardo Fávero. Correção da acidez do solo em sistema plantio direto. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, 141: 1-13, 2013.

CAIRES, Eduardo Fávero et al. Alterações de Características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 27-34, 1998.

CAIRES, Eduardo Fávero et al. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 315-327, 1999.

CAIRES, Eduardo Fávero et al. Surface application of lime for crop grain production under a non-till system. **Agronomy Journal**, v. 97, n. 3, p. 791-798, 2005.
<https://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2134/agronj2004.0207>

CAIRES, Eduardo fávero; FELDHAUS, Itacir cesar; BLUM, Julius. Crescimento radicular e nutrição da cevada em função da calagem e aplicação de gesso. **Bragantia**, v. 60, p. 213-223, 2001.

CAIRES, Eduardo Fávero; JORIS, Helio Antonio Wood. Uso de corretivos granulados na agricultura. **Informações Agronômicas**, n. 154, p. 17-21, 2016.

CAMARGOS, Sânia Lúcia. Acidez do solo e calagem (reação do solo). **Material didático. Cuiabá, Universidade Federal do Mato Grosso, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária**, 2005.

CAMPOS, Antonio Xavier de. **Fertilização com sulfato de amônio na cultura do milho em um solo de cerrado de Brasília sob pastagem de Brachiaria decumbens**. 2004. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

CONTE, Ana Maria et al. Calcário e gesso no desenvolvimento do milho cultivado em um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico. **Revista Cultivando o Saber**, v. 6, n. 1, p. 8-16, 2013.

COMISSÃO, DE QUÍMICA E. FERTILIDADE DO. SOLO–CQFS, 2016. Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, v. 11.

COSTA, Claudio Hideo Martins da. **Calagem superficial e aplicação de gesso em sistema plantio direto de longa duração: efeitos no solo e na sucessão milho/crambe/feijão-caupi**. Tese (Doutorado em agronomia). Botucatu-SP. 2015. Acesso em <
<https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/0e2945ec-70df-4f8f-a521-b190860013ad/content>>

CUNHA, Gabriel Octávio de Mello et al. Eficiência nutricional e acúmulo de nutrientes do milho cultivado em solos com alto teor de Al-KCl. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 16, pág. 107, 2019.

DA COSTA, Cláudio Hideo Martins; CRUSCIOL, Carlos Alexandre Costa. Efeitos de longo prazo da aplicação de cal e fosfogesso na rotação de plantio direto tropical de soja-aveia-

sorgo e nas propriedades químicas do solo. **Jornal Europeu de Agronomia**, v. 74, p. 119-132, 2016.

DALLA NORA, Douglas et al. **Melhoria dos atributos químicos da camada de enraizamento e seu efeito sobre a produtividade das culturas em sistema plantio direto**. 2017. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria.

DIAS, Luiz Eduardo. **Uso de gesso como insumo agrícola. Comunicado técnico**. Maio/1992, p. 1-6. Acesso em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/623368/1/cot007.pdf>

EBELING, Adierson Gilvani et al. Relação entre acidez e outros atributos químicos em solos com teores elevados de matéria orgânica. **Bragantia**, v. 67, p. 429-439, 2008.

ERNANI, Paulo Roberto. **Química do solo e disponibilidade de nutrientes**. 2 ed. Lages: O autor, 2016. 254p.

ERNANI, Paulo Roberto et al. Influência da combinação de fósforo e calcário no rendimento de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 537-544, 2000.

ERNANI, Paulo Roberto; RIBEIRO, Michelle FS; BAYER, Cimélio. Chemical modifications caused by liming below the limed layer in a predominantly variable charge acid soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 35, n. 5-6, p. 889-901, 2004.

ERNANI, Paulo Roberto; STECKLING, Cleiton.; BAYER, Cimélio. Características químicas de solo e rendimento de massa seca de milho em função do método de aplicação de fosfatos, em dois níveis de acidez. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 939-946, 2001

ERNANI, Paulo Roberto. **Química do Solo e Disponibilidade de Nutriente**. Paulo Roberto Ernani- 2. ed. – Lages: O Autor, 2016. 256p.: il.

ESCOSTEGUI, Pedro Alexandre Varella et al. Acidez e calagem em culturas de grãos em plantio direto. **Revista Plantio Direto**, p. 45-55, 2013.

FAGERIA, Nanda Kumar; BALIGAR, Virupaex; CLARK, Ralph B. Micronutrients in crop production. **Advances in Agronomy**, v. 77, p. 185-268, 2002.

FAVARETTO, Nerilde et al. Gypsum amendment and exchangeable calcium and magnesium affecting phosphorus and nitrogen in runoff. **Soil Science Society of American Journal**, v. 70, p. 1788-1796, 2006.

FOIS, Diego Augusto Fatecha et al. Resposta da soja ao gesso agrícola em plantio direto no Paraguai. **Revista Ceres**, v. 65, p. 450-462, 2018.

FOLONI, José Salvador Simoneti et al. Resposta do feijoeiro e fertilidade do solo em função de altas doses de calcário em interação com a gessagem. **In: Colloquium Agrariae**. ISSN: 1809-8215. 2008. p. 27-35.

FREIRIA, André Costa et al. Alterações em atributos químicos do solo pela aplicação de calcário na superfície ou incorporado. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 30, p. 285-291, 2008.

GOULDING, Keith. Soil acidification and the importance of liming agricultural soils with particular reference to the United Kingdom. **Soil Use and Management**, v. 32, n. 3, p. 390-399, 2016a.

HAWKESFORD, Malcom. et al. Functions of macronutrients. **In: MARSCHNER, P., ed. Mineral nutrition of higher plants**, 3. ed. New York, Elsevier, 2012. p. 171-178.

KINRAIDE, Thomas B. Identity of the rhizotoxic aluminium species. **In: Plant-Soil Interactions at Low pH: Proceedings of the Second International Symposium on Plant-Soil Interactions at Low pH, 24–29 June 1990, Beckley West Virginia, USA**. Springer Netherlands, 1991. p. 717-728.

LANGE, Anderson et al. Alterações em atributos do solo decorrentes da aplicação de nitrogênio e palha em sistema semeadura direta na cultura do milho. **Ciência Rural**, v. 36, p. 460-467, 2006.

LUCHESE, Eduardo Bernardi. **Fundamentos da química do solo: teoria e prática**. Freitas Bastos, 2002..

LUZ, MJ da S.; FERREIRA, Gilvan B.; BEZERRA, José RC. Adubação e correção do solo: procedimentos a serem adotados em função dos resultados da análise do solo. **Circular Técnica**. Campina Grande-PB. Outubro, 2002.

MASCHIETTO, Evandro Henrique Gonçalves. **Gesso agrícola na produção de milho e soja em solo de alta fertilidade e baixa acidez em subsuperfície em plantio direto**. 2009. 58 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura) - UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA, Ponta Grossa, 2009.

MEDEIROS, João Carlos 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**, v. 29, n. 4, p. 799-806, 2008.

MELO, Rogerio Macedo et al. Calagem e textura do substrato afetam o desenvolvimento de *Campomanesia adamantium* (Cambess.) O. Berg. **Sociedade De Ciências Agrárias de Portugal- SCAP**, v. 42, n. 1, p. 99-108, 2019. Acesso em: <
<https://revistas.rcaap.pt/rca/article/view/17023/13837>>

MEURER, Egon José et al. Solos ácidos e solos afetados por sais. **Fundamentos de química do solo**, v. 4, p. 149-66, 2010.

MIRANDA, Leo Nobre de et al. Utilização de calcário em plantio direto e convencional de soja e milho em Latossolo Vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, p. 563-572, 2005.

MIYAZAWA, Mario; PAVAN, Marcos Antonio; SANTOS, Júlio César Franchini. Effects of addition of crop residues on the leaching of Ca and Mg in Oxisols. **In: International symposium on plant-soil interactions at low pH**. Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/EMBRAPA-CPAC, 1996. p. 8.

MOREIRA, Adônis et al. Copper use efficiency in soybean cultivars. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 54, 2019.

MOREIRA, Fátima Maria de Souza; SIQUEIRA, José Oswaldo. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. Lavras: Editora da UFLA, 2006. p. 338- 367.

MOREIRA, Silvino Guimarães; MORAES, Fábio A. Construção da Fertilidade do Solo para o Sistema de Produção de Culturas Anuais. In: **PAES, M.C.; VON PINHO; R.G. MOREIRA, S.G. (Org.)**. Soluções integradas para os sistemas de produção de milho e sorgo no Brasil. 21. ed. Sete Lagoas: Congresso nacional de milho e sorgo, 2018. 4.; anais... V. 32, p. 347-383, 2018.

NUERNBERG, Névio João. Importância do gesso agrícola na agricultura. *Agropecuária Catarinense*, v. 17, n. 2, p. 61-63, 2004. Nuernberg, N. J. (2004). Importância do gesso agrícola na agricultura. *Agropecuária Catarinense*, 17(2), 61-63. Recuperado de <https://publicacoes.epagri.sc.gov.br/rac/article/view/1002>

OLIVEIRA, Hércules José de; ERNANI, Paulo Roberto; AMARANTE, Cassandro. Alteração na composição química das fases sólida e líquida de um solo ácido pela aplicação de calcário e gesso agrícola. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 1, n. 2, p. 93-101, 2002.

PAULETTI, Volnei et al. Efeitos em longo prazo da aplicação de gesso e calcário no sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 495-505, 2014.

PRIMAVESI, Ana Cândida et al. Absorção de cátions e ânions pelo capim-coastcross adubado com uréia e nitrato de amônio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, p. 247-253, 2005.

PRIMAVESI, Ana Cândida; PRIMAVESI, Odo. Características de corretivos agrícolas. São Carlos, SP: **Embrapa Pecuária Sudeste**, 2004.

PROCHNOW, Luís Ignácio. Avaliação e manejo da acidez do solo. Extraído do Better Crops, v. 98, n.1, 2004. Engenheiro Agrônomo, Doutor, Diretor. **Informações agrônômicas nº 146** – junho de 2014.

QUAGGIO, José Antônio et al. Respostas da soja à aplicação de calcário e gesso e lixiviação de íons no perfil do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 28, n. 3, p. 375-383, 1993.

RAIJ, B. Van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011.

RAMOS, Bárbara Zini et al. Doses de gesso em cafeeiro: influência nos teores de cálcio, magnésio, potássio e pH na solução de um Latossolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 1018-1026, 2013.

RAMOS, Lucélia Alves et al. Reatividade de corretivos da acidez e condicionadores de solo em colunas de lixiviação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 849-857, 2006.

RITCHEY, Kristen D et al. Calcium deficiency in clayey B horizons of savannah Oxisols. **Soil Science**, 133:378-382, 1982.

RODRIGHERO, Maik Barbosa; BARTH, Gabriel; CAIRES, Eduardo Fávero. Aplicação superficial de calcário com diferentes teores de magnésio e granulometrias em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 1723-1736, 2015.
<https://www.scielo.br/j/rbcs/a/mVLVQbkYfGzrwhcDX4WPSXn/?lang=pt>

RODRIGHERO, Maik Barbosa; BARTH, Gabriel; CAIRES, Eduardo Fávero. Aplicação superficial de calcário com diferentes teores de magnésio e granulometrias em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 1723-1736, 2015.

RUTKOWSKA, Beata et al. Formas de Al no solo e na solução do solo em um experimento de aplicação de fertilizantes de longo prazo. **Uso e Manejo do Solo**, v. 31, n. 1, pág. 114-120, 2015.

SORATTO, Rogério Peres; CRUSCIOL, Carlos Alexandre Costa. Atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de calcário e gesso em sistema plantio direto recém-implantado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 675-688, 2008.

SOUSA, Djalma Martinhão Gomes; LOBATO, Edson. Cerrado: correção do solo e adubação. Brasília, DF: **Embrapa Informação Tecnológica**; Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004., 2004.

SOUSA, Djalma Martinhão Gomes; MIRANDA, Leo Nobre. OLIVEIRA, Sebastião Alberto. Acidez do solo e sua correção. In: **NOVAIS, R. F. et al. Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, Cap. 5 p. 205-274, 2007.

SOUZA, Zigomar Menezes de et al. Influência da variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo na aplicação de insumos para cultura de cana-de-açúcar. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, p. 371-377, 2007.

TEDESCO, Marino José. GIANELLO, Clésio. 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.

TISSI, Josinei Antonio; CAIRES, Eduardo Fávero; PAULETTI, Volnei. Efeitos da calagem em semeadura direta de milho. **Bragantia**, v. 63, p. 405-413, 2004.

VAN RAIJ, Bernardo. et al. Gesso na produção de cultivares de milho com tolerância diferencial a alumínio em três níveis de calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 101-108, 1998.

VAN RAIJ, Bernardo. Melhorando o ambiente radicular em subsuperfície. **Instituto Agrônômico**. Setembro, 2011.

VAN RAIJ, Bernardo. Gesso na agricultura. Campinas: **Instituto Agrônômico de Campinas**, 2008.

VANDA-SEBASTIÃO, Joana S. et al. Aplicação de doses crescentes de calcário por incubação nos solos da chianga-huambo. Angola. **Revista Cubana Química**, v. 32, n. 2, p. 258-282, 2019. <https://www.redalyc.org/journal/4435/443559859008/html/>

VELOSO, Carlos Alberto Costa et al. **Correção da acidez do solo**. BRASIL, EC; CRAVO, MS; VIÉGAS, I. de JM, p. 121-131, 2020.

VITTI, Godofredo Cesar et al. **Uso do gesso em sistemas de produção agrícola**. Piracicaba: GAPE, 2008.

VOLKWEISS, Sergio Jorge et al. **A calagem dos solos ácidos: prática e benefícios**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Departamento de Solos, 1984.

ZAMBROSI, Fernando César Bachiega; ALLEONI, Luís Reynaldo Ferracciú; CAIRES, Eduardo Fávero. Aplicação de gesso agrícola e especiação iônica da solução de um Latossolo sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v. 37, p. 110-117, 2007.

ZANDONÁ, Renan Ricardo et al. Gesso e calcário aumentam a produtividade e amenizam o efeito do déficit hídrico em milho e soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, p. 128-137, 2015.