

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS – CAV
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

KATHLEEN STRAMOSK

**EFEITOS DE CORRETIVOS DA ACIDEZ E DO GESSO AGRÍCOLA EM
ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E NO RENDIMENTO DE MASSA SECA DE
PLANTAS, EM CASA DE VEGETAÇÃO**

Lages

2023

KATHLEEN STRAMOSK

**EFEITOS DE CORRETIVOS DA ACIDEZ E DO GESSO AGRÍCOLA EM
ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E NO RENDIMENTO DE MASSA SECA DE
PLANTAS, EM CASA DE VEGETAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Ph.D. Paulo Roberto Ernani.
Coorientador: Dr. Paulo Cezar Cassol

Lages

2023

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

Stramosk, Kathleen

Efeitos de Corretivos da Acidez e do Gesso Agrícola em
Atributos Químicos do Solo e no Rendimento de Massa Seca de
Plantas, em Casa de Vegetação / Kathleen Stramosk. -- 2023.

70 p.

Orientador: Paulo Roberto Ernani

Coorientador: Paulo Cezar Cassol

Dissertação (mestrado) -- Universidade do Estado de Santa
Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de
Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lages, 2023.

1. Calcário. 2. Cal de câmara. 3. Dregs. 4. Lama de cal. 5. Gesso
agrícola. I. Roberto Ernani, Paulo. II. Cezar Cassol, Paulo. III.
Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências
Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo.
IV. Título.

KATHLEEN STRAMOSK

**EFEITOS DE CORRETIVOS DA ACIDEZ E DO GESSO AGRÍCOLA EM
ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E NO RENDIMENTO DE MASSA SECA DE
PLANTAS, EM CASA DE VEGETAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

BANCA EXAMINADORA

Presidente:

Documento assinado digitalmente
 PAULO ROBERTO ERNANI
Data: 06/12/2023 15:27:10-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Orientador: Prof.º Ph.D. Paulo Roberto Ernani
Departamento de Solos e Recursos Naturais - CAV/UDESC

Membro Interno:

Documento assinado digitalmente
 MARI LUCIA CAMPOS
Data: 30/11/2023 08:12:44-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.º Dra. Mari Lúcia Campos
Departamento de Solos e Recursos Naturais - CAV/UDESC

Membro Externo:


Dra. Marlise Nara Ciotta
EPAGRI

Lages, 09 de outubro de 2023

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família por todo o apoio durante a minha vida acadêmica. Meu pai, Raimundo Stramosk (*in memoriam*) por me incentivar a estudar desde sempre; minha mãe, Marinez e minha irmã, Stefannie por todo o apoio. Sem vocês a minha trajetória teria sido muito mais difícil.

Agradeço ao meu irmão Lorenzo e a minha afilhada Zoe, as crianças da minha vida que as vezes me tiravam do trabalho para brincar. Vocês tornaram minha trajetória muito mais bonita, com a leveza e alegria que vocês têm.

Agradeço ao meu primo e melhor amigo Matheus Zanghelini Teixeira, por ser a minha luz durante os períodos mais difíceis da pós-graduação. Você tornou tudo mais leve.

Agradeço a Marlise Nara Ciotta, uma grande amiga e incentivadora do meu ingresso no programa de pós-graduação em Ciência do Solo. Seu amor pela Ciência do Solo é cativante.

Agradeço ao meu orientador, Paulo Roberto Ernani, por todo o conhecimento e orientação repassados a mim, para que a realização do trabalho fosse possível. Agradeço também o corpo docente do programa, que passou com excelência os conhecimentos que adquiri durante esses dois anos.

Agradeço à professora Mari Lúcia Campos por todo o apoio, dicas de livros e ensinamentos, além de ter se tornado uma grande amiga.

Agradeço aos colegas do laboratório de Química e Fertilidade do Solo, que me auxiliaram durante a etapa prática do projeto, em especial a Sabrina B. Granados, que tornou todo o processo de aprendizagem muito mais divertido.

Agradeço à UDESC, ao Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV) e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, por proporcionar uma educação gratuita e de qualidade.

Agradeço à Capes pela concessão da bolsa durante o mestrado.

Por fim, agradeço a todos que participaram de alguma forma, contribuindo para o fechamento de mais um ciclo.

Obrigada!

*“Se não posso estimular sonhos impossíveis,
não devo negar o direito de sonhar com quem
sonha.”
(Paulo Freire)*

RESUMO

Na serra catarinense, os solos em geral apresentam características naturalmente ácidas sendo, na maioria dos casos, necessária a realização da calagem para reduzir a acidez dos mesmos. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da adição conjunta de gesso e diferentes corretivos de acidez no aumento do pH, na velocidade das reações e no rendimento de matéria seca de milho e nabo-forageiro. Foram conduzidos quatro experimentos em casa de vegetação, com um Cambissolo Húmico e duração aproximada de 30 dias cada. Os tratamentos consistiram em quatro corretivos da acidez (calcário dolomítico comercial, cal oriundo de câmaras frigoríficas de armazenamento refrigerado de maçãs, dregs e lama de cal) combinados ou não com gesso agrícola, além de uma testemunha, sem corretivos da acidez e gesso. O dregs e a lama de cal são subprodutos alcalinos oriundos da indústria de papel e celulose. No primeiro, segundo e quarto cultivo foi cultivado milho e no terceiro foi utilizado nabo-forageiro. Num experimento adicional, conduzido em laboratório, foi avaliado o tempo de reação dos mesmos corretivos da acidez, utilizando um Cambissolo Húmico e um Nitossolo Vermelho. As doses dos corretivos nos dois estudos foram quantificadas com base no valor de neutralização de cada produto, tendo por objetivo elevar o pH do solo até 6,0, nos experimentos com plantas e até 5,5 e 6,5 no experimento de laboratório. Antes da semeadura do primeiro cultivo, os tratamentos permaneceram incubados com o solo durante 30 dias. Determinou-se a matéria seca da parte aérea de cada cultivo e os teores de Ca, Mg e K nas plantas, além de pH, Al, Ca, Mg, K e Na no solo. No experimento de laboratório, os tratamentos permaneceram incubados com o solo durante 100 dias, tendo havido a coleta de amostras dos solos a cada dez dias, para determinação do pH. Os resíduos alcalinos disponibilizaram mais Ca para o solo e para as plantas do que o calcário comercial. Os tratamentos com calcário, por sua vez, apresentaram incremento nos teores de Mg no solo e, conseqüentemente, na quantidade de Mg absorvida pelas plantas. A adição de gesso aumentou o Ca no solo e a absorção de Ca pelas plantas. Os corretivos da acidez aumentaram o rendimento de massa seca dos cultivos, porém não houve diferenças entre o calcário comercial e os demais corretivos. A aplicação de gesso agrícola não interferiu na velocidade de reação dos corretivos da acidez e proporcionou aumento no rendimento de matéria seca relativamente ao tratamento testemunha (sem corretivos da acidez), mas foi inferior aos corretivos. No experimento de laboratório, independente do solo e do tipo de corretivo da acidez, o pH estabilizou entre 10 e 30 dias após a aplicação deles, mostrando que a correção da acidez ocorre num curto espaço de tempo.

Palavras-chave: Calcário, cal de câmara, dregs, lama de cal, gesso agrícola.

ABSTRACT

In the Santa Catarina highlands, soils in general have naturally acidic characteristics and normally liming is needed to reduce soil acidity. The objective of this study was to evaluate the effect of addition of gypsum combined or not with four alkaline products on the increase of soil pH, dry matter yield and chemical modifications on some soil characteristics. Four consecutive crop cultivations of 30 days each were carried out over the same experimental units, in a greenhouse, using a Humic Haplumbrept. In the first, second and fourth experiments it was grown *Zea mays*, in the third experiment it was grown *Raphanus sativus*. Treatments consisted of four alkaline products (commercial dolomitic limestone, lime from cold storage apple chambers, dregs and lime mud) combined or not with agricultural gypsum, in addition to a control. Dregs and lime mud are by-products of the paper industry. In a laboratory additional study, it was evaluated the speed of reaction of these alkaline products on two different soils. The alkaline product rates were quantified based on the neutralization value of each product, to raise the soil pH to 6.0 in the greenhouse experiments and to 5.5 and 6.5 in the laboratory study. Before sowing the first crop of maize, treatments remained incubated with soil for 30 days. The dry matter of the aerial part of each crop and the levels of Ca, Mg and K in the plants were determined, as well as pH, Al, Ca, Mg, K and Na in the soil. In the laboratory experiment, soils were incubated for 100 days, and soil samples were taken every ten days, for subsequent pH determination. Calcium availability to plants was higher with by-products when compared to commercial limestone. Lime, however, increased Mg content in the soil and in the plants. Addition of gypsum increased Ca in the soil and in the plants. All alkaline products increased the plant dry matter yield, and there was no difference in their efficiency. A aplicação conjunta de gesso agrícola não interferiu na velocidade de reação dos corretivos da acidez e proporcionou aumento no rendimento de matéria seca no tratamento testemunha (sem corretivos da acidez). The application of agricultural gypsum did not interfere in the reaction speed of all limes and provided an increase in the plant dry matter yield relatively to the control but was less efficient than all limes. In the laboratory study, regardless of soil and alkaline product, soil pH stabilized between 10 and 30 days, showing that correction of lime acidity occurs in a short period of time.

Keywords: Limestone, lime from cold storage rooms, dregs, lime mud, agricultural gypsum.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estados brasileiros produtores de maçã. Valor da produção (1 mil reais) em 2021.....	23
Figura 2 - Série histórica (valor de produção) da maçã no Brasil.....	23
Figura 3 - Processo de produção dos resíduos das indústrias de papel e celulose.....	25
Figura 4 - Teores de cátions básicos e matéria seca da parte aérea do primeiro cultivo (milho) em função da aplicação de corretivos de acidez, na presença ou não de gesso. Letras minúsculas diferentes dentro de cada corretivo significam diferença entre os níveis de gesso pelo teste de Tukey a 5% de significância. NS significa inexistência de diferença estatística.....	33
Figura 5 - Matéria seca da parte aérea do primeiro cultivo (milho) em função da interação entre os corretivos da acidez e os níveis de gesso agrícola (ausência e presença). Letras minúsculas diferentes dentro de cada nível de gesso significam diferença estatística entre os corretivos da acidez. NS significa inexistência de diferença estatística.....	34
Figura 6 - Teores de cálcio da parte aérea do primeiro cultivo (milho) em função da interação entre os corretivos da acidez e os níveis de gesso agrícola (ausência e presença). Letras minúsculas diferentes dentro de cada nível de gesso significam diferença estatística entre os corretivos da acidez.....	34
Figura 7 - Teores de potássio da parte aérea do primeiro cultivo (milho) em função da interação entre os corretivos da acidez e os níveis de gesso agrícola (ausência e presença). Letras minúsculas diferentes dentro de cada nível de gesso significam diferença estatística entre os corretivos da acidez. Ausência de letras significa inexistência de diferença estatística.....	35
Figura 8 - Teores de cátions básicos e matéria seca da parte aérea do segundo cultivo (milho) em função da aplicação de corretivos de acidez, na presença ou não de gesso. Letras minúsculas diferentes dentro de cada corretivo significam diferença entre os níveis de gesso pelo teste de Tukey a 5% de significância. NS significa inexistência de diferença estatística.....	36
Figura 9 - Teores de cátions básicos e matéria seca da parte aérea do terceiro cultivo (nabo-forrageiro) em função da aplicação de corretivos de acidez, na presença ou não de gesso. Letras minúsculas diferentes dentro de cada corretivo significam diferença entre os níveis de gesso pelo teste de Tukey a 5% de significância. NS significa inexistência de diferença estatística.....	38
Figura 10 - Teores de potássio da parte aérea do terceiro cultivo (nabo-forrageiro) em função da interação entre os corretivos da acidez e os níveis de gesso agrícola (ausência e presença). Letras minúsculas diferentes dentro de cada nível de gesso significam diferença estatística entre os corretivos da acidez. NS significa inexistência de diferença estatística.	39
Figura 11 - Teores de cátions básicos e matéria seca da parte aérea do quarto cultivo (milho) em função da aplicação de corretivos de acidez, na presença ou não de gesso. Letras minúsculas diferentes dentro de cada corretivo significam diferença entre os	

níveis de gesso pelo teste de Tukey a 5% de significância. NS significa inexistência de diferença estatística.....	40
Figura 12 - Teores de cálcio da parte aérea do quarto cultivo (milho) em função da interação entre os corretivos da acidez e os níveis de gesso agrícola (ausência e presença). Letras minúsculas diferentes dentro de cada nível de gesso significam diferença estatística entre os corretivos da acidez.....	41
Figura 13 - Teores de cátions básicos trocáveis no solo após o primeiro cultivo (milho) em função da aplicação de corretivos de acidez, na presença ou não de gesso. Letras minúsculas diferentes dentro de cada corretivo significam diferença entre os níveis de gesso pelo teste de Tukey a 5% de significância. NS significa inexistência de diferença estatística.....	45
Figura 14 - Valores médios de cálcio trocável no solo após o primeiro cultivo (milho) em função da interação entre os corretivos da acidez e os níveis de gesso agrícola (ausência e presença). Letras minúsculas diferentes dentro de cada nível de gesso significam diferença estatística entre os corretivos da acidez.	46
Figura 15 - Teores de cátions básicos trocáveis no solo após o segundo cultivo (milho) em função da aplicação de corretivos de acidez, na presença ou não de gesso. Letras minúsculas diferentes dentro de cada corretivo significam diferença entre os níveis de gesso pelo teste de Tukey a 5% de significância. NS significa inexistência de diferença estatística.....	47
Figura 16 - Valores médios de cálcio trocável no solo após o segundo cultivo (milho) em função da interação entre os corretivos da acidez e os níveis de gesso agrícola (ausência e presença). Letras minúsculas diferentes dentro de cada nível de gesso significam diferença estatística entre os corretivos da acidez.	48
Figura 17 - Valores médios de potássio trocável no solo após o segundo cultivo (milho) em função da interação entre os corretivos da acidez e os níveis de gesso agrícola (ausência e presença). Letras minúsculas diferentes dentro de cada nível de gesso significam diferença estatística entre os corretivos da acidez. NS significa inexistência de diferença estatística.....	49
Figura 18 - Teores de cátions básicos trocáveis no solo após o terceiro cultivo (nabo-forrageiro) em função da aplicação de corretivos de acidez, na presença ou não de gesso. Letras minúsculas diferentes dentro de cada corretivo significam diferença entre os níveis de gesso pelo teste de Tukey a 5% de significância. NS significa inexistência de diferença estatística.	50
Figura 19 - Valores médios de sódio trocável no solo após o terceiro cultivo (nabo-forrageiro) em função da interação entre os corretivos da acidez e os níveis de gesso agrícola (ausência e presença). Letras minúsculas diferentes dentro de cada nível de gesso significam diferença estatística entre os corretivos da acidez.....	51
Figura 20 - Teores de cátions básicos trocáveis no solo após o quarto cultivo (milho) em função da aplicação de corretivos de acidez, na presença ou não de gesso. Letras minúsculas diferentes dentro de cada corretivo significam diferença entre os níveis de gesso pelo teste de Tukey a 5% de significância. NS significa inexistência de diferença estatística.....	52
Figura 21 - Valores médios de cálcio trocável no solo após o quarto cultivo (milho) em função da interação entre os corretivos da acidez e os níveis de gesso agrícola	

(ausência e presença). Letras minúsculas diferentes dentro de cada nível de gesso significam diferença estatística entre os corretivos da acidez.53

Figura 22 - Valores médios de potássio trocável no solo após o quarto cultivo (milho) em função da interação entre os corretivos da acidez e os níveis de gesso agrícola (ausência e presença). Letras minúsculas diferentes dentro de cada nível de gesso significam diferença estatística entre os corretivos da acidez. NS significa inexistência de diferença estatística.53

Figura 23 - Valor do pH do solo com as doses de corretivos para atingir $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ 5,5 ..61

Figura 24 - Valor do pH do solo com as doses de corretivos para atingir $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ 6,5 ..62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição química do dregs e lama de cal (%).....	26
Tabela 2 - Ranking dos maiores produtores de celulose do mundo em 2021.....	27
Tabela 3 - Valor médio do pH do solo dos quatro cultivos em função da aplicação de corretivos de acidez, na presença ou não de gesso. Letras minúsculas diferentes dentro de cada cultivo significam diferença entre os níveis de gesso pelo teste de Tukey a 5% de significância. Ausência de letras significa inexistência de diferença estatística.....	43
Tabela 4 - Teores de alumínio trocável do solo dos quatro cultivos em função da aplicação de corretivos de acidez, na presença ou não de gesso agrícola. Letras minúsculas diferentes dentro de cada tratamento significam diferença entre os níveis de gesso pelo teste de Tukey a 5% de significância. Ausência de letra significa inexistência de diferença estatística.....	44
Tabela 5 - Valores médios de CTC efetiva, saturação por bases e (%) de Al, Ca, K, Mg e Na no solo	55
Tabela 6 - Média geral do pH dos solos com os diferentes corretivos da acidez	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AC	Atmosfera controlada
Al(OH) ₃	Hidróxido de alumínio
AlSO ₄	Sulfato de alumínio
CaCO ₃	Carbonato de cálcio
CaO	Óxido de cálcio
Ca(OH) ₂	Hidróxido de cálcio
CaSO ₄ .2H ₂ O	Sulfato de cálcio di-hidratado
CO ₂	Gás carbônico
CTC	Capacidade de troca de cátions
DIC	Delineamento Inteiramente Casualizado
HCO ₃	Bicarbonato
IN	Instrução Normativa
MAP	Fosfato monoamônico
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MgO	Óxido de magnésio
MS	Matéria Seca
MSPA	Matéria Seca da Parte Aérea
Na ₂ CO ₃	Carbonato de sódio
Na ₂ S	Sulfeto de sódio
NaOH	Hidróxido de sódio
NBR	Norma Brasileira
OH	Hidróxido
P ₂ O ₅	Pentóxido de difósforo
PN	Poder de Neutralização
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PRNT	Poder Relativo de Neutralização Total
PTK	Poder tampão do potássio
Sisnama	Sistema Nacional do Meio Ambiente
SNVS	Sistema Nacional de Vigilância Sanitária
Suasa	Sistema Unificado de Atenção a Sanidade Agropecuária

LISTA DE SÍMBOLOS

Al	Alumínio
Ca	Cálcio
F	Ferro
H	Hidrogênio
K	Potássio
Mg	Magnésio
Mn	Manganês
N	Nitrogênio
Na	Sódio
P	Fósforo
S	Enxofre
V%	Saturação por bases

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	16
2 OBJETIVOS	17
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
3.1 GESSO AGRÍCOLA.....	18
3.2 CORRETIVOS DA ACIDEZ DO SOLO	19
3.2.1 CALCÁRIO	21
3.2.2 CAL DE CÂMARA	22
3.2.3 DREGS E LAMA DE CAL.....	24
4 CAPÍTULO 1: EFEITO DA APLICAÇÃO CONJUNTA DE DIFERENTES CORRETIVOS COM GESSO AGRÍCOLA NO RENDIMENTO DE MILHO E NABO-FORRAGEIRO EM CASA DE VEGETAÇÃO	29
4.1 INTRODUÇÃO	29
4.2 MATERIAL E MÉTODOS	30
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.3.1 PLANTA	32
4.3.2 SOLO.....	42
4.4 CONCLUSÃO	56
5 CAPÍTULO 2: EFICIÊNCIA DE DIFERENTES CORRETIVOS NO AUMENTO DO PH DO SOLO	58
5.1 INTRODUÇÃO	58
5.2 MATERIAL E MÉTODOS	59
5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	60
5.4 CONCLUSÃO	62
REFERÊNCIAS	64

1 INTRODUÇÃO GERAL

O setor econômico de Santa Catarina destaca-se pela sua diversidade, desde a agropecuária na região oeste à indústria naval no litoral catarinense. Na região serrana, a economia é caracterizada principalmente pelo turismo, produção de maçã, indústrias de papel e celulose (SEBRAE, 2013), produção de pecuária, e mais recentemente uma forte inserção da agricultura, com cultura de grãos, milho e soja.

Contudo, estes processos produtivos são responsáveis por gerar quantidades significativas de resíduos sólidos. A produção de maçã utiliza a cal hidratada para remover o excesso de CO_2 dentro de câmaras frias de atmosfera controlada (AC), o que produz grandes quantidades de carbonato de cálcio (CaCO_3) como resíduo (BRACKMANN; LUNARDI, 1996).

Já as indústrias de papel e celulose são responsáveis por gerar grandes quantidades de vários tipos de resíduos, entre eles o dregs e a lama de cal, ambos provenientes do processo de separação da celulose (ALMEIDA et al., 2007) durante a etapa de recuperação química dos reagentes no processo Kraft.

Estes resíduos apresentam potencial para elevar o pH do solo, pois são compostos por CaO e CaCO_3 e, ao utilizar estes materiais como corretivos de pH, a quantidade de resíduos destinada aos aterros sanitários é reduzida, promovendo a reciclagem dos materiais. No entanto, para que a sua aplicação no solo seja feita de forma adequada, é necessário avaliar o potencial de correção de pH destes materiais, além de possíveis efeitos nocivos que os resíduos podem apresentar para o solo e plantas.

2 OBJETIVOS

O objetivo do trabalho foi avaliar a velocidade de reação de quatro corretivos da acidez do solo (calcário dolomítico comercial, cal oriundo de câmaras frigoríficas, dregs e lama de cal) e o efeito da aplicação destes corretivos, combinados ou não com gesso agrícola, no aumento do pH do solo e no rendimento de milho e nabo-forrageiro, em casa-de-vegetação.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta uma revisão bibliográfica a respeito do gesso agrícola e dos diferentes corretivos utilizados.

3.1 GESSO AGRÍCOLA

O gesso agrícola é um sal neutro, subproduto dos processos de produção de fertilizantes fosfatados. Sua fórmula química é $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – Sulfato de cálcio di-hidratado – e, quando aplicado ao solo, é capaz de incrementar os teores de cálcio e enxofre, dois macronutrientes importantes para o desenvolvimento das plantas (BASSO; NUERNBERG; RECH, 2018). Além de cálcio e enxofre, o gesso agrícola pode apresentar outros nutrientes em sua composição, como P_2O_5 e F, mas os teores variam de acordo com a região de origem do produto (ALVAREZ et al., 2007).

No solo, a maior parte de enxofre encontra-se na forma orgânica, que é transformado em formas disponíveis para as plantas através de microrganismos (VITTI et al., 2006). Na planta, o enxofre é importante para compor os aminoácidos cistina, cisteína e metionina e, quando há deficiência de enxofre, a síntese de proteínas que requerem estes aminoácidos pode ser prejudicada (BISSANI et al., 2008).

Os teores naturais de cálcio no solo são provenientes de processos de intemperização de minerais como os carbonatos, mas também podem estar presentes na matéria orgânica, e sua quantidade dependerá do material de origem (MALAVOLTA, 1976). O cálcio é absorvido na sua forma iônica (Ca^{2+}) pela planta, e é um importante componente da parede celular, ou seja, apresenta função estrutural, e sua deficiência reduz o desenvolvimento radicular (SOUSA et al., 2007).

Deficiência de cálcio nas plantas não é comum, uma vez que muitos dos solos cultivados são ácidos e a calagem, prática adotada para resolver o problema da acidez, já incrementa os teores de cálcio do solo. No entanto, o calcário, corretivo mais utilizado na calagem, apresenta solubilidade baixa, e sua aplicação interfere apenas nas camadas mais superficiais quando não é incorporado ao solo.

O gesso agrícola não aumenta o pH do solo, pois é um sal neutro (ERNANI, 2016). Contudo, apresenta solubilidade em água 146 vezes maior que o carbonato de cálcio (CaCO_3), possibilitando o incremento dos teores de cálcio em profundidade e, conseqüentemente, a

redução da atividade do alumínio e maior desenvolvimento radicular nesse ambiente (ALVAREZ et al., 2007; TIECHER et al, 2023). Dessa forma, o gesso também se torna uma alternativa para incrementar os teores de cálcio do solo nas camadas mais profundas mais rapidamente, caso haja deficiência deste nutriente.

O gesso agrícola também pode ser utilizado como condicionador químico para recuperação de solos sódicos e salino-sódicos (ABDEL-FATTAH; FOUDA; SCHMIDHALTER, 2015). Quando é adicionado ao solo, o sulfato de cálcio presente no gesso reage com o Na_2CO_3 e Na^+ adsorvido no solo, substituindo o sódio pelo cálcio e gerando sulfato de sódio que, posteriormente, será lixiviado com a água (TIECHER et al, 2023).

3.2 CORRETIVOS DA ACIDEZ DO SOLO

A Lei 12.305/2010 institui e dispõe sobre os princípios, objetivos e instrumentos da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), trata sobre a gestão integrada e gerenciamento de resíduos sólidos, as responsabilidades dos geradores de resíduo e do poder público, além de trazer os instrumentos econômicos aplicáveis. Em seu Art. 13, a PNRS classifica os resíduos quanto a sua origem, como resíduos domiciliares, industriais etc., e periculosidade (perigosos ou não perigosos).

O Art. 20 da PNRS trata sobre os geradores de resíduos que estão sujeitos à elaboração do plano de gerenciamento de resíduos sólidos, seu conteúdo mínimo e determina diretrizes para os responsáveis pela elaboração, implementação, operacionalização e monitoramento de todas as etapas do plano. Os geradores de resíduos industriais estão sujeitos à elaboração do plano, que deve conter, entre outros conteúdos: o diagnóstico dos resíduos sólidos gerados, com sua origem, volume e caracterização; metas para redução da geração de resíduos sólidos e sua reutilização e reciclagem, observadas as normas estabelecidas pelos órgãos do Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama), Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS) e Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária (Suasa).

Para que os geradores de resíduos industriais possam realizar a reciclagem do seu resíduo como insumo agrícola, estes devem estar classificados de acordo com a ABNT NBR 10.004/2004 para que possam ser aplicados no solo. A norma classifica os resíduos sólidos de acordo com os riscos potenciais que estes podem oferecer à saúde e ao meio ambiente, e estabelece os critérios para a classificação destes resíduos, desde a identificação das

atividades que geram o material, até a sua composição e características.

A NBR 10.004/2004 classifica os resíduos industriais em Classe I – Perigosos – e Classe II – Não perigosos. Dentro da Classe II há os resíduos pertencentes à Classe II A – Não inertes – e a Classe II B – Inertes. Para que a aplicação dos resíduos industriais seja viabilizada, estes devem pertencer à Classe II A para, posteriormente, averiguar se suas características estão de acordo com a legislação para registro no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) como insumo agrícola (HANISCH; FONSECA, 2022).

Atualmente, a Lei nº 6.894/ 1980 - atualizada pelo Decreto nº 4.954/2004 e alterada pelo Decreto 8.384/2014 - estabelece as normas gerais sobre o registro, padronização, classificação, inspeção e fiscalização da produção e comércio de insumos agrícolas. No seu Art. 8º, a Lei traz que o insumo agrícola deve estar registrado no MAPA para que possa ser utilizado como insumo agrícola, e atribui ao ministério, em seu Art. 3º, a realização de inspeção e fiscalização da produção e comércio dos insumos.

Para que um novo insumo agrícola venha a ser registrado no MAPA, este deve passar por trabalhos de pesquisa e atender às exigências estabelecidas pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento e, caso o insumo atenda às exigências, o MAPA concede um registro temporário, com validade de dois anos. Para a obtenção do registro definitivo, o requerente deverá, no prazo de dois anos, apresentar um comprovante de publicação do relatório técnico-científico conclusivo em revista de ciências agrárias com Qualis mínimo B2.

A Instrução Normativa 35/2006 traz as normas referentes às especificações e garantias mínimas, os requisitos para registro e instruções sobre a embalagem e rotulagem de corretivos de acidez, de alcalinidade, de sodicidade e de condicionadores de solo, destinados à agricultura. Em seu Art. 10, a IN traz que os corretivos que não apresentam antecedentes de uso no País receberão registro e autorização para comercialização e uso mediante realização de trabalhos de pesquisa que viabilizem seu uso agrícola. O produto deverá ser caracterizado quanto à sua composição e, para matéria-prima de origem industrial, o órgão ambiental competente deverá apresentar manifestação sobre a adequação do produto para uso na agricultura.

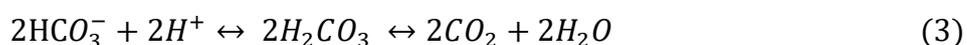
A seguir, é apresentada uma revisão bibliográfica a respeito dos corretivos da acidez utilizados no presente estudo: calcário, cal originário de câmaras frigoríficas, dregs e lama de cal. Os dois últimos foram apresentados no mesmo item, visto que são provenientes da mesma fonte de produção.

3.2.1 Calcário

O calcário é uma rocha sedimentar composta basicamente por carbonato de cálcio e apresenta várias aplicações na construção civil, através da produção de cimento, cal e tintas, e possui aplicação agrícola, através da produção de calcário como corretivo de acidez do solo (PARAHYBA, 2009), sendo esta área a segunda maior consumidora de calcário do Brasil, ficando atrás apenas da utilização do calcário para produção de cimento (DNPM, 2018). De acordo com a Associação Brasileira dos Produtores de Calcário Agrícola (ABRACAL), o consumo de calcário no Brasil subiu 268% no período de 1992 até 2022, e a produção de calcário em território nacional subiu 258,4% no mesmo período.

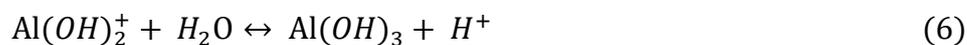
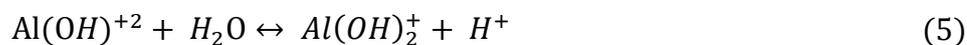
O calcário agrícola pode ser classificado de acordo com os teores de magnésio na sua composição, como: calcário calcítico (menos de 5% de MgO), magnésiano (entre 5 e 12% de MgO) e dolomítico (mais de 12% de MgO). O calcário agrícola também pode ser classificado em grupos de acordo com o seu PRNT, do Grupo A, onde o calcário apresenta PRNT de 45 a 60% até o Grupo D, com PRNT superior a 90% (SOUSA et al., 2007).

Quando o calcário é adicionado no solo, este reage com a água, liberando OH^- que irá interagir com o H^+ e Al^{3+} disponíveis no solo (ERNANI, 2016). Além de reduzir os teores de H^+ e Al^{3+} , a calagem com calcário dolomítico também aumenta os teores de Ca e Mg no solo, dois macronutrientes importantes para as plantas. A Equação 1 demonstra a reação do calcário dolomítico no solo e as Equações 2 e 3 mostram as reações dos produtos da Equação 1 (OH^- e HCO_3^-) com o H^+ (TIECHER et al, 2023).



Outro efeito benéfico da calagem é a precipitação do alumínio trocável do solo. O alumínio é extremamente tóxico para as plantas, pois inibe seu desenvolvimento radicular e reduz a sua capacidade de absorção de nutrientes, dificultando seu crescimento (ERNANI, 2016). A concentração de alumínio trocável no solo é diretamente proporcional à concentração de hidrogênio. Dessa forma, ao reduzir os teores de H^+ no solo, o Al^{3+} precipita, tornando-se $\text{Al}(\text{OH})_3$, forma que não interfere no crescimento das plantas (TIECHER et al, 2023; ERNANI, 2016; SOUSA et al., 2007). As Equações 4 a 6 demonstram as reações de

precipitação do alumínio.



O calcário é um material pouco solúvel, movendo-se lentamente pelo perfil de solo, o que o torna um corretivo pouco eficiente para corrigir o pH do solo em profundidade quando aplicado em superfície, como é o caso de sistemas de plantio direto (SANTOS et al., 2018). Conseqüentemente, as áreas subsuperficiais mantêm suas características de acidez, inviabilizando o crescimento radicular pleno das plantas devido à presença do alumínio trocável (MORAES et al., 2023).

Devido à baixa solubilidade, o calcário demora para sofrer suas reações por completo no solo. Segundo Bissani et al. (2008), a calagem é efetiva para um período de cinco a sete anos dependendo do corretivo aplicado, da forma de aplicação e das características do solo. Porém, estudos mostram que o efeito residual da calagem pode chegar a 20 anos (ERNANI, 2016; DOS SANTOS et al., 2018), e isto depende do poder tampão do solo e da dose aplicada.

3.2.2 Cal de câmara

A macieira é uma árvore frutífera típica de áreas com clima frio, sua floração ocorre em um período de 10 a 30 dias, dependendo das condições climáticas e da cultivar, e a colheita dos frutos no Brasil ocorre entre os meses de dezembro e maio, de acordo com as exigências de cada cultura (EMBRAPA, 2013).

De acordo com dados publicados pelo IBGE, os estados brasileiros produtores de maçã são Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo e Minas Gerais, onde Santa Catarina e Rio Grande do Sul apresentam a maior produção da fruta no país (Figura 1). O Brasil produz aproximadamente 1,3 milhão de toneladas de maçã por ano, e o município de São Joaquim, localizado em Santa Catarina, é responsável por 26% de toda a produção nacional, sendo o maior produtor da fruta no Brasil (EPAGRI, 2022).

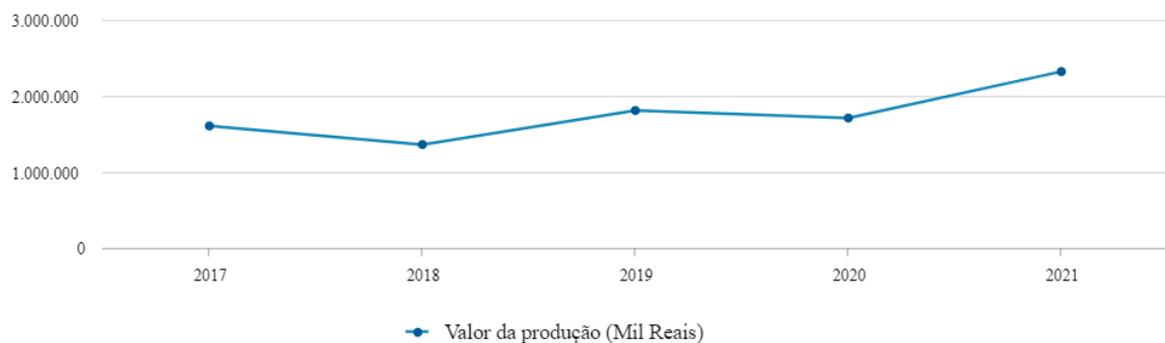
Figura 1 - Estados brasileiros produtores de maçã. Valor da produção (1 mil reais) em 2021



Fonte: IBGE (2022)

De acordo com os dados publicados pelo IBGE, o Brasil apresentou aumento de 43,95% na produção de maçã no período de 2017 a 2021, com rendimento de R\$ 1.625.769.000,00 em 2017 para R\$ 2.340.323.000,00 em 2021 (Figura 2).

Figura 2 - Série histórica (valor de produção) da maçã no Brasil

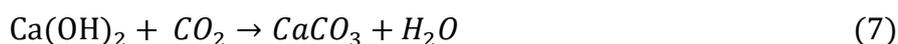


Fonte: IBGE (2022)

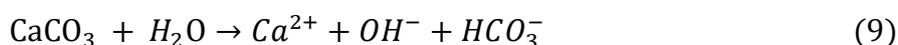
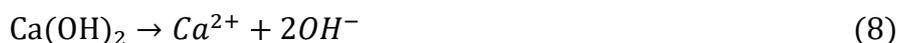
Para atender a demanda de maçãs durante o ano, é necessário armazenar este produto de forma adequada, para que se mantenha as características organolépticas (BRACKMANN

et al., 2005). Para preservar tais características por períodos prolongados, o armazenamento da maçã envolve a adoção de câmaras frigoríficas de Atmosfera Controlada (AC) (BRACKMANN; LUNARDI, 1996). A AC permite o controle de temperatura, umidade relativa e composição gasosa dentro da câmara (THEWES, 2019), onde os níveis de oxigênio são reduzidos e os níveis de gás carbônico são elevados, com o objetivo de reduzir o metabolismo da fruta e, conseqüentemente, desacelerar o processo de senescência (THEWES et al., 2020).

Contudo, através dos processos respiratórios das frutas, o teor de CO_2 dentro da câmara aumenta, podendo danificar os frutos. Dessa forma, algumas medidas podem ser tomadas como, por exemplo, a inserção de nitrogênio na câmara para reduzir o excesso de CO_2 . Uma das práticas utilizadas no Brasil é a inserção de sacos de cal hidratada dentro da câmara, para que o CO_2 reaja com a cal, formando carbonato de cálcio (Equação 7) (BRACKMANN; LUNARDI, 1996).



A reação não ocorre de forma homogênea, o que transforma a cal hidratada em uma mistura de hidróxido de cálcio com carbonato de cálcio ao final do seu uso. Este subproduto tem características alcalinas e pode ser usado para corrigir a acidez do solo. A seguir, são apresentadas as reações que o hidróxido de cálcio ($Ca(OH)_2$) e o carbonato de cálcio ($CaCO_3$) sofrem ao serem adicionados ao solo (Equações 8 e 9).



A aplicação deste resíduo no solo como corretivo de acidez pode ser realizada na própria propriedade produtora de maçã, além da possibilidade de destinar este material para outros produtores agrícolas. Por se tornar um resíduo, a cal de câmara pode ser uma alternativa mais barata de corretivo de acidez, quando comparada com o calcário convencional, mas seu tempo de reação e aplicação no solo ainda devem ser estudados.

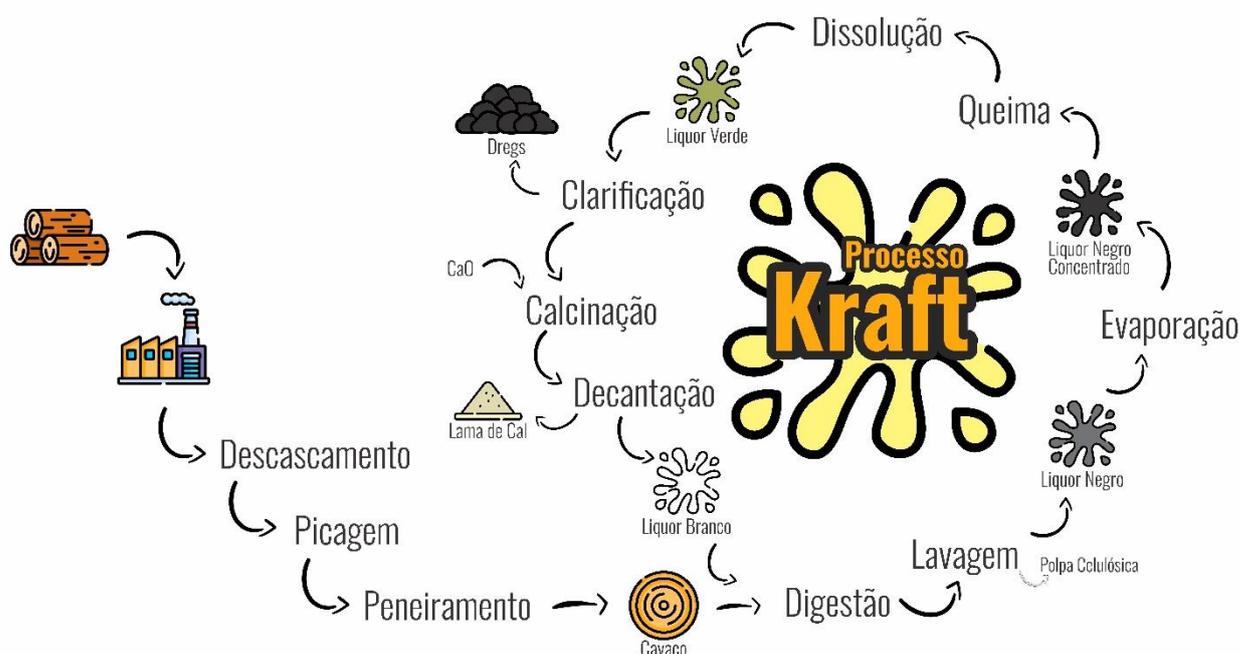
3.2.3 Dregs e lama de cal

Entre os processos conhecidos, o Kraft é o processo mais utilizado pelas indústrias para a produção de papel e celulose, devido a abrangência de espécies que o processo é capaz de atender, como as madeiras de fibra longa e dura, mas, principalmente, pela capacidade de recuperação química de cerca de 97%, tornando o processo economicamente favorável (TRAN; VAKKILAINNEN, 2016).

Para a produção de celulose, após a chegada da madeira na fábrica, esta passa pelos processos de descascamento, picagem e peneiramento, a fim de obter os cavacos que, em seguida, passam para o processo Kraft. O processo Kraft consiste no cozimento destes cavacos utilizando licor branco, reagente químico composto por hidróxido de sódio (NaOH) e sulfeto de sódio (Na₂S) (RODRIGUES et al., 2019). Posteriormente ocorre a etapa de lavagem, onde a polpa celulósica é separada do licor negro, ambos gerados no processo de cozimento. O licor negro passa para o processo de evaporação, dando início a etapa de recuperação química dos reagentes.

Após a evaporação, obtém-se o licor negro concentrado, que irá para o processo de queima seguido de dissolução, gerando o licor verde, que é composto basicamente por sulfeto de sódio (Na₂S) e carbonato de sódio (Na₂CO₃). O licor verde passa para a etapa de clarificação em um decantador, ocorrendo a precipitação do Dregs, que é removido do sistema nesta etapa. O licor verde clarificado segue para a calcinação, onde é adicionado óxido de cálcio (CaO), a fim de recuperar o hidróxido de sódio (NaOH) (SIMONETE et al., 2013). O Na₂S não reage na etapa de calcinação e o CaCO₃ é insolúvel no licor branco. Por fim, o licor branco passa para um decantador, com o objetivo de separar a lama de cal do licor branco, que será reutilizado no início do processo (Figura 3).

Figura 3 - Processo de produção dos resíduos das indústrias de papel e celulose



Fonte: elaborado pela autora (2023).

A lama de cal possui coloração acinzentada e é constituída basicamente por carbonato de cálcio (CaCO_3) e o dregs, por sua vez, é resultante do processo de remoção de impurezas do licor verde, e apresenta coloração mais escura que a lama de cal. A composição química dos resíduos varia de acordo com o modo de produção da celulose (Tabela 1). De forma geral, o dregs e a lama de cal apresentam teores altos de óxido de cálcio, o que os torna potenciais corretivos de pH do solo. Contudo, o dregs também apresenta teores altos de sódio, podendo prejudicar as características físicas do solo e o crescimento de plantas.

Tabela 1 - Composição química do dregs e lama de cal (%).

Óxidos	(NOVAIS et al., 2018)	(RODRIGUES et al., 2019)	(Mymrin et al., 2020)		(BURUBERRI; SEABRA; LABRINCHA, 2015)	(MODOLO et al., 2014)
	Dregs	Dregs	Dregs	Lama de Cal	Lama de Cal	Lama de cal
CaO	15,20	32,6	37,40	54,50	55,00	51,80
MgO	8,13	5,85	5,10	0,50	0,61	0,48
Na_2O	23,80	8,34	4,50	0,70	1,10	1,90
Fe_2O_3	0,68	0,45	0,50	0,10	0,03	0,03

SO ₃	10,5	4,53	1,60	0,20	0,20	-
P ₂ O ₅	0,02	0,51	0,20	0,20	0,52	0,90
MnO	0,82	0,29	0,70	-	-	-
K ₂ O	0,89	0,21	0,70	-	0,03	0,10
SiO ₂	2,16	3,01	2,80	0,30	0,18	0,29
Al ₂ O ₃	2,65	0,71	0,50	0,40	0,06	0,20
TiO ₂	0,03	<0,05	-	-	-	-
Cl	0,39	-	-	-	-	0,08
Cr ₂ O ₃	-	0,34	-	-	-	-
SrO	-	0,16	-	-	-	-

Fonte: elaborado pela autora (2023).

O processo de recuperação química dos reagentes gera grandes quantidades de diferentes resíduos sólidos. Bellote et al. (1998) trazem que, para cada 100 toneladas de celulose produzida, são geradas cerca de 48 toneladas de resíduos. De acordo os dados da FAO (2023), em 2021 o Brasil foi o segundo maior produtor de celulose do mundo, produzindo 12% do total, ficando atrás apenas dos Estados Unidos (Tabela 2). Dessa forma, em 2021 estima-se que o Brasil produziu cerca de 11 milhões de toneladas de resíduos resultantes de processos produtivos de celulose.

Tabela 2 - Ranking dos maiores produtores de celulose do mundo em 2021

País	Produção (10 ⁶ ton)	Produção Mundial (%)
Estados Unidos	49,7	26,2
Brasil	23,1	12,2
Canadá	14,9	7,9
China	14,5	7,6
Suécia	11,7	6,2
Finlândia	11,4	6,0
Indonésia	10,1	5,3
Rússia	8,8	4,6
Japão	7,8	4,1
Chile	5,0	2,6

Fonte: FAO (2023)

Algumas possibilidades vêm sendo estudadas para destinar estes resíduos de forma mais adequada, entre elas Rodrigues et al. (2019) avaliaram a utilização do dregs como matéria-prima alternativa na produção de cerâmica vermelha para a produção de materiais de construção civil, demonstrando que sua utilização é viável para substituir parcialmente a argila.

Mymrin et al. (2020) avaliaram a utilização de dregs, grift e lama de cal, todos resíduos provenientes do processo produtivo de celulose, na produção de tijolos, blocos, estradas e bases de aeródromos. Os autores concluíram que os resíduos podem ser utilizados como matéria prima para a produção destes materiais, possibilitando a reciclagem dos resíduos.

4 CAPÍTULO 1: EFEITO DA APLICAÇÃO CONJUNTA DE DIFERENTES CORRETIVOS COM GESSO AGRÍCOLA NO RENDIMENTO DE MILHO E NABO-FORRAGEIRO EM CASA DE VEGETAÇÃO

Resumo: O gesso agrícola e o calcário são dois produtos frequentemente utilizados na agricultura brasileira. No entanto, quando aplicados em conjunto, podem não apresentar os resultados esperados devido às suas diferentes características. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a capacidade de diferentes corretivos de elevar o pH do solo e suas velocidades de reação, quando aplicados em conjunto com o gesso agrícola. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em Lages, SC. Foram adotados quatro corretivos: calcário dolomítico comercial, cal oriundo de câmaras frigoríficas utilizadas para armazenar maçãs, lama de cal e dregs. Foram adotados quatro cultivos, sendo três com milho e um com nabo-forrageiro, durante aproximadamente 30 dias cada. Os tratamentos foram arranjos no delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC), com três repetições. Após o término de cada cultivo, foram coletadas amostras de solo para determinação do pH em água e os teores de cálcio, magnésio, alumínio, potássio e sódio. Os tecidos vegetais foram coletados, a fim de determinar a matéria seca produzida e os teores de cálcio, magnésio e potássio. Os dados foram submetidos a análises de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância. O gesso agrícola aumentou o teor de Ca no solo e a quantidade de Ca absorvido pelas plantas, a partir do segundo cultivo. Com relação aos corretivos, os resíduos disponibilizaram mais Ca para as plantas e para o solo, mas o calcário dolomítico disponibilizou mais Mg. Nos tratamentos com adição de dregs houve aumento significativo nos teores de Na no solo. A aplicação de gesso agrícola não interferiu na velocidade de reação dos corretivos de acidez, e aumentou a produção de matéria seca nos tratamentos em que não houve adição dos corretivos. Com relação aos resíduos, devido a sua baixa capacidade de disponibilização de Mg para o solo, estes podem não ser uma alternativa de corretivo da acidez em solos pobres deste nutriente.

Palavras-chave: Gesso agrícola, calcário, cal de câmara, dregs, lama de cal.

4.1 INTRODUÇÃO

Estima-se que 30% das áreas cultivadas no mundo apresentam solos com

características naturalmente ácidas (HIRZEL et al., 2021). No Brasil, cerca de 70% dos solos cultiváveis apresentam tais características (CAMARGOS, 2005). A acidificação do solo ocorre devido a vários fatores, como a mineralogia de origem do solo e a intensidade dos processos de intemperização dessas áreas, como chuvas e altas temperaturas, além de outros fatores como, por exemplo, a decomposição da matéria orgânica e nitrificação (ERNANI, 2016).

A aplicação de calcário para correção do pH do solo já é amplamente difundida. Contudo, o calcário é um material pouco solúvel e, dessa forma, necessita de um longo período para alcançar as camadas mais profundas, ou muitas vezes não atinge estes locais, o que impossibilita o desenvolvimento pleno do sistema radicular (NUNES et al., 2019).

O gesso agrícola não é capaz de aumentar o pH do solo (ERNANI, 2016) mas, devido à sua maior solubilidade, é uma alternativa para reduzir da toxidez causada pelo alumínio em profundidade (CAIRES et al., 2001; BORTOLANZA; KLEIN, 2016), através do aumento da concentração de cálcio e formação do par iônico $AlSO_4^+$ (ERNANI, 2016; TIECHER et al., 2023).

No entanto, como o gesso agrícola é mais solúvel que o calcário, sua aplicação em conjunto pode interferir na velocidade de reação do corretivo de acidez, pois a solução do solo tende a ficar saturada com o cálcio proveniente do gesso agrícola (BORKERT et al., 1987), atrasando a reação de hidrólise com o calcário, necessária para que ocorra a elevação do pH (KURIHARA et al., 2017).

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a capacidade de diferentes corretivos em elevar o pH do solo e suas velocidades de reação, relativamente ao calcário comercial, bem como avaliar o efeito dos mesmos no rendimento de matéria seca de plantas de milho e nabo-forrageiro, em casa de vegetação, quando associados ou não com gesso agrícola.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

O projeto foi conduzido no Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), que está localizada no município de Lages, SC. Foi conduzido um experimento com quatro corretivos da acidez do solo (calcário dolomítico comercial, cal oriundo de câmaras frigoríficas utilizadas para armazenar maçãs, lama de cal e dregs, estes oriundos da indústria celulósica), além de um tratamento sem corretivos da acidez, todos na presença ou não de gesso agrícola.

Os corretivos foram utilizados nas quantidades necessárias para elevar o pH do solo até 6,0, de acordo com as indicações do método SMP do Manual de Calagem e Adubação (CQFS – RS/SC, 2016), considerando o Poder de Neutralização (PN) de cada produto, obtidos de acordo com a metodologia descrita por Tedesco et al. (1995). A dose de gesso utilizada foi equivalente a 5 t ha⁻¹, considerando um solo com 2.000 m³. Os tratamentos foram arrançados no delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC), com três repetições.

Após a mistura dos tratamentos com o solo, as unidades experimentais, constituídas por 4 kg de solo seco peneirado em malha de 4 mm, permaneceram incubadas em sacos plásticos por 30 dias. Utilizou-se um Cambissolo Húmico Alumínico léptico, coletado em área de campo nativo no Centro de Ciências Agroveterinárias. Inicialmente, o solo apresentou pH_{H2O} = 4,32; pH SMP = 4,87; Al⁺³ = 24,63 cmolc dm⁻³; Ca⁺² = 0,81 cmolc dm⁻³; Mg⁺² = 0,26 cmolc dm⁻³; K⁺ = 0,793 cmolc dm⁻³; e Na⁺ = 0,68 cmolc dm⁻³.

O experimento foi conduzido em casa de vegetação e, após o período de incubação, o volume de solo de cada unidade experimental foi acondicionado em vasos plásticos para posterior plantio. Foram conduzidos quatro cultivos, sendo três com milho e um com nabo-forrageiro, durante aproximadamente 30 dias cada. Antes da semeadura os solos receberam adubação nitrogenada, com dose de 100 kg ha⁻¹, na forma líquida, utilizando ureia; e adubação fosfatada, através da utilização do MAP (fosfato monoamônico) diluído, com dose de 200 kg ha⁻¹, conforme o Manual de Calagem e Adubação (CQFS – RS/SC, 2016).

Após o período de incubação, foi realizada a semeadura com 12 sementes por vaso para o milho e 20 sementes por vaso para o nabo-forrageiro. Em seguida, os vasos foram cobertos com plástico para evitar a perda excessiva de umidade até a germinação. Quando as plantas atingiram aproximadamente 10 cm de altura foi feito o desbaste, deixando-se 6 plantas de milho e 8 plantas de nabo-forrageiro por vaso. Posteriormente, as plantas foram molhadas diariamente, através da pesagem dos vasos.

A colheita da parte aérea de cada cultivo foi feita após aproximadamente 30 dias e, em seguida, foram postas para secar por 3 dias em estufa a 60 °C para a obtenção da Matéria Seca da Parte Aérea (MSPA). Após a determinação da MSPA, as amostras dos tecidos vegetais foram moídas para a posterior efetuação da digestão dos tecidos, a fim de determinar os teores de cálcio, magnésio e potássio, conforme metodologia descrita por Tedesco et al. (1995). Os teores de Ca⁺² e Mg⁺² foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica e o K⁺ por fotometria de chama.

Após a retirada de cada cultivo, o solo foi homogeneizado para coleta de amostras,

com aproximadamente 150 g de solo cada. Em seguida, elas foram secas ao ar e moídas para o diâmetro de partículas inferior a 2,0 mm e armazenados para análise. O restante do solo de cada vaso foi devolvido para o vaso, para o cultivo seguinte.

Nas amostras de solo foram determinados o pH em água e os teores de cálcio, magnésio, alumínio, potássio e sódio trocáveis. Após a obtenção dos teores de cátions básicos trocáveis, foram calculadas a CTC efetiva e a saturação por bases (v%) de cada um. As determinações foram realizadas conforme metodologia descrita por Tedesco et al. (1995).

Os dados foram submetidos a análises de variância (ANOVA) através do programa R. O teste de normalidade utilizado foi o teste de Shapiro-Wilk e, quando os resíduos foram considerados normais, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância. Foi feita análise fatorial e o teste complementar de contraste, para verificar o efeito da aplicação de gesso agrícola.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados e a discussão foram dispostos por cultivos, com exceção do pH e Al do solo, que estão apresentados em tabelas com os resultados dos quatro cultivos no início do Item 4.3.2. Há, ao final do Item 4.3.2, uma tabela com os dados de Capacidade de Troca de Cátions (CTC), saturação por bases (V%) e a porcentagem de saturação dos cátions do solo, que também apresenta o resultado dos quatro cultivos.

4.3.1 Planta

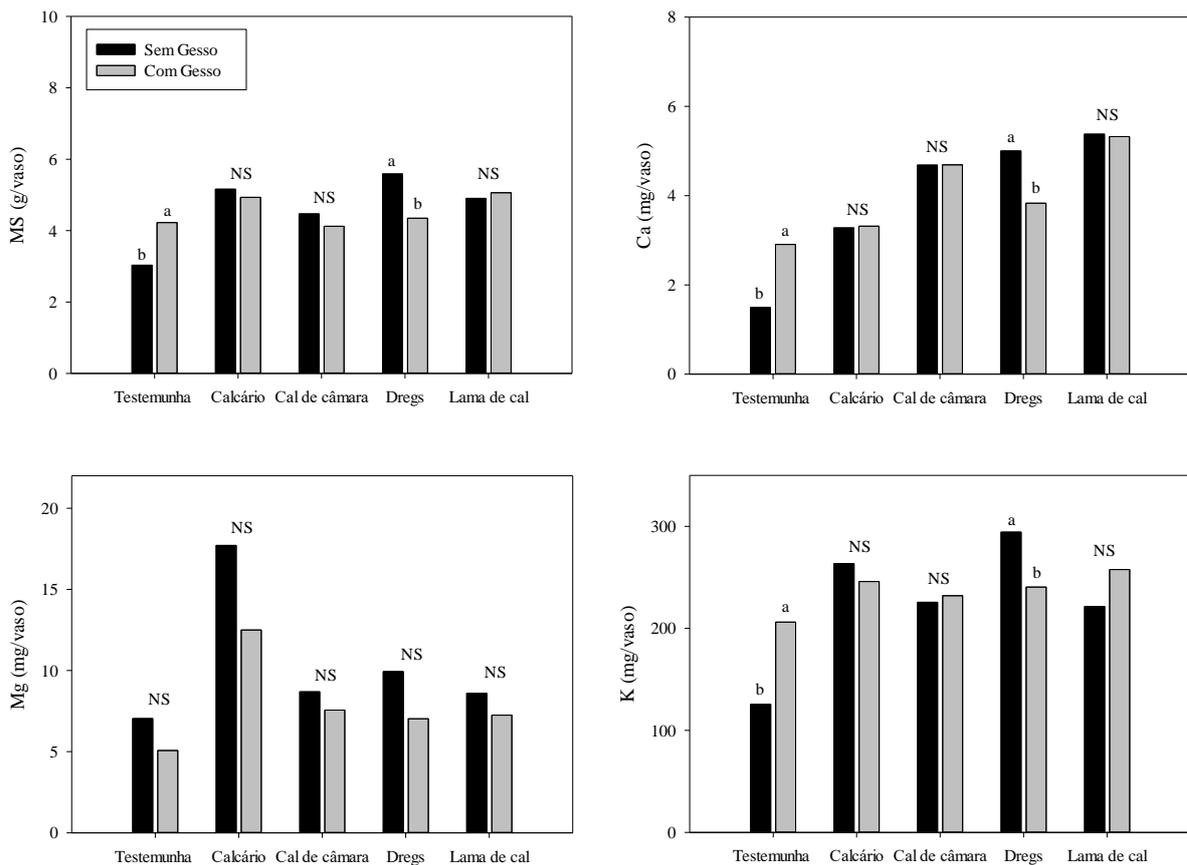
No primeiro cultivo a adição de gesso agrícola promoveu maior produção de matéria seca somente no tratamento testemunha, sem adição de corretivos da acidez, atingindo uma média de 4,2 g vaso⁻¹; para os tratamentos sem gesso agrícola, a média foi de 3,0 g vaso⁻¹, ou seja, um incremento de 40%. O contrário ocorreu no tratamento com dregs, onde a produção de MS foi maior no tratamento sem a adição de gesso agrícola (Figura 4). Nos demais corretivos da acidez do solo (calcário, cal de câmara e lama de cal) a adição de gesso não afetou o rendimento de MS de milho.

O efeito da adição de gesso nos teores de cálcio da planta seguiu a mesma tendência ocorrida no rendimento de MS, ou seja, o gesso proporcionou mais Ca no tratamento testemunha e menos Ca no tratamento que recebeu dregs.

Com relação ao magnésio, a média de todos os tratamentos que receberam gesso agrícola apresentou teores menores deste nutriente nas plantas ($7,9 \text{ mg vaso}^{-1}$) quando comparados com a média dos tratamentos sem a adição deste sal ($10,4 \text{ mg vaso}^{-1}$). Com relação aos corretivos da acidez, os tratamentos com adição de calcário dolomítico foram os que proporcionaram maior absorção deste nutriente pelas plantas, com uma média de $15,0 \text{ mg vaso}^{-1}$; na testemunha a absorção média de Mg foi de $6,0 \text{ mg vaso}^{-1}$ (Figura 4).

O efeito da adição de gesso na quantidade de K absorvida foi similar ao que ocorreu com o rendimento de MS e com a absorção de Ca, ou seja, na testemunha o gesso incrementou a absorção de K e no tratamento com dregs ocorreu o contrário. (Figura 4).

Figura 4 - Teores de cátions básicos e matéria seca da parte aérea do primeiro cultivo (milho) em função da aplicação de corretivos de acidez, na presença ou não de gesso. Letras minúsculas diferentes dentro de cada corretivo significam diferença entre os níveis de gesso pelo teste de Tukey a 5% de significância. NS significa inexistência de diferença estatística.

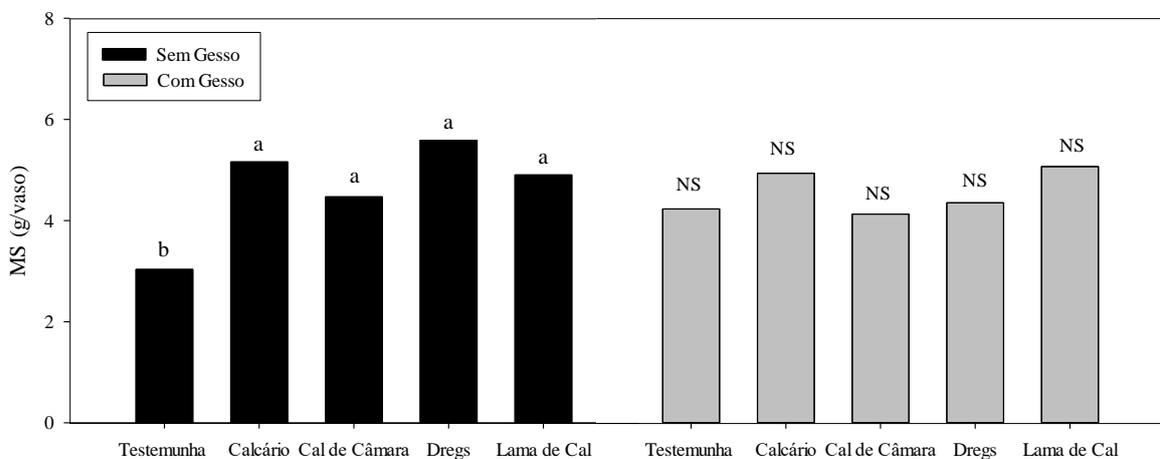


Fonte: elaborado pela autora (2023).

Houve interação entre os fatores (presença/ ausência de gesso agrícola e corretivos) para a quantidade de matéria seca produzida no primeiro cultivo. Na ausência de gesso

agrícola, os tratamentos que obtiveram adição de corretivos de acidez produziram mais matéria seca quando comparados com a testemunha, porém não diferiram entre si (Figura 5). Os tratamentos com adição de corretivos apresentaram uma média de 5,0 g vaso⁻¹ e a testemunha apresentou uma média de 4,2 g vaso⁻¹. Na presença de gesso agrícola não houve diferença no rendimento de MS entre quaisquer tratamentos (Figura 5).

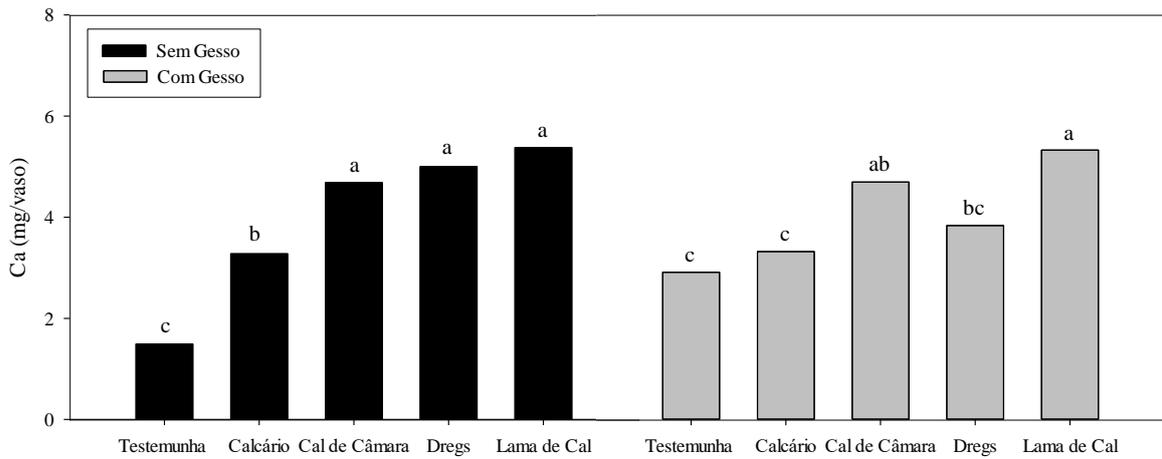
Figura 5 - Matéria seca da parte aérea do primeiro cultivo (milho) em função da interação entre os corretivos da acidez e os níveis de gesso agrícola (ausência e presença). Letras minúsculas diferentes dentro de cada nível de gesso significam diferença estatística entre os corretivos da acidez. NS significa inexistência de diferença estatística.



Fonte: elaborado pela autora (2023).

Com relação ao cálcio, houve interação entre os fatores gesso agrícola e corretivos de acidez. Nos tratamentos sem a aplicação de gesso, os resíduos apresentaram os maiores teores de cálcio absorvidos, com médias de 5,4, 5,0 e 4,7 mg vaso⁻¹ para lama de cal, dregs e cal de câmara, respectivamente, superiores aos teores proporcionados pelo calcário dolomítico, que foi de 3,3 mg vaso⁻¹. A testemunha apresentou os teores mais baixos absorvidos, com média de 1,5 mg vaso⁻¹. Nos tratamentos com a adição de gesso agrícola, a lama de cal apresentou os maiores teores de cálcio na parte aérea, com média de 5,3 mg vaso⁻¹; o calcário e a testemunha apresentaram os teores mais baixos, com médias de 3,3 mg vaso⁻¹ para o calcário e 2,9 mg vaso⁻¹ para a testemunha (Figura 6).

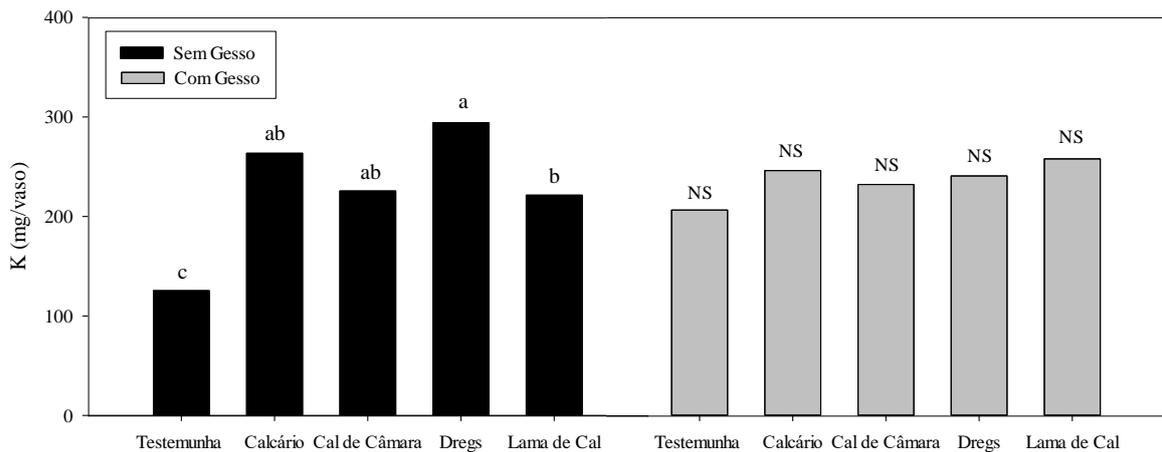
Figura 6 - Teores de cálcio da parte aérea do primeiro cultivo (milho) em função da interação entre os corretivos da acidez e os níveis de gesso agrícola (ausência e presença). Letras minúsculas diferentes dentro de cada nível de gesso significam diferença estatística entre os corretivos da acidez.



Fonte: elaborado pela autora (2023).

Para as quantidades de potássio absorvidas pela parte aérea, houve interação entre os tratamentos sem adição de gesso, onde o dregs apresentou os maiores teores deste nutriente, com média de $294,3 \text{ mg vaso}^{-1}$, e a testemunha apresentou as quantidades mais baixas, com média de $125,5 \text{ mg vaso}^{-1}$. Na presença de gesso agrícola, os tratamentos não diferiram entre si (Figura 7).

Figura 7 - Teores de potássio da parte aérea do primeiro cultivo (milho) em função da interação entre os corretivos da acidez e os níveis de gesso agrícola (ausência e presença). Letras minúsculas diferentes dentro de cada nível de gesso significam diferença estatística entre os corretivos da acidez. Ausência de letras significa inexistência de diferença estatística.



Fonte: elaborado pela autora (2023).

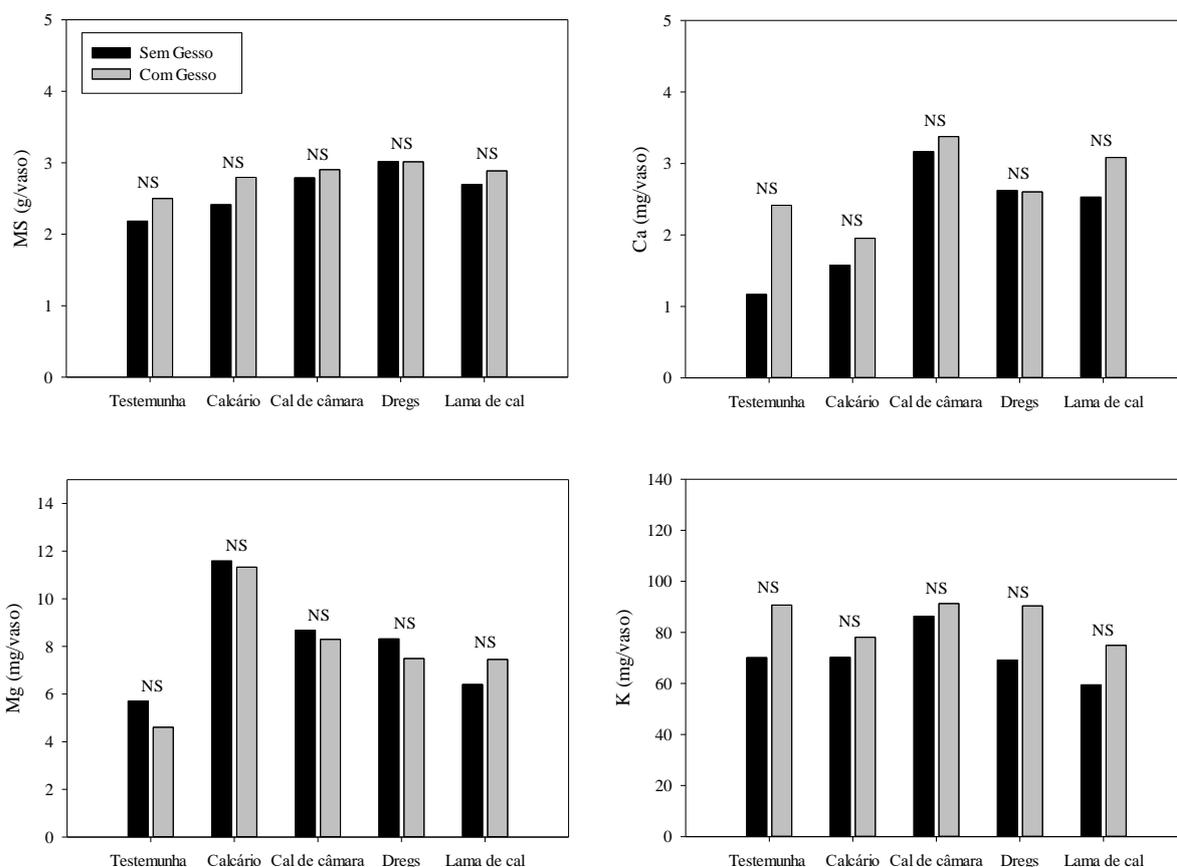
No segundo cultivo de milho, as quantidades de MS e as quantidades absorvidas de cálcio, magnésio e potássio pela parte aérea das plantas não apresentaram interação na análise estatística. Com relação à matéria seca, não houve diferença estatística entre as médias dos dois fatores (presença/ausência de gesso agrícola e corretivos).

A quantidade de cálcio absorvida pelas plantas foi maior nos tratamentos com a adição de gesso agrícola, com média de 2,7 mg vaso⁻¹ e 2,2 mg vaso⁻¹ para os tratamentos na ausência de gesso. Dentro do nível dos corretivos, as unidades com cal de câmara apresentaram a maior quantidade absorvida deste nutriente pela planta, com média de 3,3 mg vaso⁻¹. Os tratamentos com a adição de calcário e as testemunhas apresentaram os resultados mais baixos de cálcio absorvido pela planta, com médias de 1,8 mg vaso⁻¹ (Figura 8).

Com relação aos teores de magnésio, não houve diferença estatística entre as médias dos tratamentos com e sem gesso. Para as médias entre os corretivos, os tratamentos com a adição de calcário apresentaram a maior absorção deste nutriente pela planta, com média de 11,4 mg vaso⁻¹ e a testemunha apresentou os valores mais baixos, com média de 5,1 mg vaso⁻¹ (Figura 8).

Para a quantidade de potássio absorvida pelas plantas, não houve interação entre os fatores. Na comparação dos efeitos simples, dentro do fator gesso agrícola os tratamentos com a adição de gesso apresentaram a maior quantidade de potássio absorvido pela planta, com média de 85,1 mg vaso⁻¹ e, na ausência de gesso, os tratamentos apresentaram média de 71,1 mg vaso⁻¹. Não houve diferença estatística dentro dos níveis de corretivos (Figura 8).

Figura 8 - Teores de cátions básicos e matéria seca da parte aérea do segundo cultivo (milho) em função da aplicação de corretivos de acidez, na presença ou não de gesso. Letras minúsculas diferentes dentro de cada corretivo significam diferença entre os níveis de gesso pelo teste de Tukey a 5% de significância. NS significa inexistência de diferença estatística.



Fonte: elaborado pela autora (2023).

No terceiro cultivo não houve interação entre os fatores para a massa seca da parte aérea das plantas. O teste estatístico também não apresentou diferença significativa na análise dos efeitos simples (presença e ausência de gesso agrícola e corretivos) para esse atributo.

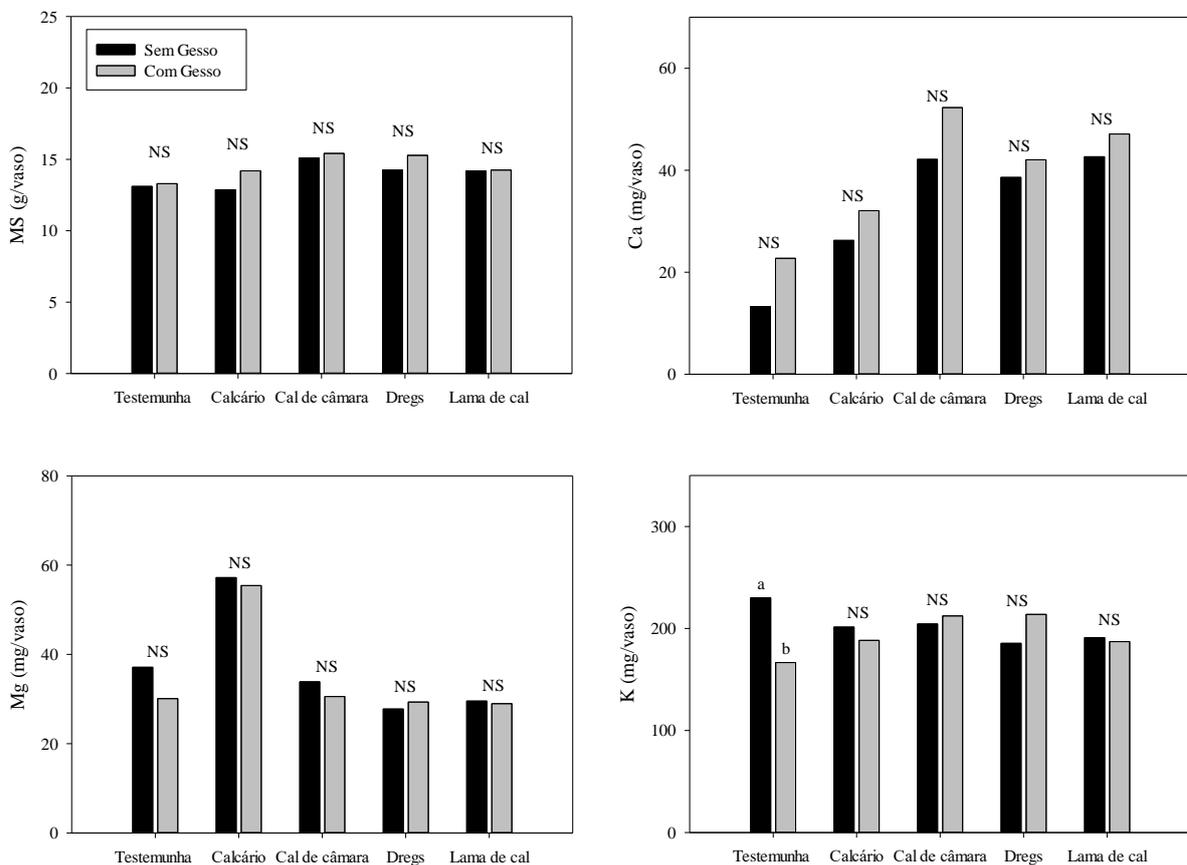
Também não houve interação entre os níveis para a quantidade de cálcio absorvida pelas plantas do terceiro cultivo, mas houve diferença dentro dos fatores, quando analisados separadamente. A absorção de cálcio foi maior na presença de gesso agrícola, com média de $39,2 \text{ mg vaso}^{-1}$, do que na ausência de gesso, com média de $32,6 \text{ mg vaso}^{-1}$. Com relação aos corretivos da acidez, os tratamentos com a adição de cal de câmara, lama de cal e dregs proporcionaram maior absorção de cálcio, com médias de $47,2$, $44,9$, $40,3 \text{ mg vaso}^{-1}$ respectivamente, do que o calcário dolomítico ($29,1 \text{ mg vaso}^{-1}$) e a testemunha ($18,0 \text{ mg vaso}^{-1}$) (Figura 9).

Para o magnésio, não ocorreu interação entre os fatores, nem diferença estatística entre as médias do fator gesso. Para os corretivos, os tratamentos com aplicação de calcário dolomítico apresentaram as maiores quantidades absorvidas deste nutriente, com média de

56,3 mg vaso⁻¹ e os demais tratamentos não diferiram entre si, com média de 30,0 mg vaso⁻¹ (Figura 9).

Com relação ao potássio, as testemunhas apresentaram diferença dentro dos níveis de gesso agrícola. Na ausência de gesso, as quantidades absorvidas de potássio pela parte aérea foram maiores, com média de 230,0 mg vaso⁻¹, do que na sua presença, onde os valores caem para 167,0 mg vaso⁻¹. Os demais tratamentos não apresentaram diferença estatística entre as médias dentro do fator gesso agrícola (Figura 9).

Figura 9 - Teores de cátions básicos e matéria seca da parte aérea do terceiro cultivo (nabo-forrageiro) em função da aplicação de corretivos de acidez, na presença ou não de gesso. Letras minúsculas diferentes dentro de cada corretivo significam diferença entre os níveis de gesso pelo teste de Tukey a 5% de significância. NS significa inexistência de diferença estatística.

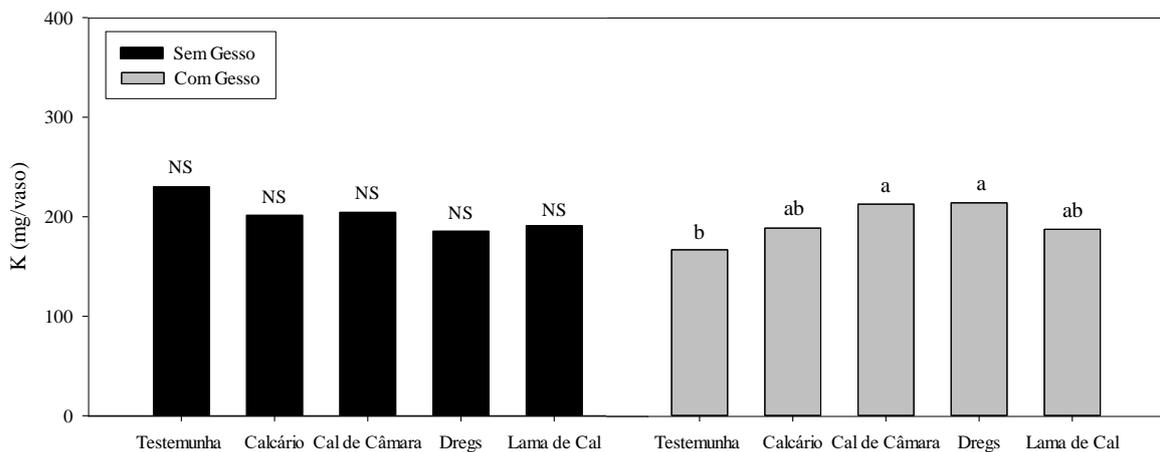


Fonte: elaborado pela autora (2023).

Ocorreu interação para os resultados de potássio na parte aérea do terceiro cultivo, onde, nos tratamentos com a adição de gesso, as unidades com dregs e cal de câmara apresentaram as maiores quantidades absorvidas de potássio pela planta, com médias de 213,8 mg vaso⁻¹ e 212,4 mg vaso⁻¹, respectivamente. A testemunha apresentou os valores mais

baixos deste nutriente, com média de $166,6 \text{ mg vaso}^{-1}$. Não houve diferença entre as médias dos tratamentos na ausência de gesso agrícola (Figura 10).

Figura 10 - Teores de potássio da parte aérea do terceiro cultivo (nabo-forrageiro) em função da interação entre os corretivos da acidez e os níveis de gesso agrícola (ausência e presença). Letras minúsculas diferentes dentro de cada nível de gesso significam diferença estatística entre os corretivos da acidez. NS significa inexistência de diferença estatística.



Fonte: elaborado pela autora (2023).

No quarto cultivo, ocorreu interação entre os fatores para o rendimento de massa seca, porém sem diferença estatística entre as médias dos corretivos na presença e ausência de gesso agrícola. Com relação às comparações dentro do fator gesso, as testemunhas apresentaram diferença, onde na presença de gesso houve maior produção de matéria seca, com médias de $10,9 \text{ g vaso}^{-1}$ do que na ausência ($7,30 \text{ g vaso}^{-1}$) (Figura 11).

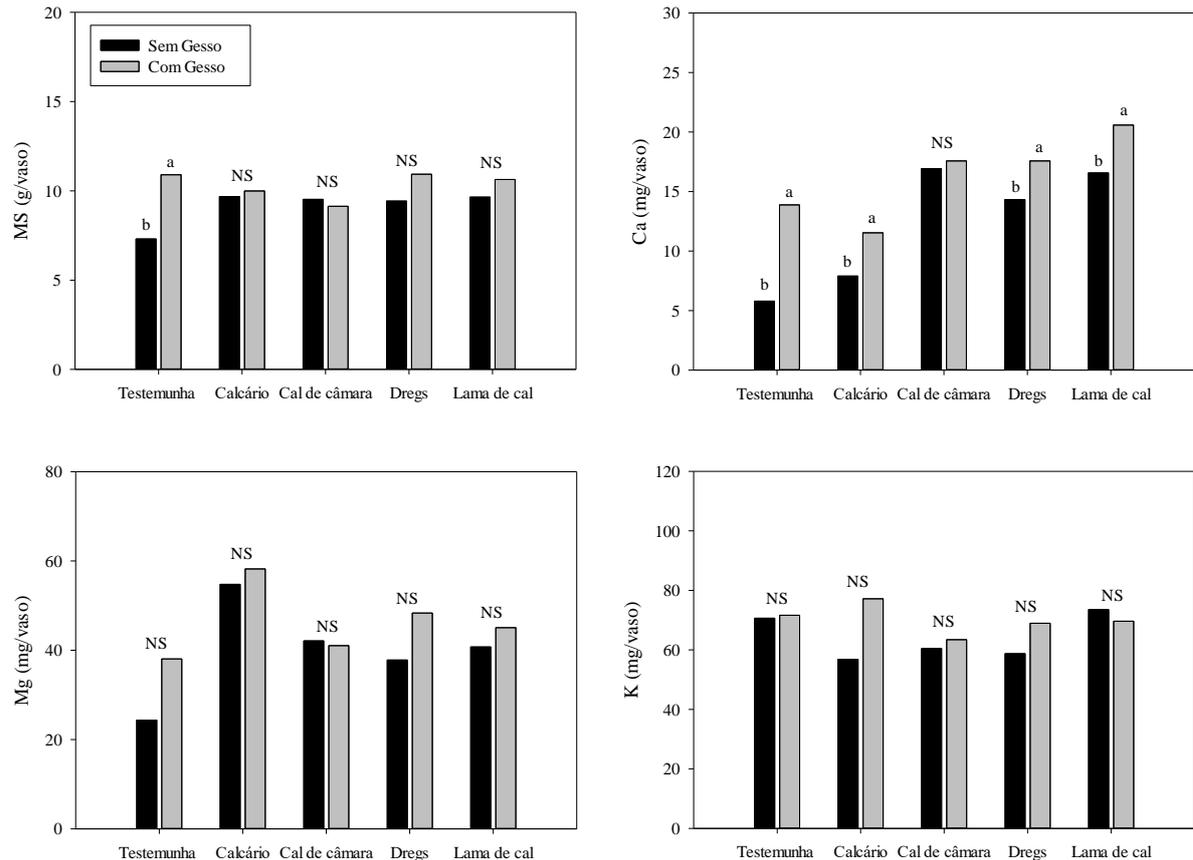
Para as quantidades absorvidas de cálcio pela parte aérea, apenas os tratamentos com cal de câmara não apresentaram diferença entre as médias dentro dos níveis de gesso agrícola. Em todos os tratamentos que apresentaram diferença entre os níveis de gesso, as maiores quantidades absorvidas de cálcio pelas plantas ocorreram na presença de gesso agrícola (Figura 11).

Na presença de gesso agrícola, os tratamentos proporcionaram maiores quantidades absorvidas de magnésio na parte aérea, com média de $46,1 \text{ mg vaso}^{-1}$, do que na sua ausência, com média de $40,0 \text{ mg vaso}^{-1}$. Dentro do fator dos corretivos, o calcário dolomítico foi o tratamento que mais contribuiu para o aumento do teor de magnésio absorvido, com média de $56,5 \text{ mg vaso}^{-1}$, sendo que a testemunha apresentou as quantidades mais baixas, com média de $31,2 \text{ mg vaso}^{-1}$ (Figura 11).

Com relação aos teores de potássio absorvidos pela parte aérea do quarto cultivo, não

houve diferença entre as médias dentro dos dois fatores – gesso agrícola e corretivos da acidez – com média geral de $67,1 \text{ mg vaso}^{-1}$.

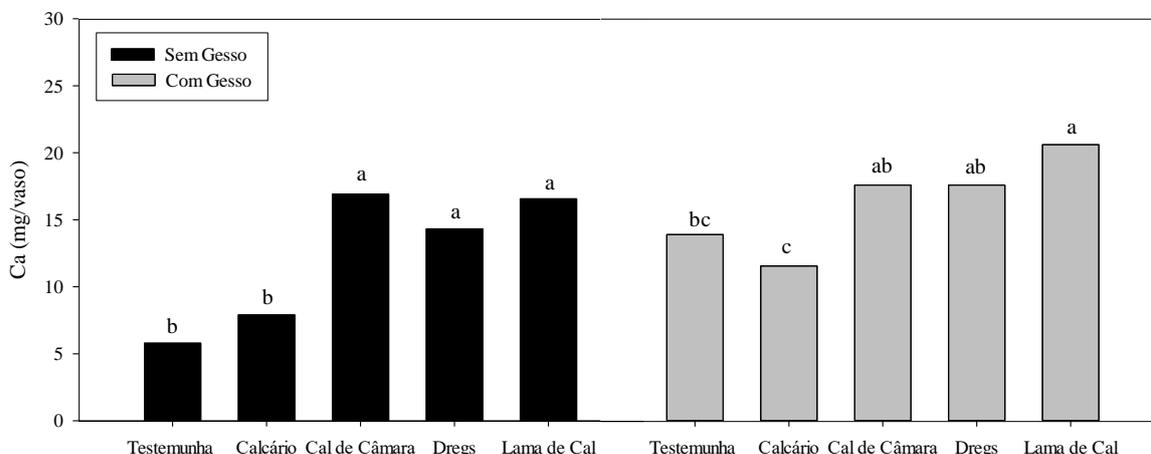
Figura 11 - Teores de cátions básicos e matéria seca da parte aérea do quarto cultivo (milho) em função da aplicação de corretivos de acidez, na presença ou não de gesso. Letras minúsculas diferentes dentro de cada corretivo significam diferença entre os níveis de gesso pelo teste de Tukey a 5% de significância. NS significa inexistência de diferença estatística.



Fonte: elaborado pela autora (2023).

As quantidades de cálcio translocados pela parte aérea do quarto cultivo apresentaram interação entre os fatores. Para os tratamentos sem a adição de gesso, os subprodutos alcalinos apresentaram os teores mais elevados, com média de $16,9 \text{ mg vaso}^{-1}$ para a cal de câmara, $16,6 \text{ mg vaso}^{-1}$ para a lama de cal e $14,3 \text{ mg vaso}^{-1}$ para o dregs. O calcário e a testemunha apresentaram os valores mais baixos de cálcio absorvidos, com médias de $7,9$ e $5,8 \text{ mg vaso}^{-1}$, respectivamente. Nos tratamentos com a adição de gesso agrícola, a lama de cal apresentou os maiores valores, com média de $20,6 \text{ mg vaso}^{-1}$ e o calcário apresentou os menores valores, com média de $11,5 \text{ mg vaso}^{-1}$ (Figura 12).

Figura 12 - Teores de cálcio da parte aérea do quarto cultivo (milho) em função da interação entre os corretivos da acidez e os níveis de gesso agrícola (ausência e presença). Letras minúsculas diferentes dentro de cada nível de gesso significam diferença estatística entre os corretivos da acidez.



Fonte: elaborado pela autora (2023).

O gesso agrícola não é capaz de alterar o pH do solo (ERNANI, 2016), mas pode diminuir a toxidez causada pelo alumínio às plantas de várias formas como, por exemplo, através do aumento da disponibilidade de cálcio e formação do par iônico $AlSO_4^+$ (TIECHER et al., 2023). Dessa forma, a presença de gesso agrícola na testemunha possibilitou incremento na produção de matéria seca quando comparada com a testemunha sem a adição do sal no primeiro e quarto cultivos.

De forma geral, as plantas apresentaram teores de cálcio maiores na parte aérea na presença de gesso agrícola a partir do segundo cultivo. A composição do gesso agrícola e sua alta solubilidade permitiram com que altas quantidades de cálcio estivessem na solução do solo disponíveis para a absorção pelas plantas (ERNANI; RIBEIRO; BAYER, 2001).

Com relação aos corretivos da acidez, os teores de cálcio foram maiores para os tratamentos com adição dos subprodutos (cal de câmara, dregs e lama de cal) em todos os cultivos. Devido a maior solubilidade desses produtos em relação ao calcário, estes corretivos disponibilizaram cálcio mais rapidamente para a solução do solo, quando comparados com o calcário. Outro fator que pode contribuir para o aumento no teor de cálcio é a granulometria do material que, quando apresenta valores mais baixos, também permite a liberação dos nutrientes mais rapidamente para a solução do solo (GOULDING, 2016).

Com relação às quantidades de magnésio absorvidas pelas plantas, os tratamentos que receberam adição de calcário apresentaram os teores mais altos deste nutriente em todos os

cultivos. Por ser um calcário dolomítico, este corretivo disponibilizou maiores teores de magnésio para absorção pelas plantas. Lange et al. (2022), ao compararem a aplicação de calcário dolomítico e calcítico no rendimento de soja e milho, verificaram aumento significativo nos teores de magnésio da parte aérea nos tratamentos com calcário dolomítico, quando comparados com o calcário calcítico.

A absorção de potássio pelas plantas do primeiro cultivo foi maior nos tratamentos com adição de corretivos devido ao aumento do pH do solo, que permitiu maior crescimento radicular e, conseqüentemente, proporcionou maior absorção dos nutrientes pelas plantas (CAIRES et al., 2008).

Com relação às testemunhas do primeiro e segundo cultivo, dentro dos níveis de gesso houve absorção maior de potássio pelas plantas na presença de gesso agrícola, pois o incremento de cálcio provocado pelo gesso aumentou a competição entre cálcio e alumínio pelos sítios de absorção da raiz, diminuindo a toxidez do alumínio às plantas (ERNANI, 2016).

As testemunhas do terceiro cultivo apresentaram teores maiores de potássio na parte aérea na ausência de gesso agrícola. Em função da maior absorção deste nutriente na presença de gesso dos cultivos anteriores, houve mais potássio disponível na ausência de gesso para o terceiro cultivo.

Para os cultivos de milho, os teores de potássio absorvidos pela parte aérea diminuíram ao longo do tempo, devido a diminuição da disponibilidade deste nutriente no solo, visto que não foi realizada adubação potássica no experimento.

4.3.2 Solo

O Poder de Neutralização (PN) obtido foi de 95,7% para o calcário comercial, 106,3% para a cal de câmara, 85,7% para o dregs e 91,0% para a lama de cal. Todos os tratamentos que receberam adição de corretivos de acidez apresentaram elevação do pH do solo em relação à testemunha. Nos tratamentos que receberam os resíduos da indústria celulósica (dregs e lama de cal) e das câmaras frigoríficas (cal de câmara), o pH atingiu valores iguais a 6,0 já ao final do primeiro cultivo e, nos tratamentos com a adição de calcário, o solo não atingiu o pH desejado até o final do experimento, alcançando uma média geral de pH 5,5 e um valor máximo de pH próximo de 5,8 ao final do quarto cultivo (Tabela 3).

Há alguns fatores que podem interferir no aumento do pH do solo pela aplicação de

calcário, como o poder tampão do solo e o teor de matéria orgânica. Jones e Mallarino (2018) afirmam que o calcário dolomítico apresenta solubilidade menor que o calcário calcítico e, ainda, comparam estes resultados com a aplicação de carbonato de cálcio (CaCO_3), que se aproxima mais dos resíduos como a cal de câmara e a lama de cal. Os autores mostram que a eficiência do calcário dolomítico em elevar o pH do solo passa de 12% para as partículas maiores para 86% para as partículas mais finas, durante o mesmo período de incubação. Dessa forma, para que a dose de calcário dolomítico seja adotada de forma correta, é necessário que este material apresente diâmetro menor, sendo este um fator que pode ter interferido no tempo de reação do calcário, quando comparado com os resíduos.

A aplicação de gesso agrícola reduziu o pH nos tratamentos com calcário e dregs no segundo cultivo, e de todos os tratamentos a partir do terceiro cultivo. Ernani, Ribeiro e Bayer (2001) verificaram diminuição do pH do solo e da solução percolada ao adicionarem gesso agrícola em conjunto com o calcário. Os autores concluem que isso ocorreu devido à hidrólise do alumínio deslocado das cargas elétricas negativas do solo pelo cálcio (Equações 4 a 6, Item 3.2.1).

Tabela 3 - Valor médio do pH do solo dos quatro cultivos em função da aplicação de corretivos de acidez, na presença ou não de gesso. Letras minúsculas diferentes dentro de cada cultivo significam diferença entre os níveis de gesso pelo teste de Tukey a 5% de significância. Ausência de letras significa inexistência de diferença estatística.

Tratamentos	1º Cultivo		2º Cultivo		3º Cultivo		4º Cultivo	
	Sem gesso	Com Gesso						
Testemunha	4,35	4,36	4,32	4,32	4,59 a	4,16 b	4,52 a	4,30 b
Calcário	5,44	5,30	5,74 a	5,55 b	5,72 a	5,41 b	5,77 a	5,50 b
Cal de Câmara	6,00	6,15	6,01	5,93	6,17 a	5,78 b	6,08 a	5,69 b
Dregs	6,05	5,96	6,27 a	6,03 b	6,22 a	5,72 b	6,01 a	5,70 b
Lama de cal	5,96	5,83	6,13	6,14	6,10 a	5,58 b	5,96 a	5,61 b

Fonte: elaborado pela autora (2023).

Os teores de alumínio trocável nos tratamentos com adição dos corretivos da acidez deixaram de existir já nas amostras coletadas após o primeiro cultivo. Dessa forma, na Tabela 4 estão dispostos os valores de alumínio obtidos para as testemunhas, na presença e ausência de gesso agrícola.

Houve diferença significativa em todos os cultivos dentro dos níveis de gesso para a testemunha onde, na ausência de gesso agrícola, os teores de Al^{+3} foram maiores do que na

presença do gesso. A redução dos teores de alumínio do solo nas testemunhas com adição de gesso agrícola ocorreu devido principalmente à formação do par iônico $AlSO_4^+$, mencionados ao final do Item 4.3.1

Amaral et al. (2017), ao aplicarem calcário dolomítico e diferentes doses de gesso agrícola para avaliar a produtividade de milho em campo, constataram maior produtividade de milho na maior dose de gesso agrícola e observaram que a aplicação de gesso no solo incrementou os teores de cálcio, magnésio e enxofre em profundidade e reduziu os teores de alumínio nestes locais.

Tabela 4 - Teores de alumínio trocável do solo dos quatro cultivos em função da aplicação de corretivos de acidez, na presença ou não de gesso agrícola. Letras minúsculas diferentes dentro de cada tratamento significam diferença entre os níveis de gesso pelo teste de Tukey a 5% de significância. Ausência de letra significa inexistência de diferença estatística

Tratamento	1º Cultivo (Milho)	2º Cultivo (Milho)	3º Cultivo (Nabo)	4º Cultivo (Milho)
	Al (cmolc kg ⁻¹)			
Testemunha	6,27 a	6,08 a	6,63 a	6,56 a
Testemunha + Gesso	5,23 b	5,47 b	6,01 b	4,98 b

Fonte: elaborado pela autora (2023).

Os teores de Ca^{+2} do solo, após o primeiro cultivo, aumentaram em todos os tratamentos que receberam adição de corretivos da acidez. Na testemunha, o teor de Ca^{+2} variou de 1,6 cmolc kg⁻¹ para 5,2 cmolc kg⁻¹ na ausência e presença de gesso, respectivamente. Os tratamentos com adição de calcário apresentaram uma média de 8,2 cmolc kg⁻¹ de Ca^{+2} e, por fim, as unidades experimentais que obtiveram adição dos demais resíduos apresentaram uma média de 13,3 cmolc kg⁻¹ de Ca^{+2} no solo onde, nos tratamentos com a adição de gesso agrícola, esse valor chegou em 14,2 cmolc kg⁻¹ onde foi aplicada a cal de câmara (Figura 13).

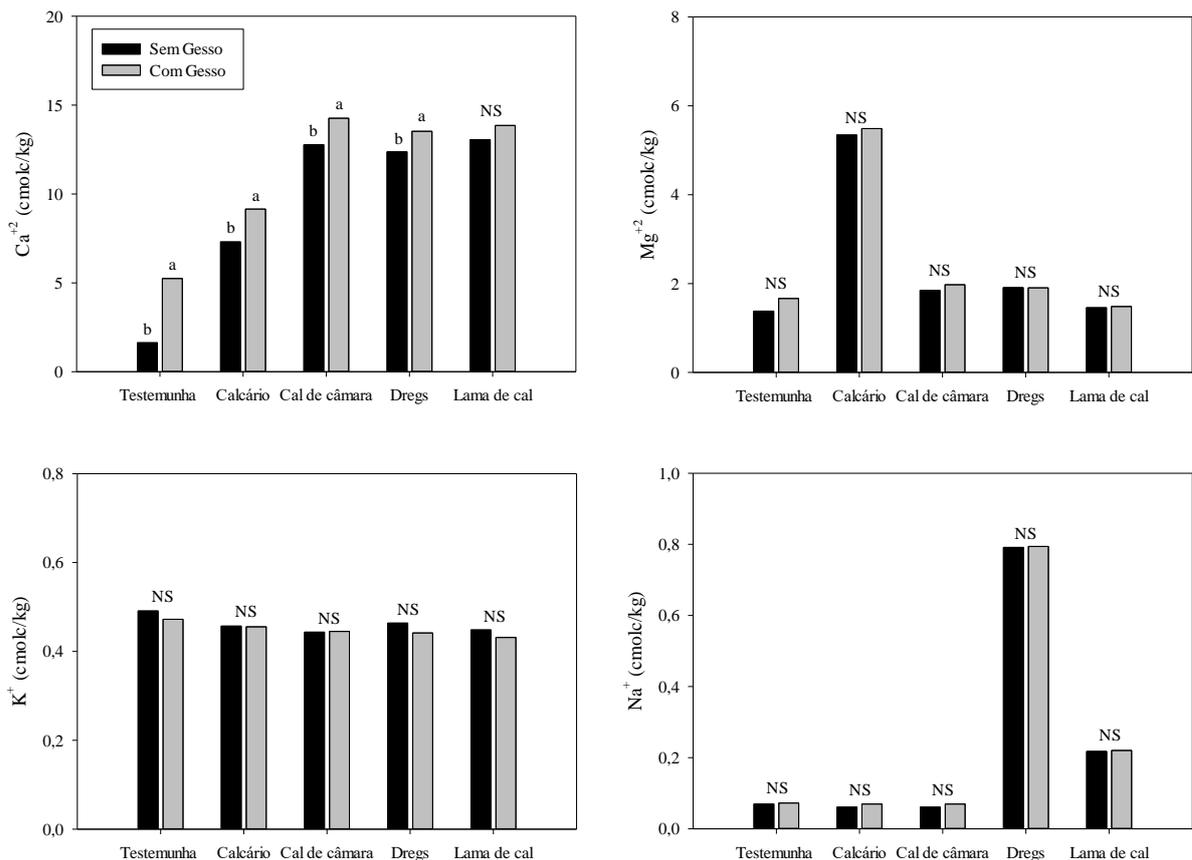
Dentro do fator gesso, o Mg^{+2} apresentou teores maiores nos tratamentos em que houve adição deste sal quando comparada com os tratamentos sem adição de gesso agrícola, com médias de 2,5 cmolc kg⁻¹ e 2,4 cmolc kg⁻¹, respectivamente. O teor de Mg^{+2} não diferiu entre a testemunha e a lama de cal, apresentando uma média de 1,5 cmolc kg⁻¹. Os tratamentos com adição de calcário foram os que disponibilizaram mais Mg^{+2} para o solo, com média de 5,4 cmolc kg⁻¹ (Figura 13).

Os teores de K^+ apresentaram diferença estatística dentro dos níveis de gesso agrícola (presença e ausência), com médias de 0,5 e 0,4 cmolc kg⁻¹ na ausência e presença de gesso,

respectivamente. Com relação aos corretivos da acidez, a testemunha apresentou os maiores teores de K^+ no solo, com média de $0,5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, e os demais tratamentos não diferiram entre si, com média de $0,4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (Figura 13).

Dentro dos níveis de gesso (presença e ausência) não houve diferença estatística para os teores de Na^+ no solo após o primeiro cultivo. Com relação aos corretivos, os tratamentos com adição de dregs foram os que disponibilizaram mais Na^+ para o solo, com média de $0,8 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$. A testemunha e os tratamentos com cal de câmara e calcário apresentaram os menores teores de Na^+ no solo, com médias de $0,07 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ para a testemunha e $0,06 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ para a cal de câmara e o calcário (Figura 13).

Figura 13 - Teores de cátions básicos trocáveis no solo após o primeiro cultivo (milho) em função da aplicação de corretivos de acidez, na presença ou não de gesso. Letras minúsculas diferentes dentro de cada corretivo significam diferença entre os níveis de gesso pelo teste de Tukey a 5% de significância. NS significa inexistência de diferença estatística.

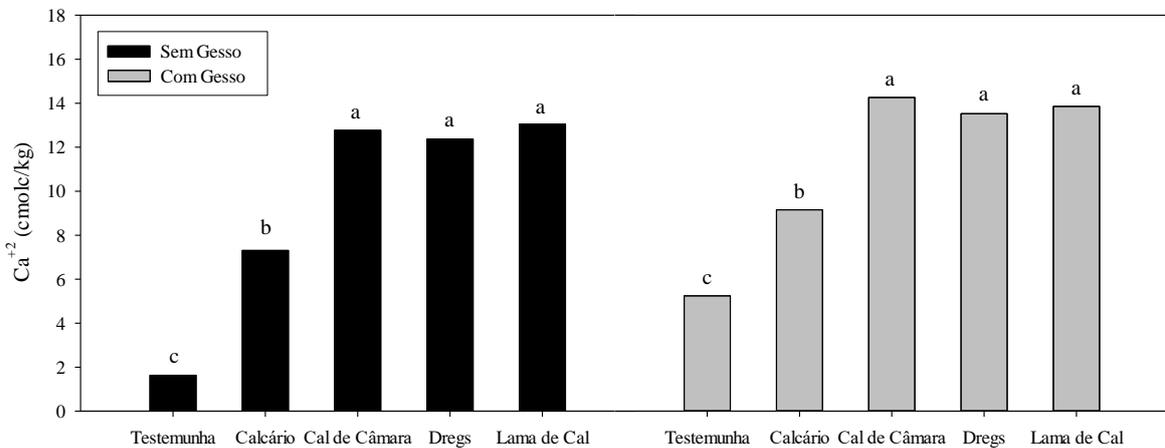


Fonte: elaborado pela autora (2023).

Houve interação entre os fatores para os teores de Ca^{+2} após o primeiro cultivo. Na ausência de gesso agrícola, os resíduos foram os que disponibilizaram mais Ca^{+2} para o solo,

com médias de $13,0 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, $12,8 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ e $12,4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ para a lama de cal, cal de câmara e dregs, respectivamente. A testemunha apresentou os teores mais baixos de Ca^{+2} , com média de $1,6 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$. Na presença de gesso agrícola, os resíduos também apresentaram os maiores teores de Ca^{+2} no solo, com médias de $14,3 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, $13,8 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ e $13,5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ para a cal de câmara, lama de cal e dregs, respectivamente. A testemunha apresentou os valores mais baixos de Ca^{+2} no solo, com média de $5,2 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (Figura 14).

Figura 14 - Valores médios de cálcio trocável no solo após o primeiro cultivo (milho) em função da interação entre os corretivos da acidez e os níveis de gesso agrícola (ausência e presença). Letras minúsculas diferentes dentro de cada nível de gesso significam diferença estatística entre os corretivos da acidez.



Fonte: elaborado pela autora (2023).

Para os teores de Ca^{+2} do solo após o segundo cultivo houve diferença entre os níveis de gesso (presença e ausência). Na presença de gesso agrícola, a média dos teores de Ca^{+2} para todos os tratamentos foi maior quando comparado com os teores de Ca^{+2} na ausência de gesso (Figura 15).

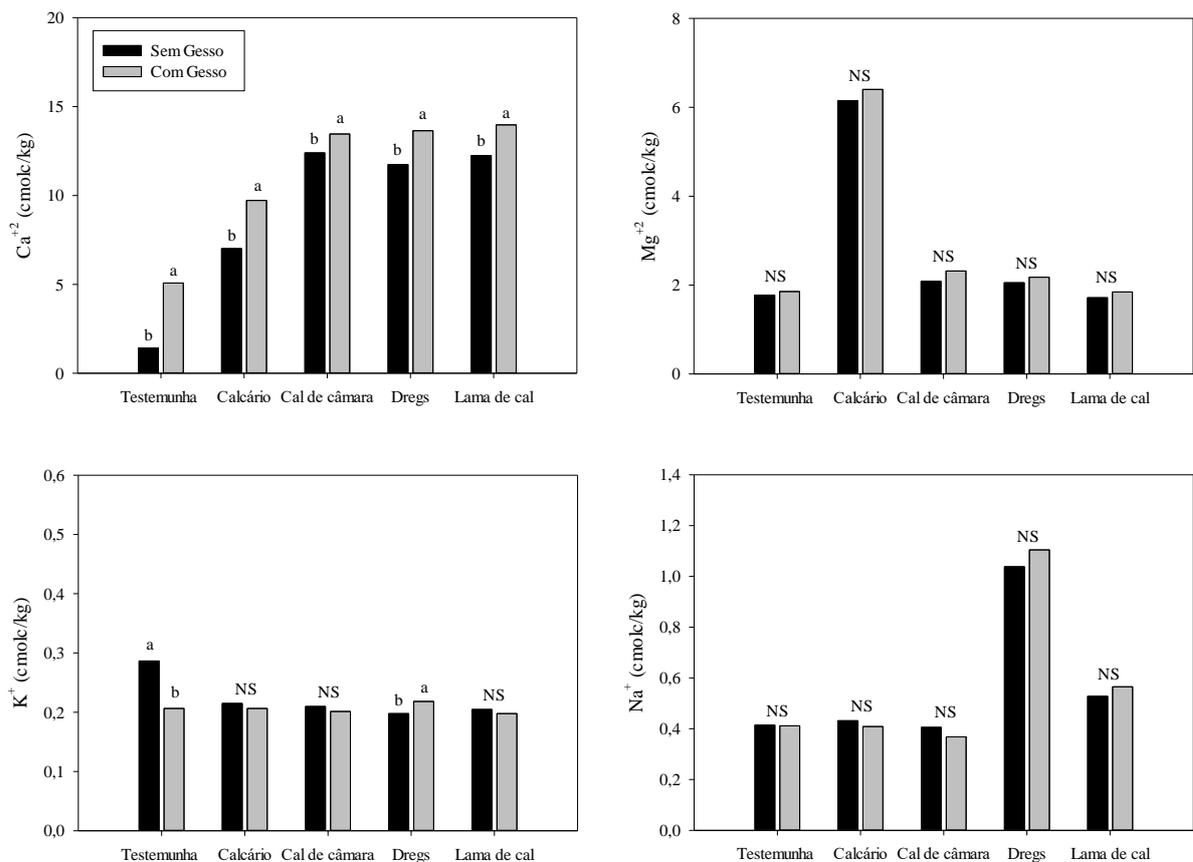
Os teores de Mg^{+2} apresentaram diferença estatística dentro dos níveis de gesso agrícola onde, na presença de gesso, os teores de Mg^{+2} alcançaram uma média de $2,9 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ e na ausência de gesso a média caiu para $2,7 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$. Para os níveis de corretivos, o calcário foi o tratamento que mais disponibilizou Mg^{+2} para o solo, com média de $6,3 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, e a testemunha e a lama de cal apresentaram os teores mais baixos, com média de $1,8 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (Figura 15).

Houve diferença entre os níveis de gesso agrícola para os teores de K^{+} do solo nos tratamentos em que foram adicionados dregs e as testemunhas. Com relação ao dregs, os

tratamentos em que foram adicionados gesso apresentaram teores maiores de K^+ no solo, com média de $0,21 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ e, na ausência de gesso agrícola, o teor caiu para $0,19 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$. Na testemunha, os tratamentos sem adição de gesso agrícola apresentaram valores superiores de K^+ no solo, com média de $0,28 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ e, na presença de gesso agrícola, o teor atingiu média de $0,20 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (Figura 15).

A análise estatística não apresentou diferença significativa entre os níveis de gesso (presença e ausência) para os teores de Na^+ do solo. Com relação aos corretivos, o dregs foi o tratamento que mais contribuiu para o aumento deste cátion no solo, com média de $1,10 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$. O calcário, testemunha e cal de câmara proporcionaram os teores mais baixos de Na^+ no solo, com médias de $0,42$, $0,41$ e $0,38 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, respectivamente (Figura 15).

Figura 15 - Teores de cátions básicos trocáveis no solo após o segundo cultivo (milho) em função da aplicação de corretivos de acidez, na presença ou não de gesso. Letras minúsculas diferentes dentro de cada corretivo significam diferença entre os níveis de gesso pelo teste de Tukey a 5% de significância. NS significa inexistência de diferença estatística.

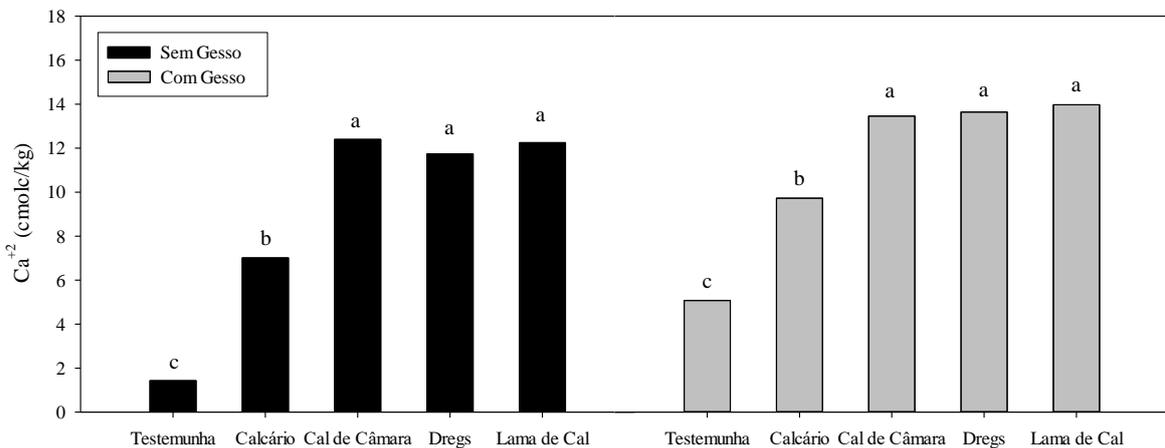


Fonte: elaborado pela autora (2023).

Houve interação entre os fatores para os teores de Ca^{+2} do solo onde, na ausência de

gesso agrícola, os resíduos disponibilizaram maiores quantidades de Ca^{+2} , quando comparados com o calcário dolomítico, com médias de 12,4, 12,2 e 11,7 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ para a cal de câmara, lama de cal e dregs, respectivamente. A testemunha apresentou os teores mais baixos de Ca^{+2} no solo, com média de 1,4 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$. Na presença de gesso agrícola, os resíduos também apresentaram os teores mais altos de Ca^{+2} no solo, com médias de 14,0 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ para a lama de cal, 13,6 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ para o dregs e 13,5 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ para a cal de câmara. A testemunha também apresentou os valores mais baixos na presença de gesso agrícola, com média de 5,0 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ de Ca^{+2} (Figura 16).

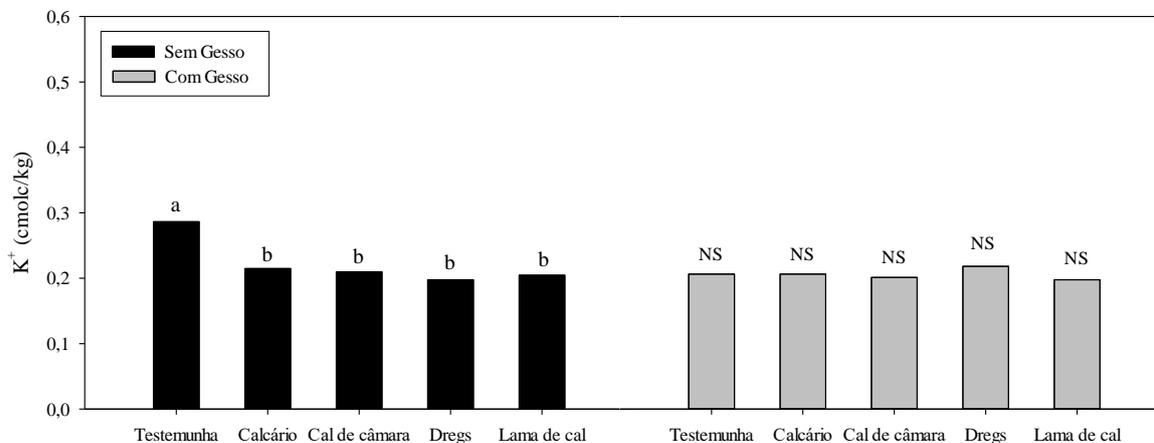
Figura 16 - Valores médios de cálcio trocável no solo após o segundo cultivo (milho) em função da interação entre os corretivos da acidez e os níveis de gesso agrícola (ausência e presença). Letras minúsculas diferentes dentro de cada nível de gesso significam diferença estatística entre os corretivos da acidez.



Fonte: elaborado pela autora (2023).

Com relação à interação entre os fatores para os teores de K^+ do solo após o segundo cultivo, na ausência de gesso a testemunha apresentou teores superiores de K^+ no solo, com média de 0,3 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$, e os demais tratamentos não diferiram entre si, com média de 0,2 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$. Na presença de gesso agrícola não houve diferença estatística entre as médias dos tratamentos (Figura 17).

Figura 17 - Valores médios de potássio trocável no solo após o segundo cultivo (milho) em função da interação entre os corretivos da acidez e os níveis de gesso agrícola (ausência e presença). Letras minúsculas diferentes dentro de cada nível de gesso significam diferença estatística entre os corretivos da acidez. NS significa inexistência de diferença estatística.



Fonte: elaborado pela autora (2023).

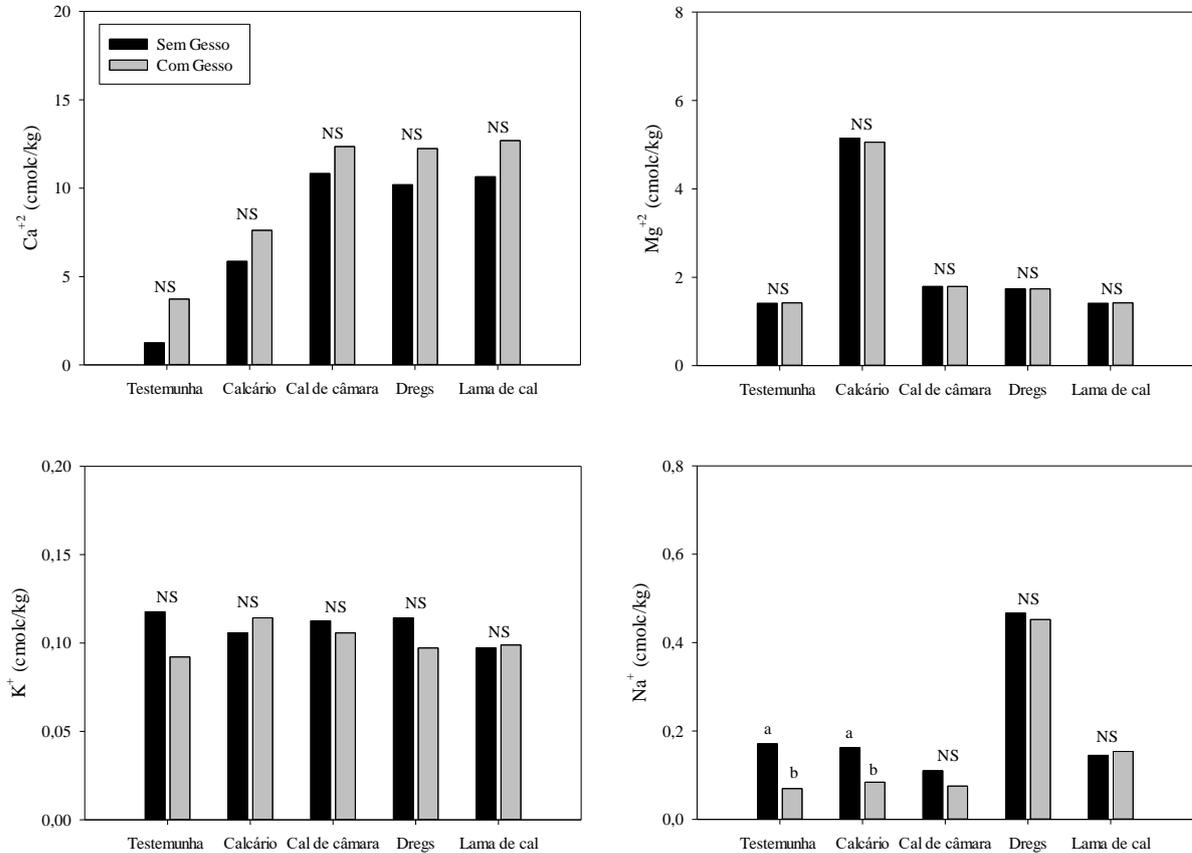
Após o terceiro cultivo os teores de Ca^{+2} do solo apresentaram diferença estatística dentro dos níveis de gesso agrícola, onde, na presença de gesso, os teores de Ca^{+2} foram maiores, com média de $9,7 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ e na ausência de gesso, a média foi de $7,7 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$. Dentro dos níveis de corretivos, os resíduos disponibilizaram maiores quantidades de Ca^{+2} para o solo, com médias de $11,7$, $11,6$ e $11,2 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ para a lama de cal, cal de câmara e dregs, respectivamente. A testemunha apresentou os teores mais baixos de Ca^{+2} no solo, com média de $2,5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (Figura 18).

Os teores de Mg^{+2} não apresentaram diferença estatística dentro dos níveis de gesso agrícola. Com relação aos corretivos, o calcário foi o tratamento que mais disponibilizou Mg^{+2} para o solo, com média de $5,1 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, e a lama de cal e a testemunha apresentaram os teores mais baixos deste nutriente no solo, com médias de $1,4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (Figura 18).

Não houve diferença estatística dentro dos níveis de gesso agrícola e de corretivos para os teores de K^{+} no solo após o terceiro cultivo. Dessa forma, todas as médias são estatisticamente iguais.

Os teores de Na^{+} do solo apresentaram diferença dentro dos níveis de gesso agrícola apenas na testemunha e nos tratamentos com calcário, onde em ambos os teores de Na^{+} no solo foram maiores na ausência de gesso agrícola, com médias de $0,17$ e $0,16 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, respectivamente. Na presença de gesso, a testemunha apresentou uma média de $0,06 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ e o calcário atingiu uma média de $0,08 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de Na^{+} no solo (Figura 18).

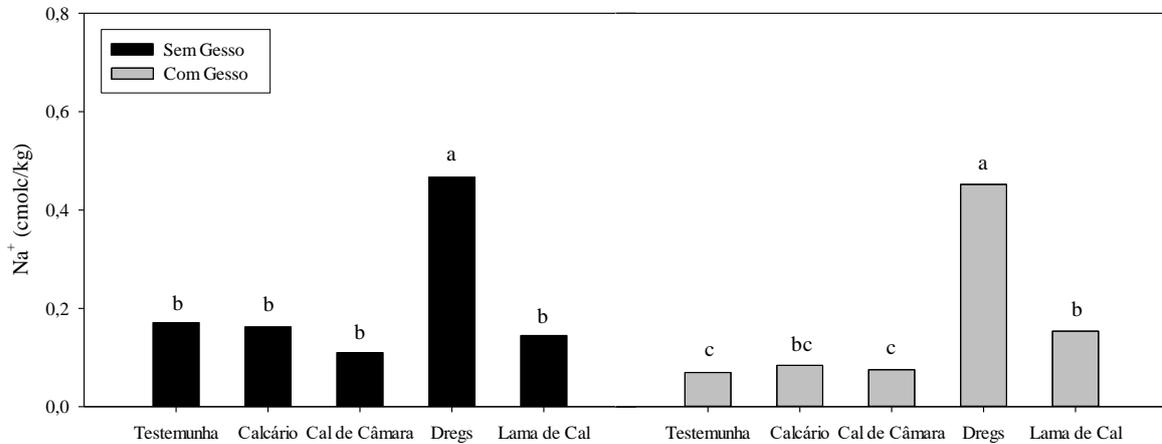
Figura 18 - Teores de cátions básicos trocáveis no solo após o terceiro cultivo (nabo-forrageiro) em função da aplicação de corretivos de acidez, na presença ou não de gesso. Letras minúsculas diferentes dentro de cada corretivo significam diferença entre os níveis de gesso pelo teste de Tukey a 5% de significância. NS significa inexistência de diferença estatística.



Fonte: elaborado pela autora (2023).

Com relação à interação entre os fatores para os teores de Na⁺, na ausência de gesso agrícola, o dregs apresentou os valores mais altos, com média de 0,46 cmol_c kg⁻¹ e os demais tratamentos não apresentaram diferença entre as médias, com valores entre 0,11 e 0,17 cmol_c kg⁻¹ de Na⁺. Na presença de gesso, o dregs também apresentou os teores mais altos de Na⁺ no solo, com média de 0,45 cmol_c kg⁻¹, e a cal de câmara e a testemunha apresentaram os valores mais baixos, com médias de 0,07 cmol_c kg⁻¹ (Figura 19).

Figura 19 - Valores médios de sódio trocável no solo após o terceiro cultivo (nabo-forrageiro) em função da interação entre os corretivos da acidez e os níveis de gesso agrícola (ausência e presença). Letras minúsculas diferentes dentro de cada nível de gesso significam diferença estatística entre os corretivos da acidez.



Fonte: elaborado pela autora (2023).

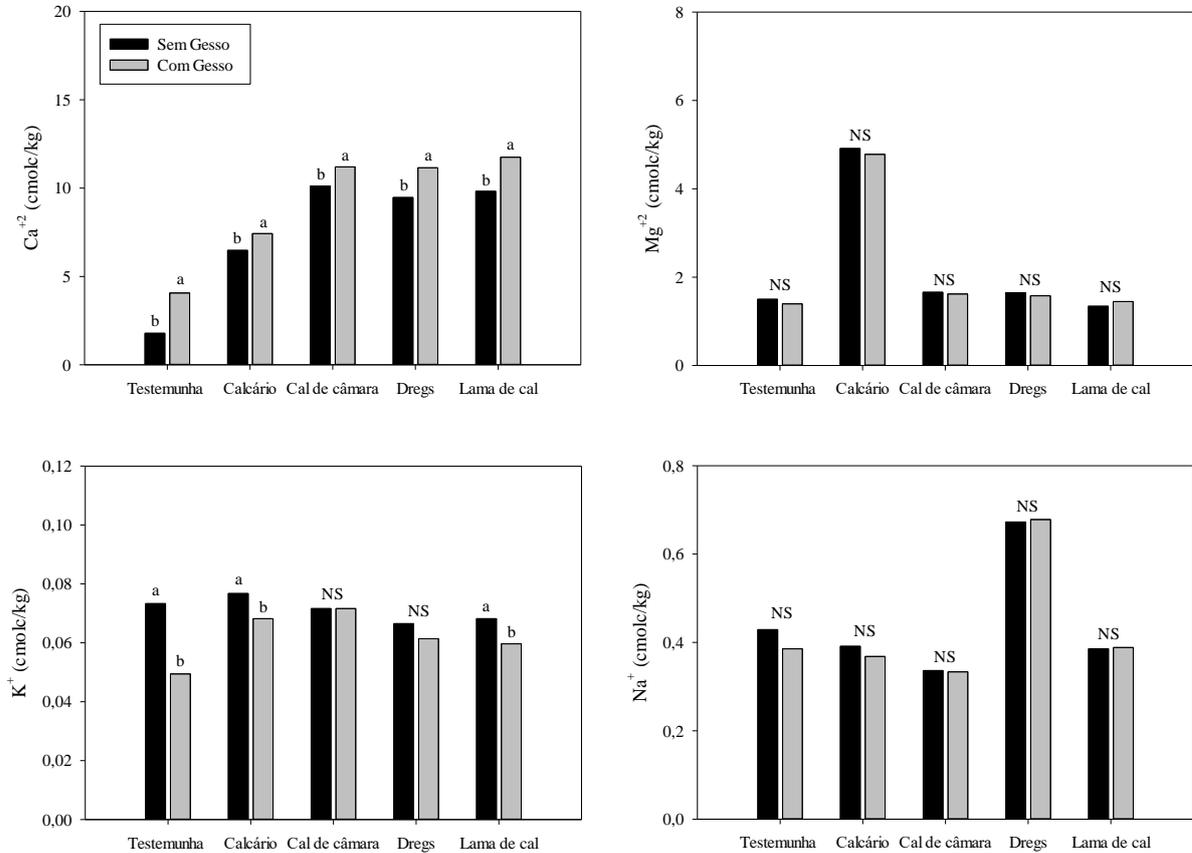
Os teores de Ca^{+2} do solo após o quarto cultivo apresentaram diferença significativa entre os níveis de gesso em todos os tratamentos. Na presença de gesso agrícola todos os tratamentos apresentaram teores de Ca^{+2} maiores quando comparados com os tratamentos na ausência de gesso (Figura 20).

Com relação aos teores de Mg^{+2} do solo após o quarto cultivo, não houve diferença estatística dentro dos níveis de gesso agrícola. Dentro dos níveis de corretivos, o calcário foi o corretivo que mais disponibilizou Mg^{+2} para o solo, com média de $4,8 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, e a lama de cal foi o tratamento que apresentou os teores mais baixos deste nutriente no solo, com média de $1,4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (Figura 20).

Os teores de K^+ apresentaram diferença estatística dentro dos níveis de gesso para os tratamentos com calcário, lama de cal e as testemunhas. Todos apresentaram teores maiores de K^+ no solo na ausência de gesso, com médias de $0,08 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ para o calcário e $0,07 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ para a lama de cal e testemunha. Na presença de gesso, o calcário apresentou uma média de $0,07 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, a lama de cal atingiu média de $0,06 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ e a testemunha atingiu uma média de $0,05 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de K^+ no solo (Figura 20).

Os teores Na^+ do solo não apresentaram diferença estatística dentro dos níveis de gesso agrícola. Dentro dos níveis de corretivos, o dregs disponibilizou mais Na^+ para o solo, com média de $0,70 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, e os tratamentos com cal de câmara apresentaram os teores mais baixos de Na^+ no solo, com média de $0,33 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (Figura 20).

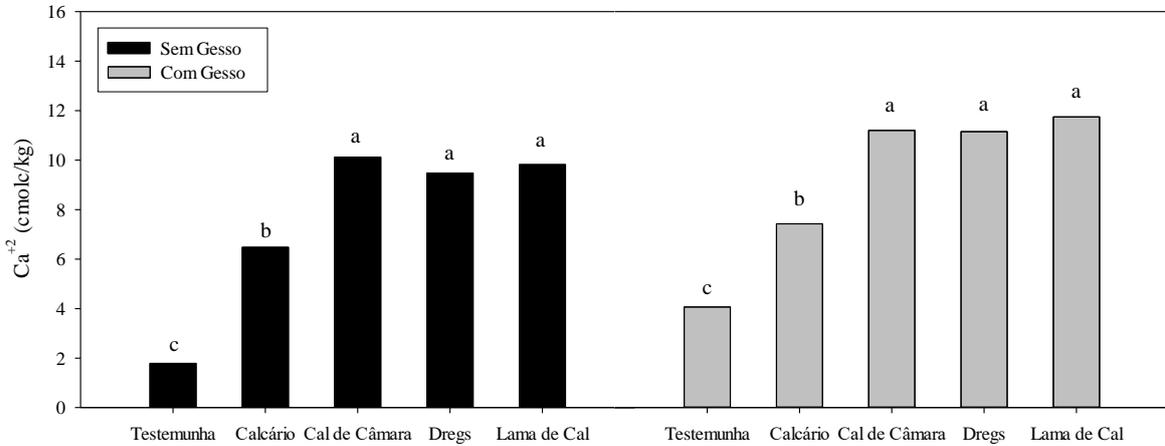
Figura 20 - Teores de cátions básicos trocáveis no solo após o quarto cultivo (milho) em função da aplicação de corretivos de acidez, na presença ou não de gesso. Letras minúsculas diferentes dentro de cada corretivo significam diferença entre os níveis de gesso pelo teste de Tukey a 5% de significância. NS significa inexistência de diferença estatística.



Fonte: elaborado pela autora (2023).

Com relação à interação entre os fatores para os teores de Ca²⁺ do solo, na ausência de gesso agrícola os resíduos disponibilizaram mais Ca²⁺ para o solo, com médias de 10,1, 9,8 e 9,5 cmol_c kg⁻¹ para a cal de câmara, lama de cal e dregs, respectivamente. A testemunha atingiu os menores valores de Ca²⁺ no solo, com média de 1,8 cmol_c kg⁻¹. Na presença de gesso agrícola, os tratamentos com resíduos também atingiram os maiores teores de Ca²⁺ no solo, com médias de 11,7, 11,2 e 11,1 cmol_c kg⁻¹ para a lama de cal, cal de câmara e dregs, respectivamente. Na presença de gesso, a testemunha também apresentou os teores mais baixos deste nutriente no solo, com média de 4,0 cmol_c kg⁻¹ (Figura 21).

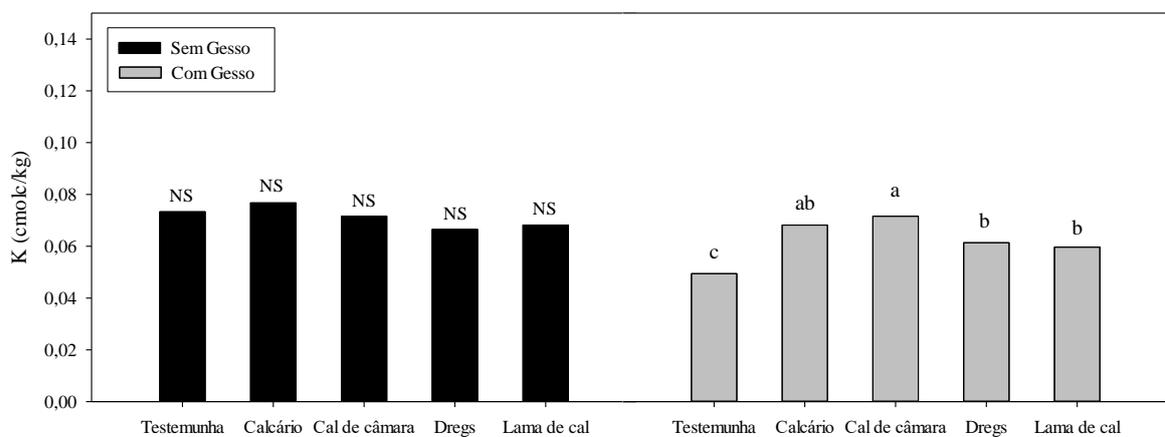
Figura 21 - Valores médios de cálcio trocável no solo após o quarto cultivo (milho) em função da interação entre os corretivos da acidez e os níveis de gesso agrícola (ausência e presença). Letras minúsculas diferentes dentro de cada nível de gesso significam diferença estatística entre os corretivos da acidez.



Fonte: elaborado pela autora (2023).

Os teores de K^+ do solo após o quarto cultivo apresentaram interação entre os fatores na análise estatística. Na presença de gesso agrícola, a cal de câmara foi o tratamento que mais disponibilizou K^+ para o solo, com média de $0,07 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ e a testemunha apresentou os teores mais baixos deste nutriente, com média de $0,05 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$. Não houve diferença entre as médias na ausência de gesso agrícola (Figura 22).

Figura 22 - Valores médios de potássio trocável no solo após o quarto cultivo (milho) em função da interação entre os corretivos da acidez e os níveis de gesso agrícola (ausência e presença). Letras minúsculas diferentes dentro de cada nível de gesso significam diferença estatística entre os corretivos da acidez. NS significa inexistência de diferença estatística.



Fonte: elaborado pela autora (2023).

A adição de corretivos de acidez aumentou os teores de Ca^{+2} do solo em todos os

cultivos, quando comparados com a testemunha. Dentro do fator gesso (presença e ausência), os tratamentos que receberam a adição de gesso agrícola também apresentaram os maiores teores de Ca^{+2} no solo e, dentro do nível dos corretivos, os resíduos apresentaram maior incremento deste nutriente quando comparados com o calcário.

De acordo com os valores propostos no Manual de Calagem e Adubação (CQFS – RS/SC, 2016), os tratamentos em que foi adicionado corretivo apresentaram teores altos de Ca^{+2} , visto que foram superiores a $4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$. Todavia, nos tratamentos em que não houve adição de gesso agrícola, a testemunha se enquadrava na classe de disponibilidade baixa já no primeiro cultivo, uma vez que apresentou teores de Ca^{+2} inferiores a $2 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$.

Este incremento no teor de Ca^{+2} e velocidade de reação maior para elevação do pH estão relacionados com algumas características dos produtos, como solubilidade e granulometria, e características do solo, como teor de matéria orgânica e Al^{+3} . Medeiros et al. (2013), ao compararem a aplicação de resíduo alcalino de indústria de celulose com o calcário em diferentes doses, constataram que o resíduo apresenta maior potencial para elevar o pH e o teor de Ca^{+2} do solo, chegando a teores de $14,6 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Ca^{+2} para o resíduo e $6,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Ca^{+2} para o calcário.

Com relação ao Mg^{+2} , os tratamentos que obtiveram a adição de calcário apresentaram os maiores teores deste nutriente no solo. Os teores de Mg^{+2} no solo estão classificados como alto (CQFS – RS/SC, 2016), mesmo nos tratamentos em que não foi adicionado corretivo, visto que todos apresentaram teores maiores que $1 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$.

Medeiros et al. (2013) também observaram teores de Mg^{+2} constantes após a aplicação de resíduos de produção de celulose, indicando que a contribuição destes subprodutos para os teores de Mg^{+2} no solo é baixa quando comparada com o calcário dolomítico. Os autores também avaliaram a relação Ca/Mg onde, nos tratamentos em que foi adicionado o subproduto, essa relação aumentou, podendo prejudicar a disponibilidade de Mg^{+2} às plantas.

Os teores de K^{+} no solo diminuíram ao longo do tempo, com teor máximo de $0,5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ após o primeiro cultivo para aproximadamente $0,08 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ após o último cultivo. A redução dos teores de K^{+} se deve à absorção deste nutriente pelas plantas e ausência de adubação potássica no experimento.

De acordo com a classificação do Manual de Calagem e Adubação (CQFS – RS/SC, 2016), o solo apresentou teores altos de K^{+} após o primeiro cultivo, e variou de baixo a muito baixo após o último cultivo, de acordo com os teores obtidos para cada tratamento.

Nos tratamentos com adição de gesso agrícola houve redução nos teores de Na^{+} no

solo quando comparados com os tratamentos sem gesso. A aplicação de gesso no solo desloca o Na^+ adsorvido, tornando-o disponível para as plantas. Dessa forma, como não houve lixiviação no sistema, a adição de gesso agrícola proporcionou um aumento na absorção de Na^+ pelas plantas.

Por fim, a determinação dos teores de Na^+ mostrou um incremento deste elemento no solo em todos os tratamentos, devido a utilização de água da torneira para a rega das plantas. Este incremento é reduzido no terceiro cultivo devido à absorção deste elemento pelo nabo-forrageiro, visto que o nabo absorveu quantidades maiores dos elementos disponíveis do solo quando comparado com o milho (Item 4.3.1).

De acordo com McIntyre (1979), teores de Na^+ superiores a 5% da CTC efetiva podem prejudicar as características físicas do solo, pois o Na^+ é capaz de aumentar a espessura da dupla camada difusa e favorecer a dispersão dos colóides, devido ao seu raio hidratado atuando em conjunto com valores de pH elevados no solo (ERNANI, 2016). No entanto, de acordo com Barth, Morales e Cantú (2023) a intervenção com melhoradores químicos, como o gesso agrícola, só é feita quando o Na^+ ultrapassa 15% da CTC. No entanto, nessas condições o solo já apresenta sua disponibilidade de água e nutrientes comprometida, podendo impedir a germinação de plantas, além da degradação da sua estrutura e dispersão da argila (VASCONCELOS et al., 2013).

Nos tratamentos em que houve a adição de dregs, a porcentagem de saturação do Na^+ é superior a 5% em alguns cultivos, indicando que sua adição no solo pode não ser adequada (Tabela 5). Contudo, o trabalho realizado por Medeiros et al. (2013) mostrou que a adição de Dregs em um Cambissolo Húmico Alumínico não alterou a estabilidade dos agregados do solo.

Tabela 5 - Valores médios de CTC efetiva, saturação por bases e (%) de Al, Ca, K, Mg e Na no solo

Tratamento	CTC (cmolc/dm ³)	1º Cultivo					
		V (%)	Al (%)	Ca (%)	K (%)	Mg (%)	Na (%)
Testemunha	9,84	36,31	63,69	16,58	4,99	14,02	0,71
Calcário	13,33	98,83	1,17	54,84	3,43	40,10	0,46
Cal de Câmara	15,13	100,00	0,00	84,44	2,93	12,22	0,40
Dregs	15,54	100,00	0,00	79,63	2,99	12,29	5,09
Lama de cal	15,17	100,00	0,00	86,01	2,96	9,60	1,43
Testemunha + Gesso	12,69	58,77	41,23	41,36	3,72	13,12	0,57
Calcário + Gesso	15,33	98,98	1,02	59,74	2,97	35,81	0,45
Cal de Câmara + Gesso	16,75	100,00	0,00	85,14	2,66	11,79	0,42

Dregs + Gesso	16,67	100,00	0,00	81,16	2,65	11,42	4,76
Lama de cal + Gesso	15,99	100,00	0,00	86,64	2,70	9,29	1,38
2º Cultivo							
Tratamento	CTC (cmolc/dm ³)	V (%)	Al (%)	Ca (%)	K (%)	Mg (%)	Na (%)
Testemunha	9,99	39,09	60,91	14,30	2,87	17,77	4,15
Calcário	13,81	100,00	0,00	50,80	1,56	44,51	3,13
Cal de Câmara	15,10	100,00	0,00	82,11	1,39	13,81	2,69
Dregs	15,03	100,00	0,00	78,11	1,32	13,67	6,90
Lama de cal	14,70	100,00	0,00	83,34	1,39	11,68	3,59
Testemunha + Gesso	13,02	57,97	42,03	38,99	1,58	14,24	3,16
Calcário + Gesso	16,74	100,00	0,00	58,08	1,23	38,24	2,44
Cal de Câmara + Gesso	16,35	100,00	0,00	82,34	1,23	14,18	2,25
Dregs + Gesso	17,14	100,00	0,00	79,58	1,27	12,70	6,44
Lama de cal + Gesso	16,59	100,00	0,00	84,27	1,19	11,13	3,41
3º Cultivo							
Tratamento	CTC (cmolc/dm ³)	V (%)	Al (%)	Ca (%)	K (%)	Mg (%)	Na (%)
Testemunha	9,57	30,77	69,23	13,03	1,23	14,72	1,79
Calcário	11,28	100,00	0,00	51,96	0,94	45,66	1,44
Cal de Câmara	12,85	100,00	0,00	84,32	0,88	13,94	0,86
Dregs	12,52	100,00	0,00	81,48	0,91	13,88	3,73
Lama de cal	12,30	100,00	0,00	86,57	0,79	11,46	1,18
Testemunha + Gesso	11,33	46,90	53,10	32,91	0,81	12,56	0,61
Calcário + Gesso	12,89	99,89	0,11	59,12	0,89	39,23	0,65
Cal de Câmara + Gesso	14,33	100,00	0,00	86,24	0,74	12,50	0,53
Dregs + Gesso	14,53	100,00	0,00	84,25	0,67	11,97	3,11
Lama de cal + Gesso	14,37	100,00	0,00	88,34	0,69	9,90	1,07
4º Cultivo							
Tratamento	CTC (cmolc/dm ³)	V (%)	Al (%)	Ca (%)	K (%)	Mg (%)	Na (%)
Testemunha	10,34	36,61	63,39	17,25	0,71	14,51	4,15
Calcário	11,86	100,00	0,00	54,64	0,65	41,42	3,30
Cal de Câmara	12,19	100,00	0,00	83,04	0,59	13,61	2,76
Dregs	11,86	100,00	0,00	79,88	0,56	13,88	5,67
Lama de cal	11,62	100,00	0,00	84,53	0,59	11,56	3,32
Testemunha + Gesso	10,88	54,24	45,76	37,40	0,45	12,83	3,54
Calcário + Gesso	12,64	100,00	0,00	58,74	0,54	37,80	2,91
Cal de Câmara + Gesso	13,22	100,00	0,00	84,69	0,54	12,25	2,52
Dregs + Gesso	13,47	100,00	0,00	82,78	0,46	11,73	5,03
Lama de cal + Gesso	13,64	100,00	0,00	86,10	0,44	10,62	2,85

Fonte: elaborado pela autora (2023).

4.4 CONCLUSÃO

Quando misturado aos corretivos da acidez do solo, a adição de gesso agrícola não interferiu na velocidade de reação deles. A partir do segundo cultivo, a aplicação de gesso diminuiu o pH do solo, possivelmente devido à hidrólise do alumínio liberado das cargas negativas do solo pela adição de cálcio. A aplicação de gesso aumentou a produção de matéria seca em relação à testemunha, porém foi inferior aos corretivos da acidez, não tendo interferido na velocidade de reação destes.

O rendimento de matéria seca de qualquer dos cultivos não diferiu entre o calcário comercial e os demais corretivos da acidez. Contudo, os tratamentos com calcário apresentaram teores maiores de magnésio tanto no solo quanto nas plantas, indicando que os resíduos podem não ser uma alternativa de corretivo em solos pobres deste nutriente.

5 CAPÍTULO 2: EFICIÊNCIA DE DIFERENTES CORRETIVOS NO AUMENTO DO PH DO SOLO

Resumo: O pH do solo é um fator que interfere de forma direta no desenvolvimento das plantas, pois quando está baixo impossibilita seu crescimento através da presença de elementos tóxicos, como Al e Mn, além de prejudicar a atividade microbiana. O calcário é o corretivo de acidez mais utilizado, mas há resíduos provenientes de processos produtivos capazes de elevar o pH do solo que, se utilizados como corretivos, apresentariam custo mais baixo. Mas para que sejam utilizados, deve-se conhecer, entre outras informações, o tempo de reação destes diferentes produtos, para que a dosagem seja adotada de forma adequada. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi determinar a velocidade de reação de diferentes resíduos alcalinos como corretivos de acidez do solo. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em Lages, SC. Foram adotados quatro corretivos: calcário dolomítico comercial, cal de câmara, lama de cal e dregs, mais uma testemunha, utilizando um Cambissolo Húmico e um Nitossolo Vermelho, com três repetições. As doses dos corretivos foram adotadas com base no Valor de Neutralização de cada produto, para elevar o pH do solo até 5,5 e 6,5. As unidades experimentais permaneceram incubadas por 100 dias, sendo que a cada 10 dias foram coletadas amostras de solo para determinação do pH. O Poder de Neutralização (PN) obtido para os corretivos foi 95,67% para o calcário dolomítico comercial, 106,34% para a cal originada de câmaras frigoríficas, 85,75% para o dregs e 91,06% para a lama de cal. Para os tratamentos que visaram a elevação do pH até 5,5, no Cambissolo o calcário e o dregs estabilizaram a partir de 30 dias, a cal de câmara com 20 dias, e a lama de cal, com 10 dias. Para o Nitossolo todos os tratamentos estabilizaram com 10 dias. Os tratamentos com doses para elevar o pH até 6,5 demoraram 10 dias para o Cambissolo, com exceção do calcário, que estabilizou com 30 dias, e para o Nitossolo demoraram, em média, 10 dias. Todos os produtos apresentaram potencial para correção de pH do solo, com velocidade de reação maior nos tratamentos com o Nitossolo.

Palavras-chave: Calcário, cal de câmara, dregs, lama de cal.

5.1 INTRODUÇÃO

Existem alguns fatores do solo que influenciam o desenvolvimento das plantas: os

fatores físicos do solo, como sua umidade e densidade; os fatores químicos do solo, como o pH, composição mineralógica e disponibilidade de nutrientes; e os fatores biológicos. O pH do solo é um fator extremamente importante pois, quando está baixo, pode interferir no crescimento das plantas, através da interferência de elementos tóxicos como Al e Mn (MEURER, 2007), além de comprometer a atividade microbiana no solo e influenciar na disponibilidade de nutrientes essenciais (ERNANI, 2016).

Os nutrientes essenciais são aqueles que, quando há deficiência, a planta tem seu desenvolvimento comprometido. Dezesete elementos são considerados essenciais, e destes, seis elementos são exigidos em maiores quantidades, também conhecidos como macronutrientes: N, P, K, Ca, Mg e S. Tais nutrientes geralmente estão mais disponíveis para as plantas em solos com pH entre 6 e 6,5 (MEURER, 2007).

Para reduzir a toxidez causada pelo Al^{+3} , a calagem é a prática mais comum, pois é fácil e econômica, visto que o calcário é um produto disponível em grandes quantidades na natureza (ERNANI, 2016). Contudo, há outros produtos disponíveis com capacidade para elevar o pH do solo, como resíduos alcalinos de diferentes processos de produção que, por serem subprodutos, têm custo mais baixo que o calcário. O uso desses produtos na agricultura diminuiria, ainda, o potencial poluente dos mesmos.

A serra catarinense se destaca pela produção de maçã e indústrias de papel e celulose (SEBRAE, 2013), dois processos produtivos que, ao final da sua atividade, produzem resíduos com características alcalinas, capazes de corrigir o pH do solo. A produção de maçã gera uma mistura de hidróxido de cálcio ($Ca(OH)_2$) com carbonato de cálcio ($CaCO_3$), um produto heterogêneo conhecido como cal de câmara (BRACKMANN; LUNARDI, 1996). Já as indústrias de papel e celulose produzem vários resíduos durante todo o processo produtivo. Na separação da celulose, através da utilização do processo Kraft, a indústria produz resíduos como o dregs e a lama de cal, ambos apresentam óxidos de cálcio (CaO) na sua composição, tornando-os potenciais corretivos de pH do solo (RODRIGUES et al., 2019).

Para que a aplicação destes resíduos no solo seja feita com a finalidade de correção de pH, é necessário, além de outras informações, saber a velocidade de reação destes materiais, para que a dosagem e a época adequada de aplicação sejam feitas de forma apropriada. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a velocidade de reação de três resíduos alcalinos, subprodutos de atividades industriais ou comerciais.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, no Centro de Ciências Agroveterinárias da UDESC, em 2022-2023. Foram utilizados um Cambissolo Húmico e um Nitossolo Vermelho e quatro corretivos de acidez (calcário dolomítico, cal de câmara, dregs e lama de cal) mais uma testemunha, todos com 3 repetições, totalizando 54 unidades experimentais. O Cambissolo foi coletado em área situada na latitude 27° 47' 0.265'' e longitude 50° 18' 21.020'', e o Nitossolo na latitude 27° 55' 30.626'' e longitude 50° 27' 11.776''

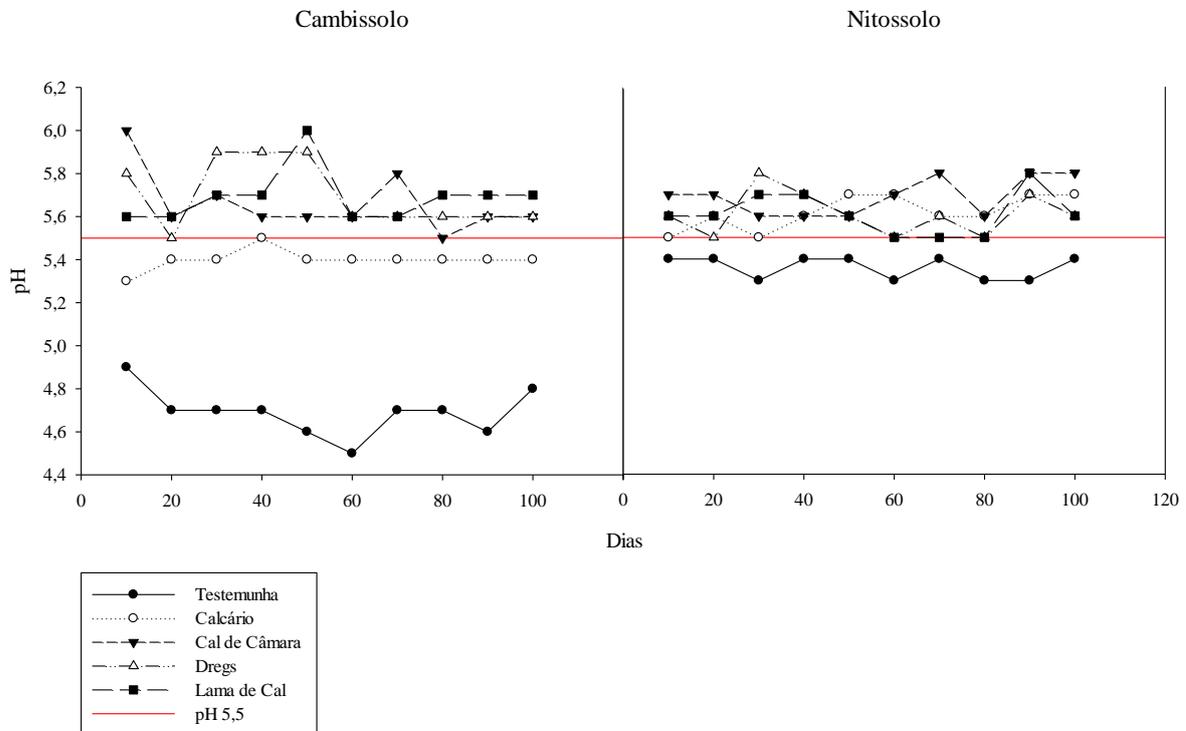
A dose de cada corretivo foi baseada no Poder de Neutralização (PN) de cada um, obtidos de acordo com a metodologia descrita por Tedesco et al. (1995). O valor de pH a ser atingido, 5,5, e 6,5, foi indicada pelo método SMP. Após a determinação das doses, os corretivos de acidez foram manualmente misturados e homogeneizados com as unidades experimentais, formadas por 1,5 kg de solo seco. Após isso, cada unidade experimental foi acondicionada em sacos plásticos, e umedecidos sempre que necessário. As unidades experimentais permaneceram incubadas nessa condição por 100 dias, sendo que a cada 10 dias foram coletadas amostras de solo para determinação do pH. Após a coleta, as amostras foram secas em estufa a 60 °C, durante 3 dias, e posteriormente foram moídas e passadas em peneiras com o diâmetro de 2,0 mm.

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Poder de Neutralização (PN) obtido para os corretivos foi 95,67% para o calcário dolomítico comercial, 106,34% para a cal originada de câmaras frigoríficas, 85,75% para o dregs e 91,06% para a lama de cal. O pH em água inicial do Cambissolo foi de 4,32, e do Nitossolo de 5,05, cujos valores de pH-SMP foram de 4,87 e 5,72, respectivamente.

No Cambissolo, cujos tratamentos pretendiam elevar o pH para 5,5, a estabilização do pH ocorreu a partir de 30 dias para calcário e o dregs, 20 dias para a cal de câmara e 10 dias para lama de cal. No Nitossolo, nos tratamentos para elevar o pH também para 5,5, todos os tratamentos atingiram o pH desejado após 10 dias de incubação, estabilizando próximo de pH 5,6 (Figura 23).

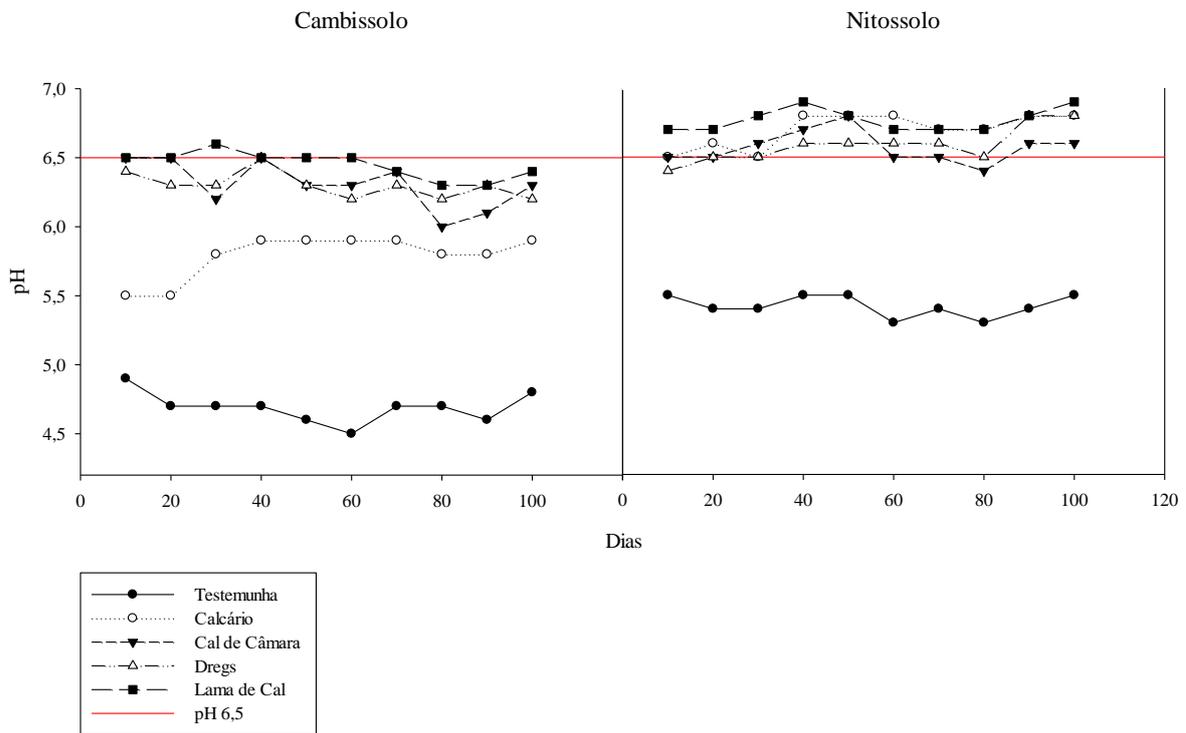
Figura 23 - Valor do pH do solo com as doses de corretivos para atingir $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ 5,5



Fonte: elaborado pela autora (2023)

As unidades experimentais com Cambissolo que visaram a elevação do pH até 6,5, o tratamento que recebeu calcário o pH estabilizou a partir de 30 dias, próximo de 6,0, e nos demais corretivos o pH estabilizou a partir de 10 dias. No Nitossolo, todos os corretivos tiveram o pH estabilizado em 6,5 dez dias após o início da incubação, com exceção do dregs, onde o pH estabilizou após 20 dias (Figura 24).

No Cambissolo que recebeu os corretivos para elevar o pH até 5,5, os produtos alcalinos apresentaram média geral de pH 5,7, seguidos do calcário dolomítico, com média de 5,4. Para o Nitossolo, a média geral de todos os corretivos ficou em torno de 6,0. Para os tratamentos que visaram a elevação do pH até 6,5, no Cambissolo, os produtos alcalinos atingiram média de pH de 6,3 para a cal de câmara e o dregs, e 6,4 para a lama de cal, e o calcário atingiu média geral de 5,8. Nos tratamentos com o Nitossolo, todos os corretivos ficaram próximos ao pH de 6,6 (Tabela 6).

Figura 24 - Valor do pH do solo com as doses de corretivos para atingir $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ 6,5

Fonte: elaborado pela autora (2023).

Tabela 6 - Média geral do pH dos solos com os diferentes corretivos da acidez

Tratamento	pH 5,5		pH 6,5	
	Cambissolo	Nitossolo	Cambissolo	Nitossolo
Testemunha	4,7	5,4	4,7	5,4
Calcário	5,4	6,0	5,8	6,7
Cal de Câmara	5,7	6,1	6,3	6,6
Dregs	5,7	5,9	6,3	6,6
Lama de Cal	5,7	6,0	6,4	6,8

Fonte: elaborado pela autora (2023).

De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS (EMBRAPA, 2018), as características dos Cambissolos variam de acordo com a região em que se encontram, material de origem e condições climáticas. Dessa forma, podem apresentar uma boa drenagem ou não, diferentes profundidades e a saturação por bases varia de baixa a alta. Os Nitossolos, por sua vez, podem apresentar textura argilosa ou muito argilosa, são profundos e bem drenados, e podem ser moderadamente ácidos a ácidos. Tais características podem interferir nas reações de correção do pH do solo.

5.4 CONCLUSÃO

Todos os corretivos da acidez elevaram o pH dos solos até os valores desejados que, de maneira geral, estabilizou entre 10 e 30 dias após a aplicação, independente do solo e do produto utilizado. Verifica-se, portanto, que a correção da acidez do solo é uma reação rápida, desde que os produtos tenham partículas finas.

REFERÊNCIAS

- ABDEL-FATTAH, M. K.; FOUUDA, S.; SCHMIDHALTER, U. Effects of Gypsum Particle Size on Reclaiming Saline-Sodic Soils in Egypt. **Communications In Soil Science And Plant Analysis**, [S.L.], v. 46, n. 9, p. 1112-1122, 16 mar. 2015. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/00103624.2015.1018528>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00103624.2015.1018528>. Acesso em: 21 ago. 2023.
- ABNT. **ABNT NBR 10004**: resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro, 2004
- ABRACAL. Associação Brasileira dos Produtores de Calcário Agrícola. **Calcário Agrícola Brasil**. 2022. Disponível em: <https://abracal.com.br/site/estatisticas/>. Acesso em: 21 ago. 2023.
- ALMEIDA, H. C. et al. Composição química de um resíduo alcalino da indústria de papel e celulose (dregs) **Quim. Nova**, v. 30, n. 7, p. 1669-1672, 2007.
- ALVAREZ, V. H. V. et al. **Fertilidade do solo**. 1. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.
- AMARAL, L. A. et al. Efeito de doses de gesso agrícola na cultura do milho e alterações químicas no solo. **Agrarian**, [S. l.], v. 10, n. 35, p. 31–41, 2017. DOI: 10.30612/agrarian.v10i35.4139. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/agrarian/article/view/4139>. Acesso em: 16 ago. 2023.
- BARTH, E.; MORALES, R. G.; CANTÚ, R. R. Salinidade em cultivo protegido. Florianópolis: Epagri, 2023. 20 p. **Biblioteca(s)**: Epagri-Sede.
- BASSO, C.; NUERNBERG, N. J.; RECH, T. D. Usos do gesso agrícola. **Boletim Técnico**, v. 1, p. 35, 2018. Disponível em: <https://publicacoes.epagri.sc.gov.br/BT/article/view/415>. Acesso em: 14 jul. 2023.
- BISSANI, C. A. et al. **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**. 2º Edição ed. Porto Alegre: Metrópole Indústria Gráfica LTDA, 2008.
- BORKERT, C. M. et al. Considerações sobre o uso de gesso na agricultura. Londrina: EMBRAPA-CNPSO, 1987. 5 p. (EMBRAPA-CNPSO. Comunicado técnico, 40).
- BORTOLANZA, D. R.; KLEIN, V. A. Soil Chemical and Physical Properties on an Inceptisol after Liming (Surface and Incorporated) Associated with Gypsum Application. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 40, p. 1-13, 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/18069657rbcs20150377>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/NKCdB8TVLHmNHL3R88xVBGG/?lang=en#>. Acesso em: 16 ago. 2023.

BRACKMANN, A. et al. Condições de atmosfera controlada para o armazenamento de maçãs 'Royal Gala' de diferentes tamanhos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 5, p. 1049-1053, out. 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/xjJGHXNtxy8GWv3y4G5MZsz/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 23 maio 2023.

BRACKMANN, A.; LUNARDI, R. Influência de métodos de manutenção do nível de CO₂ na qualidade de maçãs fuji em atmosfera controlada. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 2, n. 3, p. 171-174, 1996.

BRASIL, Decreto Nº 4.954 de 14 de janeiro de 2004 – aprova o Regulamento da Lei nº 6.894 de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes, destinados à agricultura, e dá outras providências.

BRASIL, Decreto Nº 8.384 de 29 de dezembro de 2014 – altera o Anexo ao Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004, que aprova o Regulamento da Lei nº 6.894 de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes, destinados à agricultura, e dá outras providências.

BRASIL, Lei Nº 6.894 de 16 de dezembro de 1980 – dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes, destinados à agricultura, e dá outras providências.

BRASIL, Lei Nº 12.305 de 02 de agosto de 2010 - Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).

BRASIL Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Instrução Normativa SDA nº 35, de 4 de julho de 2006, sobre especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos corretivos de acidez, de alcalinidade, de sodicidade e dos condicionares de solo, destinados à agricultura.

BURUBERRI, L. H.; SEABRA, M. P.; LABRINCHA, J. A. Preparation of clinker from paper pulp industry wastes. **Journal Of Hazardous Materials**, [S.L.], v. 286, p. 252-260, abr. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.12.053>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389414010371>. Acesso em: 11 ago. 2023.

CAIRES, E. F. et al. Effects of soil acidity amelioration by surface liming on no-till corn, soybean, and wheat root growth and yield. **European Journal Of Agronomy**, Ponta Grossa, v. 28, n. 1, p. 57-64, jan. 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2007.05.002>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1161030107000524?via%3Dihub>. Acesso em: 14 jul. 2023.

CAMARGOS, S. L. **Acidez do solo e calagem** (reação do solo). Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2005. 26 p.

COMISSÃO DE QUÍMICA FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. **Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 11.ed. Porto Alegre: SBCS – Núcleo Regional Sul, 2016. 376p.

DNPM. Sumário Mineral 2016. Departamento Nacional de Produção Mineral. Brasília, p.141. 2018.

DOS SANTOS, D. R. et al. Long-term effect of surface and incorporated liming in the conversion of natural grassland to no-till system for grain production in a highly acidic sandy-loam Ultisol from South Brazilian Campos. **Soil and Tillage Research**, v. 180, p. 222–231, 1 ago. 2018.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Maçã: O produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF: Embrapa, 2013

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5.ed. Brasília, 2018. 355p.

Epagri. Secretaria de Agricultura. **Mapeamento por satélite da Epagri confirma: SC é o maior produtor de maçã do Brasil**. 2022. Disponível em: <https://www.epagri.sc.gov.br/index.php/2022/04/27/mapeamento-por-satelite-da-epagri-confirma-sc-e-o-maior-produtor-de-maca-do-brasil/>. Acesso em: 23 ago. 2023.

ERNANI, P. R., RIBEIRO, M. S., BAYER, C. Modificações químicas em solos ácidos ocasionadas pelo método de aplicação de corretivos da acidez e de gesso agrícola. **Scientia Agricola**, [s. l], v. 58, n. 4, p. 825-831, dez. 2001.

ERNANI, P. R. **Química do solo e disponibilidade de nutrientes**. 2. ed. Lages: O autor, 2016.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. Online data FAOSTAT. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/FO>. Acesso em: mar. 2023. FAO, 2023.

GOULDING, K. W. T. Soil acidification and the importance of liming agricultural soils with particular reference to the United Kingdom. **Soil Use And Management**, [S.L.], v. 32, n. 3, p. 390-399, 24 jun. 2016. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/sum.12270>. Disponível em: 10.1111/sum.12270. Acesso em: 14 jul. 2023.

HANISCH, A. L., FONSECA, J. A. Potencial de uso agrícola de resíduos das indústrias de papel e celulose no Planalto Norte Catarinense: resultados de 20 anos de pesquisa da Epagri – Estação Experimental de Canoinhas. **Boletim Técnico**, Florianópolis, v. 1, p. 29, 2022.

HIRZEL, J. et al. Soil chemical properties and wheat production in three Andisol with applications of materials from the cellulose industry. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 45, p. 1-14, mar. 2021. Revista Brasileira de Ciência do Solo. <http://dx.doi.org/10.36783/18069657rbcS20200193>.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção de maçã**. 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/maca/sc>. Acesso em: 23 ago. 2023.

JONES, J. D.; MALLARINO, A. P. Influence of Source and Particle Size on Agricultural Limestone Efficiency at Increasing Soil pH. **Soil Science Society Of America Journal**, [S.L.], v. 82, n. 1, p. 271-282, jan. 2018. Wiley. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj2017.06.0207>. Disponível em: <https://acess.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2136/sssaj2017.06.0207>. Acesso em: 12 jun. 2023.

KURIHARA, C. H. et al. Influência de Gesso Agrícola na Reatividade de Diferentes Frações Granulométricas de Calcário no Solo. **Boletim Técnico**. p. 35, 2017 Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1080570/1/Boletimdepesquisa.pdf>. Acesso em: 16 ago. 2023.

LANGE, A. et al. Incubação de calcário finamente moído e características químicas do solo sob cultivo de soja e milho. **Nativa**, Matupá, v. 10, n. 4, p. 585-594, 20 dez. 2022. *Nativa*. <http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v10i4.14146>. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/14146/11728>. Acesso em: 14 jul. 2023.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: nutrição de plantas e fertilidade do solo**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres Ltda, 1976. 528 p.

MCINTYRE, Ds. Exchangeable sodium, subplasticity and hydraulic conductivity of some Australian soils. **Soil Research**, [S.L.], v. 17, n. 1, p. 115, 1979. CSIRO Publishing. <http://dx.doi.org/10.1071/sr9790115>. Disponível em: <https://www.publish.csiro.au/SR/SR9790115>. Acesso em: 12 jun. 2023.

MEDEIROS, J. C. et al. Resíduo alcalino da indústria de celulose na correção da acidez de um Cambissolo Húmico alumínico. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 12, n. 1, p. 78-87, 2013.

MEURER, E. J. **Fertilidade do Solo**. 1. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.

MODOLO, R. C. et al. Lime mud from cellulose industry as raw material in cement mortars. **Materiales de Construcción**, [S.L.], v. 64, n. 316, 14 out. 2014. Editorial CSIC. <http://dx.doi.org/10.3989/mc.2014.00214>. Disponível em: <https://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/view/1632/1967>. Acesso em: 11 ago. 2023.

MORAES, F. A. et al. Lime incorporation up to 40 cm deep increases root growth and crop yield in highly weathered tropical soils. **European Journal Of Agronomy**, [S.L.], v. 144, n. 1, p. 1-14, mar. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2023.126763>.

Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S116103012300031X>. Acesso em: 24 ago. 2023.

MYMRIN, V. et al. Efficient application of cellulose pulp and paper production wastes to produce sustainable construction materials. **Construction And Building Materials**, [S.L.], v. 263, p. 120604, dez. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120604>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095006182032609X>. Acesso em: 12 jun. 2023.

NOVAIS, R. M. et al. Upcycling unexplored dregs and biomass fly ash from the paper and pulp industry in the production of eco-friendly geopolymer mortars: a preliminary assessment. **Construction And Building Materials**, [S.L.], v. 184, p. 464-472, set. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.07.017>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061818316726>. Acesso em: 11 ago. 2023.

NUNES, M. R. *et al.* Lime movement through highly weathered soil profiles. **Environmental Research Communications**, [S.L.], v. 1, n. 11, p. 115002, 29 out. 2019. IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/2515-7620/ab4eba>. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2515-7620/ab4eba>. Acesso em: 16 ago. 2023.

PARAHYBA, R. E. Calcário Agrícola. In: DNPM **Economia Mineral do Brasil - 2009**. Brasília: Departamento Nacional de Produção Mineral, 2009. p. 536- 545.

RODRIGUES, L. R. *et al.* Resíduo do processo Kraft (dregs) como matéria-prima alternativa para cerâmica vermelha. **Cerâmica**, v. 65, n. 373, p. 162-169, jan. 2019. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0366-69132019653732431>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ce/a/3NTXS3csxKY3scDhHfKVJ7B/?lang=pt#>. Acesso em: 03 abr. 2023.

SANTOS, D. R. *et al.* Long-term effect of surface and incorporated liming in the conversion of natural grassland to no-till system for grain production in a highly acidic sandy-loam Ultisol from South Brazilian Campos. **Soil And Tillage Research**, [S.L.], v. 180, p. 222-231, ago. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2018.03.014>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198718302368?via%3Dihub>. Acesso em: 24 ago. 2023.

SEBRAE. **Santa Catarina em Números: Macrorregião Serra Catarinense**. Florianópolis: SEBRAE/SC, 2013. Disponível em: <https://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/Anexos/Macrorregiao%20-%20Serra%20Catarinense.pdf>. Acesso em 31 jan. 2022.

SIMONETE, M. A. et al. Fornecimento de cálcio para plantas de *Eucalyptus saligna* por meio de aplicação de resíduo industrial lama de cal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 37, n. 5, p. 1342-1351. 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/ZJgJCxXqJbRDNTnp9KxKQcp/?lang=pt#>. Acesso em 1 fev. 2022.

SOUSA, D. M. G. et al. **Fertilidade do Solo**. 1. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.

TEDESCO, M. J. et al. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.

THEWES, F. R. et al. Dynamic controlled atmosphere based on carbon dioxide production (DCA – CD): Lower oxygen limit establishment, metabolism and overall quality of apples after long-term storage. **Postharvest Biology and Technology**, v. 168, 1 out. 2020.

THEWES, F. R. **Métodos de atmosfera controlada dinâmica x 1-MCO: metabolismo e qualidade de maçãs armazenadas**. 2019. 241 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2019.

TIECHER, T. et al. **Química do solo**. Santa Maria: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2023. 320 p.

TRAN, H.; VAKKILAINNEN, E. K. The Kraft chemical recovery process. **Research Gate**, Toronto, fev. 2016. Disponível em: file:///C:/Users/Usu%C3%A1rio/Desktop/THE_KRAFT_CHEMICAL_RECOVERY_PROCESS.pdf. Acesso em: 03 abr. 2023.

VASCONCELOS, R. R. A. de et al. Características físicas de solos salino-sódicos do semiárido pernambucano em função de diferentes níveis de gesso. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.L.], v. 17, n. 12, p. 1318-1325, dez. 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1415-43662013001200010>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/5qrHyTXP8FxxthtLzYrcpJs/?lang=pt#>. Acesso em: 20 nov. 2023.

VITTI, G. C. et al. **Nutrição Mineral de Plantas**. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006.