

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

RAFAELA BEZERRA DE ARAÚJO

AGREGAÇÃO DO SOLO SOB EFEITO DA REAPLICAÇÃO DOS
CORRETIVOS DA ACIDEZ DO SOLO E DO GESSO AGRÍCOLA EM PLANTIO
DIRETO

CURITIBA

2022

RAFAELA BEZERRA DE ARAÚJO

AGREGAÇÃO DO SOLO SOB EFEITO DA REAPLICAÇÃO DOS
CORRETIVOS DA ACIDEZ DO SOLO E DO GESSO AGRÍCOLA EM PLANTIO
DIRETO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Paraná como um dos requisitos parciais à obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo. Área de concentração: Solo e Ambiente. Linha de pesquisa: Qualidade, manejo e conservação do solo.

Orientador: Prof. Dr. André Carlos Auler

Co-orientador: Dr. Gabriel Barth

CURITIBA

2022

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

Araújo, Rafaela Bezerra de

Agregação do solo sob efeito da reaplicação dos corretivos da acidez do solo e do gesso agrícola em plantio direto/ Rafaela Bezerra de Araújo. – Curitiba, 2022.

1 recurso online: PDF.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dr. André Carlos Auler

Coorientador: Dr. Gabriel Barth

1. Solos ácidos. 2. Solos - Estrutura. 3. Solos - Manejo. I. Auler, André Carlos. II. Barth, Gabriel. III. Universidade Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. IV. Título.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO CIÊNCIA DO SOLO -
40001016014P4

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação CIÊNCIA DO SOLO da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **RAFAELA BEZERRA DE ARAÚJO** intitulada: **AGREGAÇÃO DO SOLO SOB OS EFEITOS DA REAPLICAÇÃO DE CORRETIVOS DA ACIDEZ E DE GESSO AGRÍCOLA EM PLANTIO DIRETO**, sob orientação do Prof. Dr. ANDRÉ CARLOS AULER, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestra está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 07 de Abril de 2022.

Assinatura Eletrônica

07/04/2022 17:57:40.0

ANDRÉ CARLOS AULER

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

07/04/2022 23:04:57.0

GLACIELA KASCHUK

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

07/04/2022 17:56:59.0

BRUNO MONTANO SILVA

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS)

Rua dos Funcionários, 1540 - CURITIBA - Paraná - Brasil

CEP 80035-050 - Tel: (41) 3350-5648 - E-mail: pgcisol@ufpr.br

Documento assinado eletronicamente de acordo com o disposto na legislação federal Decreto 8539 de 08 de outubro de 2015.

Gerado e autenticado pelo SIGA-UFPR, com a seguinte identificação única: 172824

Para autenticar este documento/assinatura, acesse <https://www.prppg.ufpr.br/siga/visitante/autenticacaoassinaturas.jsp> e insira o código 172824

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida e por me conceder a oportunidade de conhecer e estar com pessoas distintas, onde recebi carinho e apoio nesta caminhada, de forma direta e indiretamente.

Agradeço a Universidade Federal do Paraná, em fazer parte dessa honrosa instituição. Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo (PGCS) agradeço a todos os professores, técnicos e funcionários, em especial à Denise, amiga, anjo e secretária do PGCS.

Agradeço ao meu orientador Prof Dr. André Carlos Auler pela oportunidade em partilhar seu entusiasmo e conhecimento para comigo. Agradeço imensamente por tudo.

A banca avaliadora, Prof. Dr. Bruno Montoani e Prof. Dr^a Glaciela que prontamente aceitarem em participar e contribuir ao estudo e para meu crescimento.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior pela concessão da bolsa de estudos. A Fundação Agrisus pelo apoio financeiro no projeto que deu origem a pesquisa e ao polo Experimental da Fundação ABC – Ponta Grossa/PR pelo espaço concedido para realização do estudo.

Muito obrigada!

There is hope, should oceans rise, and mountains fall, he will never fail!

Salm. 46:2

“Com muita devoção, a Deus. Com muito amor, aos meus preciosos pais Antônio e Lúcia. Com companheirismo e fraternidade, a minha irmã Emanuela e meu amigo Khalil de Menezes. Com muito carinho, aos meus amigos Michael Henriques e Luana e a todos os meus professores e colegas do CCAA – UFMA.

E com muitas saudades, ao meu amado avô Leônidas Cerqueira (in memoriam)”.

DEDICO

RESUMO

A acidez do solo tem como seu principal fator a limitação no desenvolvimento de plantas na produção agrícola em diversos setores do mundo. O objetivo geral deste estudo foi avaliar a reaplicação de corretivos de acidez do solo, calcário de rocha moída (CRM), silicato de rocha moída (SRM) e calcário calcinado (CC), associados ou não ao gesso agrícola (GA) sobre agregação do solo em sistema de plantio direto (SPD). O presente estudo foi conduzido na área experimental no Campo Demonstrativo Experimental (CDE) da Fundação ABC, na cidade de Ponta Grossa-PR, sobre um LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico de textura argilo-arenosa. Os tratamentos foram os três corretivos da acidez do solo CRM ($4,8 \text{ Mg ha}^{-1}$), SRM ($15,4 \text{ Mg ha}^{-1}$) e CC ($3,4 \text{ Mg ha}^{-1}$) mais um tratamento controle (sem correção da acidez), associados ou não ao gesso agrícola (GA) ($3,0 \text{ Mg ha}^{-1}$). Foram coletadas amostras indeformadas de solo em maio de 2021 (i) monólitos, nas camadas 0 – 0,05; 0,05 – 0,10 e 0,10 – 0,20 m, para avaliação da agregação e da estabilidade de agregados. As amostras deformadas foram coletadas nas camadas 0 – 0,05; 0,05 – 0,10; 0,10 – 0,20; 0,20 – 0,40 e 0,40 – 0,60 m, para determinação dos componentes da acidez do solo (pH, H+Al e Al^{3+}), cátions básicos trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^{+}) e teores de carbono lábil (COX-P) e orgânico (CO). O efeito da reaplicação dos corretivos da acidez foi mais eficaz, aumentando o conteúdo de carbono “lábil” no solo considerando uma de 0 – 0,20 m. Na camada de 0-0,05 m, os teores de carbono “lábil” mantiveram-se estáveis. Os calcários quando aplicados isoladamente aumentaram a disponibilidade de carbono orgânico no solo. A reaplicação dos corretivos da acidez e do gesso agrícola resultou na redução da classe de microagregados. As classes de MAgg grandes, médios e pequenos correlacionaram-se com a acidez trocável (Al^{3+}) do solo. Por outro lado, os microagregados correlacionaram-se com a acidez ativa (pH), potencial (H+Al) e com Mg^{2+} . Os corretivos aumentaram o DMP e MAgg grandes na camada de 0 – 0,05 m. O efeito da reaplicação dos corretivos e do gesso agrícola sobre a acidez do solo será mais evidente a um maior longo prazo de aplicação, necessitando de posteriores avaliações. A combinação do calcário de rocha moída e calcário calcinado com o gesso agrícola, promoveu melhor correção do pH (acidez ativa) em superfície (0 – 0,20 m). Além de apresentar efeito positivo (Sem ou Com gesso) de gesso na disponibilidade de Ca^{2+} na superfície. As classes de agregados estão fortemente ligadas aos componentes químicos do solo e dos cátions e ao carbono orgânico do solo. A classe MAgg grandes (macroagregados) aumenta conforme a aplicação dos corretivos da acidez sem aplicação de gesso agrícola.

Palavras-chaves: Solos ácidos, Manejo químico, Estabilidade, Estrutura do solo.

ABSTRACT

The soil acidity has as its main factor the limitation in plant development in agricultural production in several sectors of the world. The general objective of this study was to evaluate the reapplication of soil acidity correctives, ground rock limestone (CRM), ground rock silicate (SRM) and calcined limestone (CC), associated or not with agricultural gypsum (GA) on soil aggregation in no-till farming system (SPD). The present study was conducted in the experimental area of the ABC Foundation Experimental Demonstration Field (EDC), in the city of Ponta Grossa-PR, LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico de textura argilo-arenosa. The treatments were the three soil acidity correctors CRM ($4,8 \text{ Mg ha}^{-1}$), SRM ($15,4 \text{ Mg ha}^{-1}$) and CC ($3,4 \text{ Mg ha}^{-1}$) plus a control treatment (no acidity correction), associated or not with agricultural gypsum (GA) ($3,0 \text{ Mg ha}^{-1}$). Unformed soil samples were collected in May 2021 (i) monoliths, in the layers 0 – 0,05; 0,05 – 0,10 and 0,10 – 0,20 m, for evaluation of aggregation and aggregate stability. Deformed samples were collected in layers 0 – 0,05; 0,05 – 0,10; 0,10 – 0,20; 0,20 – 0,40 and 0,40 – 0,60 m for determination of soil acidity components (pH, H^+Al and Al^{3+}), basic exchangeable cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} and K^+) and labile carbon (COX-P) and organic carbon (CO) contents. The effect of reapplication of acidity correctives was more effective, increasing labile carbon content in the soil considering a 0 – 0,20 m layer. In the 0 – 0,05 m layer, labile carbon contents remained stable. The limestones when applied alone increased the availability of organic carbon in the soil. The reapplication of the acidity correctives and agricultural gypsum resulted in the reduction of the microaggregates class. The large, medium and small MAgg classes correlated with exchangeable acidity (Al^{3+}) of the soil. On the other hand, microaggregates correlated with active acidity (pH), potential (H^+Al) and with Mg^{2+} . The correctives increased DMP and large MAgg in the 0 – 0,05 m layer. The effect of reapplication of the correctives and agricultural gypsum on soil acidity will be more evident at longer term of application, requiring further evaluation. The combination of ground rock limestone and calcined limestone with gypsum promoted better pH correction (active acidity) on the surface (0 – 0,20 m). Besides showing a positive effect (without or with gypsum) of gypsum on Ca^{2+} availability at the surface. Aggregate classes are strongly linked to soil chemical components and cations and soil organic carbon. The large MAgg class (macroaggregates) increases according to the application of acidity correctives without gypsum application.

Keywords: Acid soils, Chemical management, Stability, Soil structure.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – CROQUI DO EXPERIMENTO INSTALADO NO LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO DISTRÓFICO. T1 – SEM CORREÇÃO DA ACIDEZ E SEM GESSO AGRÍCOLA (GA); T2 – GA; T3 – CALCÁRIO DE ROCHA MOÍDA (CRM); T4 – CRM ASSOCIADO AO GA; T5 – SILICATO DE ROCHA MOÍDA (SRM); T6 – SRM ASSOCIADO AO GA; T7 – CALCÁRIO CALCINADO (CC); T8 – CC ASSOCIADO AO GA.	21
FIGURA 2 – CARACTERIZAÇÃO DA COLETA DOS MONÓLITOS DE SOLO PARA ESTABILIDADE DE AGREGADOS: (A) ABERTURA DE UMA MINI TRICHEIRA; (B) MONÓLITO COLETADO NA CAMADA DE 0 – 0,05 M; (C) ARMAZENAGEM DOS MONÓLITOS EM PLÁSTICOS FILMES PRESERVANDO A UMIDADE.	24
FIGURA 3 – DETALHES DA COLETA DAS AMOSTRAS EM PLÁSTICOS FILMES MANTENDO A PRESERVAÇÃO ESTRUTURAL E UMIDADE.....	24
FIGURA 3 – DETALHES DA COLETA DAS AMOSTRAS DEFORMADAS E INDEFORMADAS: (A) ANEL VOLUMÉTRICO PARCIALMENTE INTRODUIDO NA CAMADA DE 0 – 0,05 M; (B) E (C) RETIRADA DA AMOSTRA DE SOLO NO ANEL VOLUMÉTRICO; (D, E) LIMPEZA PARCIAL DA AMOSTRA.....	25
FIGURA 4 – DETALHES DA ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE AGREGADOS: (A) MONOLÍTOS PREVIAMENTE EMBALADOS EM FILME (B) AGREGADOS EM SATURAÇÃO EM PENEIRA DE 8 mm; (C) DISPOSIÇÃO DAS PENEIRAS E DO APARELHO YODER; (D) CLASSES DE AGREGADOS RETIDOS EM PENEIRAS DE 8, 2, 1 E 0,053 mm.FIGURA 3 – DETALHES DA COLETA DAS AMOSTRAS DEFORMADAS E INDEFORMADAS: (A) ANEL VOLUMÉTRICO PARCIALMENTE INTRODUIDO NA CAMADA DE 0 – 0,05 M; (B) E (C) RETIRADA DA AMOSTRA DE SOLO NO ANEL VOLUMÉTRICO; (D, E) LIMPEZA PARCIAL DA AMOSTRA.....	25
FIGURA 4 – DETALHES DA ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE AGREGADOS: (A) MONOLÍTOS PREVIAMENTE EMBALADOS EM FILME (B) AGREGADOS EM SATURAÇÃO EM PENEIRA DE 8 mm; (C) DISPOSIÇÃO DAS PENEIRAS E DO APARELHO YODER; (D) CLASSES DE AGREGADOS RETIDOS EM PENEIRAS DE 8, 2, 1 E 0,053 mm.	27
FIGURA 5 – DETALHES DOS PROCESSOS DE ESTABILIDADE DE AGREGADOS DESDE A DESAGREGAÇÃO DO MONÓLITO DE SOLO A SEPARAÇÃO DAS DIFERENTES CLASSES DE AGREGADOS PROPOSTAS PELAS METODOLOGIAS APLICADAS.FIGURA 4 – DETALHES DA ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE	

AGREGADOS: (A) MONOLÍTOS PREVIAMENTE EMBALADOS EM FILME (B) AGREGADOS EM SATURAÇÃO EM PENEIRA DE 8 mm; (C) DISPOSIÇÃO DAS PENEIRAS E DO APARELHO YODER; (D) CLASSES DE AGREGADOS RETIDOS EM PENEIRAS DE 8, 2, 1 E 0,053 mm.....	27
FIGURA 5 – DETALHES DOS PROCESSOS DE ESTABILIDADE DE AGREGADOS DESDE A DESAGREGAÇÃO DO MONÓLITO DE SOLO A SEPARAÇÃO DAS DIFERENTES CLASSES DE AGREGADOS PROPOSTAS PELAS METODOLOGIAS APLICADAS.	28

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – CONTEÚDO DE CARBONO ORGÂNICO “LÁBIL” DO SOLO (G KG^{-1}), OXIDADO POR PERMANGANATO DE POTÁSSIO, EM FUNÇÃO DA REAPLICAÇÃO DE CORRETIVOS DA ACIDEZ [CONTROLE (Δ), CALCÁRIO DE ROCHA MOÍDA ($\diamond$), CALCÁRIO CALCINADO ($\circ$) E ESCÓRIA DE SIDERURGIA ($\square$)] (A) E DE GESSO AGRÍCOLA [SEM ($\blacktriangle$) E COM ($\blacklozenge$)] (B). ^{NS} NÃO SIGNIFICATIVO AO TESTE F ($P < 0,05$).....	37
GRÁFICO 2 – PROPORÇÃO DE MACROAGREGADOS GRANDES ($\text{MA}_{\text{agg}} \text{ GRANDES}$: 8–9 mm), MÉDIOS ($\text{MA}_{\text{agg}} \text{ MÉDIOS}$: 2–8 mm) E PEQUENOS ($\text{MA}_{\text{agg}} \text{ PEQUENOS}$: 0,25–2 mm) E MICROAGREGADOS (0,053 – 0,25 mm) DAS CAMADAS DE 0–0,05 (A), 0,05–0,10 (B) E 0,10–0,20 M (C) AOS 12 MESES APÓS APLICAÇÃO DOS CORRETIVOS DA ACIDEZ DO SOLO.	42
GRÁFICO 3 – PROPORÇÃO DE MACROAGREGADOS GRANDES ($\text{MA}_{\text{agg}} \text{ GRANDES}$: 8–9 mm), MÉDIOS ($\text{MA}_{\text{agg}} \text{ MÉDIOS}$: 2–8 mm) E PEQUENOS ($\text{MA}_{\text{agg}} \text{ PEQUENOS}$: 0,252 mm) E MICROAGREGADOS (0,05–0,25 mm) DAS CAMADAS DE 0–0,05 (A), 0,05–0,10 (B) E 0,10–0,20 m (C) AOS 12 MESES APÓS APLICAÇÃO DE GESSO AGRÍCOLA.	43

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO PRÉVIOS E APÓS A REAPLICAÇÃO DOS TRATAMENTOS (MAIO DE 2020/2021).....	20
TABELA 2 – TRATAMENTOS E DOSES QUE FORAM UTILIZADOS NO EXPERIMENTO.	22
TABELA 3 – CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DOS CORRETIVOS DA ACIDEZ DO SOLO E DO GESSO AGRÍCOLA.	23
TABELA 4 – INTERAÇÕES E EFEITOS ISOLADOS DA REAPLICAÇÃO (APÓS 12 MESES) DE CORRETIVOS DA ACIDEZ ASSOCIADOS AO GESSO AGRÍCOLA (SEM E COM) SOBRE OS COMPONENTES DA ACIDEZ [ACIDEZ ATIVA (pH EM CaCl_2), ACIDEZ POTENCIAL (H^+/Al) E ACIDEZ TROCÁVEL (Al^{3+})] EM CAMADAS DE SOLO.	32
TABELA 5 – INTERAÇÕES E EFEITOS ISOLADOS DA REAPLICAÇÃO (APÓS 12 MESES) DE CORRETIVOS DA ACIDEZ ASSOCIADOS OU NÃO AO GESSO AGRÍCOLA (Sem E Com) SOBRE OS TEORES DE CÁTIONS BÁSICOS TROCÁVEIS [CÁLCIO (Ca^{2+}), MAGNÉSIO (Mg^{2+}) E POTÁSSIO (K^+)] EM CAMADAS DE SOLO.	35
TABELA 6 – INTERAÇÕES E EFEITOS ISOLADOS DA REAPLICAÇÃO (APÓS 12 MESES) DE CORRETIVOS DA ACIDEZ ASSOCIADOS AO GESSO AGRÍCOLA (SEM E COM) SOBRE OS TEORES CARBONO ORGÂNICO EM CAMADAS DE SOLO	38
TABELA 7 – INTERAÇÃO E EFEITOS ISOLADOS DA REAPLICAÇÃO (12 MESES APÓS APLICAÇÃO) DE CORRETIVOS DA ACIDEZ E DE GESSO AGRÍCOLA (SEM E COM) SOBRE O DIÂMETRO MÉDIO PONDERADO DOS AGREGADOS (DMP, mm) EM CAMADAS DE SOLO.	39
TABELA 8 – CORRELAÇÕES LINEARES (PEARSON) ENTRE OS COMPONENTES QUÍMICOS DO SOLO RELACIONADOS COM A AGREGAÇÃO E ESTABILIDADE DE AGREGADOS DO SOLO APÓS DA REAPLICAÇÃO (12 MESES APÓS APLICAÇÃO) DOS CORRETIVOS DA ACIDEZ E DO GESSO AGRÍCOLA.	40

LISTA DE ABREVIATURAS

SiBCS – Sistema Brasileiro de Classificação do Solo

LVA_d – LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO distrófico

CDE – Campo Demonstrativo Experimental

RE – Reatividade

PN – Poder neutralizante

PRNT – Poder relativo de neutralização total

CaO – Óxido de cálcio

MgO – Óxido de magnésio

CRM – Calcário de rocha moída

CC – Calcário calcinado

SRM – Silicato de rocha moída

GA – Gesso agrícola

DMP – Diâmetro médio ponderado

MA_{agg} – Macroagregados

C-OXP – Carbono por permanganato de potássio

CO – Carbono orgânico

ANOVA – Análise de variância

GL – Graus de liberdade

QM – Quadrado médio do resíduo

p – Probabilidade

CV (%) – Coeficiente de variação

LISTA DE SIGLAS

($p < 0,05$) – Probabilidade ao teste F

(*) – Efeito isolado significativo ao teste F

(**) – Interação significativa

(B_0) – Homocedasticidade de Bartlett

(W) – Normalidade de Shapiro-Wilk

mg – miligrama

g kg⁻¹ – grama por kilograma

mm – milímetros

^{ns} – não significativo

LISTA DE SÍMBOLOS

(Δ) – Tratamento controle

(◇) – Calcário de rocha moída

(○) – Calcário calcinado

(□) – Silicato de rocha moída

(▲) – Sem gesso agrícola

(◆) – Com gesso agrícola

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	HIPÓTESE.....	18
1.2	OBJETIVO GERAL	18
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	19
2.1	ÁREA EXPERIMENTAL	19
2.2	TRATAMENTOS E DESING EXPERIMENTAL	21
2.3	COMPOSIÇÃO DOS CORRETIVOS DA ACIDEZ E DO GESSO AGRÍCOLA 22	
2.4	AMOSTRAGEM DE SOLO	23
2.5	ANÁLISES LABORATORIAIS	25
2.5.1	ANÁLISE GRANULOMÉTRICA	25
2.5.2	AGREGAÇÃO E ESTABILIDADE DE AGREGADOS EM ÁGUA.....	26
2.5.3	ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO	28
2.5.4	ANÁLISES ESTATÍSTICAS	30
3	RESULTADOS	31
3.1	COMPONENTES DA ACIDEZ DO SOLO	31
3.2	CÁTIONS BÁSICOS TROCÁVEIS DO SOLO	33
3.3	CARBONO ORGÂNICO E “LÁBIL” SOLO.....	36
3.4	AGREGAÇÃO E ESTABILIDADE DE AGREGADOS EM ÁGUA	39
4	DISCUSSÃO	45
4.1	EFEITO DA REAPLICAÇÃO DOS CORRETIVOS DA ACIDEZ E GESSO AGRÍCOLA NOS COMPONENTES DA ACIDEZ E CÁTIONS BÁSICOS TROCÁVEIS DO SOLO.....	45
4.2	EFEITO DA REAPLICAÇÃO DOS CORRETIVOS DA ACIDEZ E GESSO AGRÍCOLA SOBRE OS TEORES DE CARBONO ORGÂNICO E “LÁBIL” DO SOLO 48	
4.3	EFEITO DA REAPLICAÇÃO DOS CORRETIVOS DA ACIDEZ E GESSO AGRÍCOLA SOBRE AGREGAÇÃO E ESTABILIDADE DE AGREGADOS	49
5	CONCLUSÃO.....	52
6	REFERÊNCIAS	53
7	APÊNDICE	60

1 INTRODUÇÃO

O cenário mundial de áreas afetadas pela acidez chega aproximadamente a 4 bilhões de ha, indicando $\pm 30\%$ de terras sendo cultivadas em todo o mundo (SUMNER & NOBLE, 2003). De acordo com QUAGGIO (2000) cerca de 70% dos solos brasileiros são ácidos, solos tropicais e subtropicais. O processo de acidez do solo é decorrente da presença de (H^+) livres, gerados por componentes ácidos presentes no solo, oriundos de ácidos orgânicos, fertilizantes nitrogenados. A acidez do solo limita a produção agrícola em consideráveis áreas do mundo, todavia, os problemas gerados pela acidez do solo são comumente corrigidos pela aplicação de calcários (CAIRES & JORIS, 2016). No entanto, decorrentes por ações antrópicas e uma intensiva mobilização, apresentam problemas com acidez do solo. Considerando, que cerca de 75% das áreas agricultáveis no Brasil, possuem um pH ($CaCl_2$) em torno de 3,8 e 5,5. Considerando, que a maioria destes solos são de regiões tropicais e subtropicais, que apresentam grande proporção em sua mineralogia em óxidos de ferro e alumínio, e argilas do tipo 1:1 (ABREU et al., 2003; BORTOLUZZI et al., 2015).

A calagem é um método alternativo, que se tornou eficaz no processo de mitigação da acidez do solo. Os calcários representam a quase totalidade de corretivos de acidez utilizados na agricultura. São obtidos pela simples moagem de rochas calcárias, ocorrendo em grande abundância de jazidas bem distribuídas no Brasil. Os constituintes neutralizantes dos calcários são, carbonato de cálcio ($CaCO_3$) e carbonato de magnésio ($MgCO_3$). O corretivo mais utilizado na agricultura para corrigir o pH é o calcário, no entanto, há também outros produtos alternativos que podem ser utilizados como corretivos, como calcário calcinado e silicatos de cálcio e magnésio (DEUS et al., 2020). Estes corretivos da acidez diferem entre si pela natureza química dos seus constituintes neutralizantes, responsáveis por definir o modo como ocorrerá a neutralização.

Para aquisição do calcário calcinado (CC) é realizado o processo de calcinação parcial do calcário de rocha moída (CRM), por meios de altas temperaturas, que o tornam mais reativo. No que lhe concerne, os silicatos de cálcio ($CaSiO_3$) e magnésio ($MgSiO_3$) são provenientes de rochas ou como subproduto obtido de indústrias de ferro e aço. A sua composição é bem distinta dos calcários, na qual

os seus constituintes estão associados aos compostos de Fe, Al e Mn. Porém, os calcários possuem uma reação mais lenta no solo, onde sua reação fica mais centralizada em camadas superficiais, dificultando uma reação mais eficaz da acidez em camadas mais profundas (PRADO et al., 2001; ALCARDE & RODELLA, 2003; NOLLA et al., 2010; RHEINHEIMER et al., 2018).

De acordo com RIBEIRO et al. (1986) os silicatos apresentam propriedade corretiva similar à do calcário sobre a correção do pH do solo. DEUS & BÜLL (2013) relatam que as melhorias nas propriedades químicas do solo pelo uso e aplicação de silicato de rocha moída decorrem sobre a ação neutralizante do silicato (SiO_3^{2-}), reagindo com a água onde irá liberar íons de OH^- , havendo a neutralização dos íons de H^+ e o Al^{3+} fitotóxico, assim corrigindo o pH do solo. O silicato de rocha moída apresenta resultados positivos na correção da acidez do solo e na redução do impacto ambiental em torno das indústrias produtoras de ferro e aço (NATALE, 2001; PRADO et al., 2003; 2004).

As características dos calcários são bem distintas, desde a sua composição e sua dinâmica no solo. Onde, aplicação em superfície dos calcários da têm sido eficazes na correção da acidez do solo, tornando-se mais consolidada principalmente em áreas sobre sistema de plantio direto. Todavia, este processo possibilita um cenário controverso ao longo do tempo, que coincide no processo de reacidificação, levando esta condição para camadas mais profundas do solo (Caires et al. 2009). Porém, considerando o efeito do tempo em sistemas de plantio direto consolidados, este processo de reacidificação, promove uma frente alcalinizante que possibilita o tamponamento do pH do solo e, aumento na complexação Al^{3+} (BROWN et al. 2008; RHEINHEIMER et al. 2018).

Embora o gesso agrícola (GA) ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) não seja um corretivo da acidez e sim um condicionador, é um subproduto de indústrias de fertilizantes de fosfatos e sendo altamente solúvel e sua eficiência na melhoria dos efeitos da acidez em camadas subsuperficiais foi demonstrada em vários trabalhos (ERNANI et al., 2001; CAIRES et al., 2003; CAIRES et al., 2004; CAIRES et al., 2011; PAULETTI et al., 2014; TIECHER et al., 2018). Os efeitos deletérios pelos altos níveis de Al^{3+} para as plantas em subsuperfície, pode ser observado pelo restringimento ao acesso de água e nutrientes pode ser corrigido pela ação conjunta da calagem e do gesso agrícola (SINGH et al., 2017; RABEL et al., 2018; PAULETTI & MOTTA, 2019). Tomando-se

uma alternativa para o melhor desenvolvimento e distribuição do sistema radicular no perfil do solo (CAIRES et al., 2001).

Devido sua composição química, o gesso agrícola (GA) é mais solúvel em água que o calcário VITTI et al., (2009; 2015), característica esta que contribui para redução da atividade do alumínio em solução. Quando aplicado no solo, o gesso agrícola (GA) se dissocia e forma pares iônicos que aumentam a concentração de cálcio, magnésio e potássio nas camadas mais profundas do perfil. O cálcio (Ca^{2+}) substitui os íons de alumínio dos sítios de troca do solo, já os íons sulfato (SO_4^{2-}) reagem com este alumínio livre na solução. A gessagem tem sido frequentemente relacionada à movimentação de Ca^{2+} em profundidade e à lixiviação de magnésio (Mg^{2+}) trocável. Este efeito está atribuído à competição entre Mg^{2+} e Ca^{2+} pelas cargas negativas presentes no solo, onde o Ca tem prioridade nos sítios e troca, além do aumento do pH do solo SORATTO et al., (2005). O gesso agrícola tem sido utilizado na correção de solos ácidos como um complemento ao calcário, sendo mais eficaz na redução da toxidez do Al^{3+} em camadas mais profundas a médio e a longo prazo, principalmente em áreas de sistemas de manejo de plantio direto (SPD) (CAIRES et al., 2004; ANDERSON et al., 2020; Pias et al., 2020; BESEN et al., 2021).

O uso dos calcários agrícolas é principal fonte para a mitigação da acidez do solo, representando quase totalidade de corretivos de acidez utilizados na agricultura em âmbito mundial e além de promover a formação uma frente de alcalinização descendente em superfície, minimizando à acidificação onde esta é mais intensa. Contudo, as diversas alterações nas características químicas do solo sob o preparo convencional e não convencional é bastante complexo, que abrange uma expressa discussão sobre a correção da acidez do sobre os diferentes sistemas de cultivo (CAIRES et al., 1998). A incorporação dos corretivos proporciona a mitigação da acidez do solo, com elevação do pH, neutralização do alumínio tóxico (Al^{3+}), fornecendo cálcio e magnésio e maior desenvolvimento do sistema radicular das plantas, melhorando a eficiência de uso dos nutrientes e da água presentes no solo (RAIJ, 2011). Os calcários representam uma alternativa mais econômica na correção da acidez, além de promover a formação uma frente de alcalinização descendente em superfície, minimiza a acidificação onde esta é mais intensa (RAMPIM et al., 2011).

Embora, o gesso agrícola (GA) não é corretivo da acidez, mas possui um importante papel na redução da toxidez do Al^{3+} nas camadas mais profundas do solo. A incorporação dos corretivos de acidez na superfície do solo pode proporcionar um

aumento de pH do solo e na redução de concentração de Al^{3+} a longo prazo (DEUS et al., 2020). Além do aumento do pH proporcionado pela calagem nas camadas superficiais do solo a longo prazo, os calcários associados ao gesso agrícola, pode apresentar um deslocamento de cátions básicos como o Mg^{2+} em camadas mais profundas. Por outro lado, o uso intensivo solo na incorporação dos corretivos, pode ocorrer efeitos deletérios nas propriedades físicas do solo, como a quebra dos agregados e alterando a estrutura do solo, podendo restringir o crescimento do sistema radicular e reduzir a exploração de água e nutrientes pelas culturas (PREDOTTI et al., 2001).

Estudos realizados por AULER (2018), revelam que o uso da cal e silicatos associados ao gesso agrícola proporcionou menores valores de densidade solo e maiores valores de porosidade total e macroporosidade do solo em camadas mais profundas do solo, indicando em melhores condições de taxa de infiltração de água no solo. A influência do uso de silicato de cálcio e magnésio na correção da acidez do solo proporciona um aumento na macroporosidade e sem a redução da agregação do solo. CASTRO et al., (2017) observou que a calagem e a silicatagem proporcionou aumento na macroporosidade do solo nas camadas superficiais e nenhuma alteração nas demais propriedades físicas do solo Castro et al., (2011).

O uso do gesso agrícola sob sistema de manejo de plantio direto (SPD) apresenta maiores valores de densidade do solo, aumenta a área dos agregados. Considerando efeitos sinérgicos, como o aumento da dispersão de argilas, redução da floculação, e da infiltração de água no solo (ALBUQUERQUE et al., 2003). No entanto, destacam os efeitos positivos, como aumentando a força iônica da solução do solo, melhor formação de bioporos e armazenamento de água, resultando numa melhor estabilidade dos agregados, melhor organização estrutural e melhor distribuição espacial das raízes, aumento no volume de poros (ANIKWE, 2006; CARDUCCI et al., 2015; ZOCCA & PENN, 2017; AULER et al., 2017; ANDERSON et al., 2020).

A ocorrência desses eventos na estrutura do solo pode ser estudada por outros processos que o estado físico do solo apresenta, como a compactação, baixa porosidade e velocidade de infiltração de água no solo, erosão hídrica, degradação das propriedades estruturais do solo (ALBUQUERQUE et al., 2003; STONE & SCHLEGEL, 2010; TAVARES FILHO et al., 2010). No entanto, essas ações podem acarretar sérias de alterações na estrutura do solo, principalmente aqueles que

possuem coloides de carga variável, como os Latossolos. Essas alterações podem ser provocadas por diversos mecanismos, levando a quebra dos agregados pelo efeito mecânico causado pelo intensivo revolvimento do solo ou pisoteio animal que irá remover matéria orgânica da superfície do solo (WESTERHOF et al., 1999).

Na literatura, ainda são poucos trabalhos sobre os efeitos do gesso agrícola (GA) sobre os atributos físicos do solo, visto que a maioria dos trabalhos de pesquisa centram-se apenas em camadas superficiais do solo (COSTA et al., 2007; CREMON et al., 2009; AULER, 2018). Ademais, calagem em ação conjunta com a gessagem podem apresentar resultados satisfatórios na redução da acidez do solo em camadas superficiais e subsuperficiais, o emprego dessas técnicas influencia os atributos químicos e físicos do solo (BOLAN et al., 2003; RHEINHEIMER et al., 2018; BOSSOLANI et al., 2018; VARGAS et al., 2019).

Considerando o grande potencial do uso dos corretivos da acidez associados ao gesso agrícola (GA) no sistema de plantio direto (SPD) em proporcionar condições favoráveis às propriedades químicas e físicas do solo, ainda permanecem pouco estudados. A presente dissertação tem como principal objetivo apresentar resultados importantes para uma melhor compreensão do efeito residual e da reaplicação dos condicionadores da acidez em conjunto ao gesso agrícola (GA) nos mecanismos da estrutura do solo.

1.1 HIPÓTESE

O efeito da reaplicação dos corretivos da acidez e do gesso agrícola (GA), possibilita a redução da acidez do solo quando associado ao gesso agrícola (GA) em superfície quanto em profundidade. O corretivo da acidez silicato de rocha moída quando associado ao gesso agrícola, proporciona melhoria na agregação do solo.

1.2 OBJETIVO GERAL

O estudo tem como objetivo principal avaliar os efeitos da reaplicação dos corretivos da acidez do solo (CRM - calcário de rocha moída; SRM - silicato de rocha moída; CC - calcário calcinado) associados ou não ao gesso agrícola (GA) na

agregação sobre o sistema de plantio direto – SPD, como uma alternativa na redução da acidez do solo e melhoria na agregação do solo.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar o efeito da reaplicação dos corretivos da acidez do solo e do gesso agrícola (GA) na correção da acidez do solo sobre sistema de plantio direto.
- Avaliar o efeito da reaplicação dos corretivos da acidez do solo e do gesso agrícola (GA) no processo de agregação do solo.
- Buscar correlações entre as alterações eletroquímicas e iônicas do solo pela aplicação dos corretivos da acidez quando associados ao gesso agrícola (GA) com agregação do solo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ÁREA EXPERIMENTAL

O presente experimento foi iniciado em 2015 na área experimental no Campo Demonstrativo Experimental (CDE) da Fundação ABC, sob as coordenadas geográficas de 25° 01' de latitude sul, 50° 09' de longitude oeste e 880 m de altitude, na cidade de Ponta Grossa-PR. De acordo o Sistema de Classificação Brasileiro do Solo (SiBCS) o solo é classificado como um LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO distrófico (LVAd) com classe textural argilo-arenosa (Santos et al., 2018). Os principais atributos químicos do solo prévios à instalação do experimento, da reaplicação dos corretivos da acidez e do gesso agrícola (GA) estão apresentados na Tabela 1.

Conforme a classificação climática internacional de Köppen o clima da região é (Cfb), compreendendo em um clima subtropical úmido com temperatura média abaixo de 18 °C, com ocorrência de geadas frequentes (mesotérmico) e verões frescos com temperatura média abaixo de 22 °C e sem estação seca definida. A precipitação pluvial (média) anual é de aproximadamente 1.600 mm, sendo o mês de agosto o mais seco e o de janeiro o mais chuvoso (Alvares et al., 2013).

TABELA 1 – ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO PRÉVIOS E APÓS A REAPLICAÇÃO DOS TRATAMENTOS (MAIO DE 2020/2021).

Atributos químicos prévios a instalação do experimento (2015)										
Camadas	pH	H+Al	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	SB	CTC _(pH 7,0)	V	m
	CaCl ₂	cmolc dm ⁻³					%			
0–0,05	5,1	5,0	0,18	1,90	0,50	0,46	2,86	7,86	36	6
0,05–0,10	4,4	6,0	0,58	1,20	0,20	0,28	1,68	7,68	22	26
0,10–0,20	4,5	5,6	0,56	0,80	0,20	0,18	1,18	6,78	17	32
0–0,20	4,6	5,6	0,47	1,18	0,30	0,28	1,73	7,28	23	24
0,20–0,40	4,4	4,6	0,62	0,50	0,10	0,12	0,72	5,32	14	46
0,40–0,60	4,6	4,0	0,36	0,50	0,10	0,10	0,70	4,70	15	34
Atributos químicos prévios a reaplicação dos tratamentos (Maio de 2021)										
0–0,05	4,9	5,9	0	3,60	0,14	0,24	5,24	11,14	47	0
0,05–0,10	4,3	9,1	0,48	1,20	0,30	0,12	1,62	10,72	15	22,9
0,10–0,20	4,2	9,7	0,76	0,50	0,20	0,11	0,71	10,41	7	51,7
0–0,20	4,4	8,6	0,5	1,76	0,21	0,15	2,53	10,75	19	24,8
0,20–0,40	4,2	8,2	0,72	0,34	0,20	0,08	0,38	8,58	4	65,5
0,40–0,60	4,4	5,9	0,31	0,34	0,20	0,06	0,45	6,35	7	40,8

LEGENDA: pH = potencial hidrogeniônico em CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹; H+Al= acidez potencial; Al³⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺= alumínio, cálcio, magnésio e potássio trocáveis, respectivamente; SB = soma de bases; CTC (pH 7,0)= capacidade de troca de cátions potencial; V e m= saturação por bases e por alumínio, respectivamente.

FONTE: Auler (2018); O autor (2020).

A área de estudo vem sendo conduzida sob sistema de plantio direto (SPD) há mais de treze anos, com cultivo das culturas do milho, soja e feijão no verão, e trigo, cevada, Aveia-Preta (*Avena strigosa*) e Azevém no inverno. No verão de 2015, quando se iniciou o estudo, a sequência de culturas foi: Milho (2015/16), Trigo (2016), Soja (2016/17), Feijão (2017/18), Cevada (2018), Soja (2019/20) e Aveia-Preta (*Avena strigosa*) (2020), Milho (2020/21). A partir do inverno de 2020 iniciou-se o presente estudo, com a cultura da Aveia-Preta (*Avena strigosa*).

2.2 TRATAMENTOS E DESING EXPERIMENTAL

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com os tratamentos em arranjo fatorial (4×2), com três repetições. Os tratamentos estudados foram três corretivos da acidez do solo, [(CRM) – calcário de rocha moída; (SRM) – silicato de rocha moída e; calcário calcinado – (CC)] e o tratamento controle (sem correção da acidez) associados ou não ao gesso agrícola (GA), dispostos em parcelas de 32 m² de área total (6,4 × 5,0 m – comprimento e largura) e 21,6 m² de área útil (Figura 1).

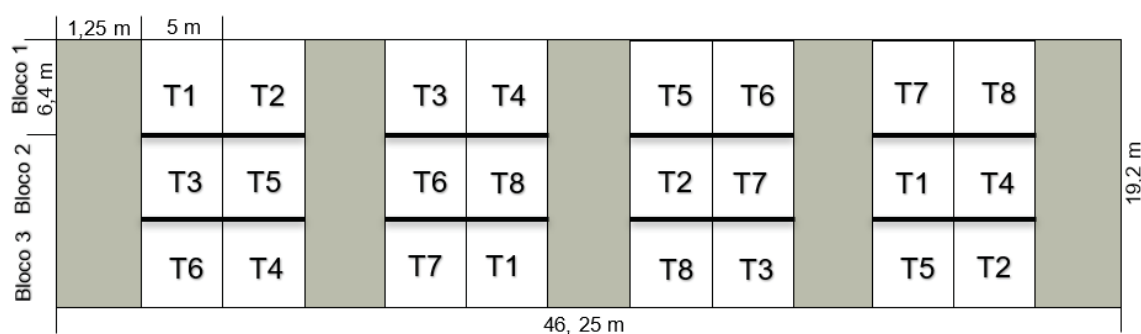


FIGURA 1 – CROQUI DO EXPERIMENTO INSTALADO NO LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO DISTRÓFICO. T1 – SEM CORREÇÃO DA ACIDEZ E SEM GESSO AGRÍCOLA (GA); T2 – GA; T3 – CALCÁRIO DE ROCHA MOÍDA (CRM); T4 – CRM ASSOCIADO AO GA; T5 – SILICATO DE ROCHA MOÍDA (SRM); T6 – SRM ASSOCIADO AO GA; T7 – CALCÁRIO CALCINADO (CC); T8 – CC ASSOCIADO AO GA.

FONTE: Auler (2018).

Os corretivos e o gesso agrícola (GA) foram aplicados superficialmente ao solo em área total do experimento. Onde primeiro foi aplicado os corretivos da acidez e imediatamente na sequência o gesso agrícola (GA). Foram utilizadas doses dos corretivos em Mg ha⁻¹ para elevar a saturação por bases da camada 0 – 0,20 m a 70% (van RAIJ et al., 2011). A dose de gesso agrícola (GA) foi calculada com base no teor de argila do solo (CAIRES & GUIMARÃES, 2018) (Tabela 2).

TABELA 2 – TRATAMENTOS E DOSES QUE FORAM UTILIZADOS NO EXPERIMENTO.

Tratamentos	Doses aplicadas em 2015 (Mg ha ⁻¹)	Doses aplicadas em 2020 (Mg ha ⁻¹)
Calcário de Rocha Moída	3,8	4,8
Silicato de Rocha Moída	4,2	15,4
Calcário Calcinado	2,7	3,4
Gesso Agrícola	2,4	3,0

FONTE: Auler (2018); O autor (2020).

Após aplicação dos corretivos e do gesso agrícola foi aguardado o tempo de reação para o estabelecimento da rotação de culturas, a semeadura das culturas foi realizada com o auxílio de semeadora-adubadora, visando o menor revolvimento do solo e seguindo os pressupostos do sistema de plantio direto. As adubações de base, cobertura e os tratamentos fitossanitários foram feitos conforme as necessidades das culturas.

2.3 COMPOSIÇÃO DOS CORRETIVOS DA ACIDEZ E DO GESSO AGRÍCOLA

Os corretivos foram caracterizados física e quimicamente. Para a caracterização dos corretivos e do gesso agrícola, foram sistematicamente coletadas alíquotas de diferentes sacos dos produtos, para compor uma amostra composta. Uma fração das mesmas foram secas em estufa com circulação força de ar (105 °C/24 h) para eliminação da umidade e posterior preparo para as análises específicas, foram determinados: (i) a granulometria; (ii) o poder relativo de neutralização total; (iii) reatividade do corretivo. Tais análises dos corretivos e do gesso agrícola foram realizadas pelo Laboratório de Análises de Solos e Fertilizantes da Fundação ABC.

Para a determinação da granulometria foram utilizadas triplicatas contendo 100 g passadas nas peneiras, seguindo ordem decrescente, por meio de agitação manual. A massa retida em cada peneira foi aferida em balança analítica de precisão. Para determinação da reatividade (RE), foi realizada por tamisamento a seco, utilizando as malhas de 2,0, 0,84 e 0,3 mm (Embrapa, 2009).

O poder relativo de neutralização total (PRNT) foi determinado pela relação entre a reatividade e o poder de neutralização do corretivo. Para a determinação do poder neutralizante, foram utilizadas triplicatas para cada fração dos corretivos

passadas na malha de 0,3 mm, com 1 g de cada corretivo para cada triplicata, submetidas aos reagentes: ácido (HCl 0,5 M), que posteriormente ao aquecimento, o excesso de ácido foi titulado com solução de NaOH 0,25 M (Embrapa, 2009).

O teor de umidade do gesso agrícola (GA) foi determinado por gravimetria, pela diferença entre as massas de gesso antes e após a secagem em estufa com circulação forçada de ar (105 °C/24 h), de acordo com Embrapa (2009). Os resultados da caracterização química dos corretivos e do gesso agrícola (GA) estão apresentados conforme a TABELA 3.

TABELA 3 – CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DOS CORRETIVOS DA ACIDEZ DO SOLO E DO GESSO AGRÍCOLA.

Características químicas dos corretivos prévios a aplicação (Agosto de 2015)					
Produto	PN	RE	PRNT	CaO	MgO
	%				
Calcário de rocha moída	113,95	77,88	88,74	27,97	19,28
Silicato de rocha moída	23,57	98,39	23,19	4,55	2,33
Calcário calcinado	121,66	89,30	108,64	47,56	12,14
Características químicas dos corretivos prévios e a reaplicação (Maio de 2020)					
Calcário de rocha moída	99,31	80,74	80,18	28,59	20,00
Silicato de rocha moída	34,86	71,38	113,31	12,49	4,98
Calcário calcinado	124,28	91,17	24,88	45,36	22,27

LEGENDA: PN (poder neutralizante), RE (reatividade) e PRNT (poder relativo de neutralização total) foram determinados conforme Embrapa (2009).

FONTE: Fundação ABC (2015 e 2020).

2.4 AMOSTRAGEM DE SOLO

Foram coletadas amostras deformadas e indeformadas do solo após 12 meses da reaplicação dos tratamentos e em abril de 2021. Foram retiradas amostras indeformadas do solo em monólitos (0,15 × 0,10 × 0,05 m – largura, comprimento e espessura), nas camadas 0-0,05; 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m (72 monólitos), com o auxílio de espátulas, pás de corte e papel filme, mantendo a preservação da estrutura e umidade do solo para avaliação da agregação do solo. As amostras de solo deformadas, foram coletadas com o auxílio de trados caladores e holandeses para determinação dos atributos químicos do solo.

FIGURA 2 – CARACTERIZAÇÃO DA COLETA DOS MONÓLITOS DE SOLO PARA ESTABILIDADE DE AGREGADOS: (A) ABERTURA DE UMA MINI TRICHEIRA; (B) MONÓLITO COLETADO NA CAMADA DE 0 – 0,05 M; (C) ARMAZENAGEM DOS MONÓLITOS EM PLÁSTICOS FILMES PRESERVANDO A UMIDADE.



FIGURA: O autor (2021).

FIGURA 4 – DETALHES DA COLETA DAS AMOSTRAS DEFORMADAS E INDEFORMADAS: (A) ANEL VOLUMÉTRICO PARCIALMENTE INTRODUZIDO NA CAMADA DE 0 – 0,05 M; (B) E (C) RETIRADA DA AMOSTRA DE SOLO NO ANEL VOLUMÉTRICO; (D, E) LIMPEZA PARCIAL DA AMOSTRA.



FONTE: O autor (2021).

2.5 ANÁLISES LABORATORIAIS

2.5.1 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Para avaliação da granulometria, as frações de areia, silte e argila (g kg^{-1}), foi preparada a solução dispersante químico com 10 mL de hidróxido de sódio (NaOH) $1,0 \text{ mol L}^{-1}$, foi posteriormente aferido uma massa de 20 g de solo. As amostras foram

submetidas à dispersão mecânica com a agitação por 16 h em mesa agitadora pendular à 120 oscilações min⁻¹. Após a agitação a fração areia foi separada por tamisação em peneira de 53 µm, enquanto as frações silte e argila separadas pelo método da pipeta com base no tempo de sedimentação seguindo os pressupostos da Lei de Stokes (DANE et al., 2020):

(Eq. 1)

$$t = \frac{18 \eta h}{g (D_p - D_1) \phi^2}$$

Em que: t é o tempo de sedimentação (s) η a viscosidade da água (g cm s⁻¹), h a altura de queda (sedimentação) das partículas (cm), g a aceleração da gravidade (981 cm s⁻²), D_p e D_1 a densidade de partículas e a densidade da água (g cm⁻³), ϕ o diâmetro do menor tamanho das partículas de silte (0,053 cm).

2.5.2 AGREGAÇÃO E ESTABILIDADE DE AGREGADOS EM ÁGUA

Análise de estabilidade de agregados foi realizada nas camadas de 0 – 0,05, 0,05 – 0,10 e 0,10 – 0,20 m. Realizada a desagregação dos monólitos do solo ainda úmidos seguindo os planos de fraqueza do solo (BARRETO et al., 2009), foram passados em peneira de 19 mm de abertura de malha. Posteriormente os agregados do solo foram guardados em recipientes de alumínio, preservando a umidade dos agregados. Posteriormente, iniciou-se o tamisamento via úmido conforme a metodologia proposta por Yoder (1936) com as adaptações para solos tropicais por CASTRO FILHO et al., (1998).

Foram aferidos 100 g de agregados em quadruplicatas, saturados por ascensão capilar em peneiras de 8 mm com o auxílio de papel quantitativo. As peneiras foram alocadas no aparelho Yoder com um volume de água até o nível do papel filtro. O papel filtro foi retirado com auxílio de uma pinça, minimizando qualquer perturbação nos agregados e iniciando o processo de peneiramento com agitação vertical das peneiras no Yoder com uma altura de 5 cm com 30 oscilações por minutos durante 15 min⁻¹. Após o tempo de peneiramento, as massas de solo retidas em cada peneira foram lavadas, separadas em copos plásticos e levadas a estufa com circulação forçada de ar (50 °C). Após a secagem as proporções de massas secas de

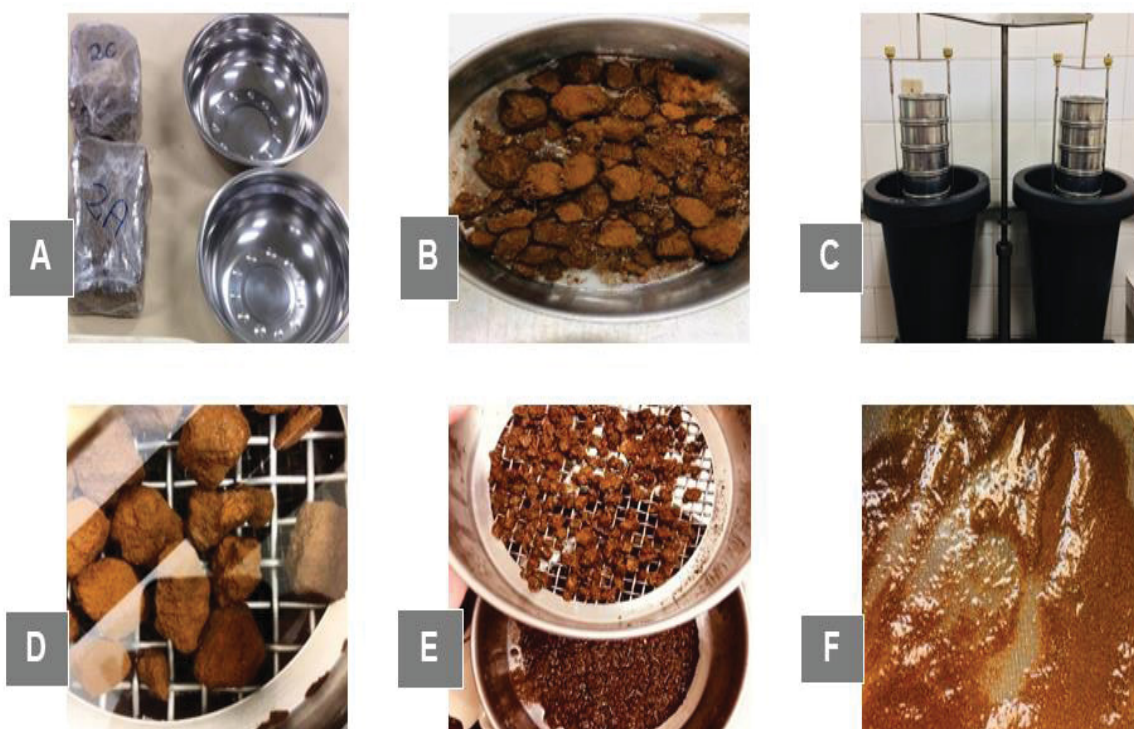
cada classe de agregados foram pesadas para determinação do diâmetro médio ponderado e das diferentes classes de agregado CASTRO FILHO et al., (1998):

(Eq. 2)

$$DMP = \sum_{i=1}^n (w_i \cdot x_i)$$

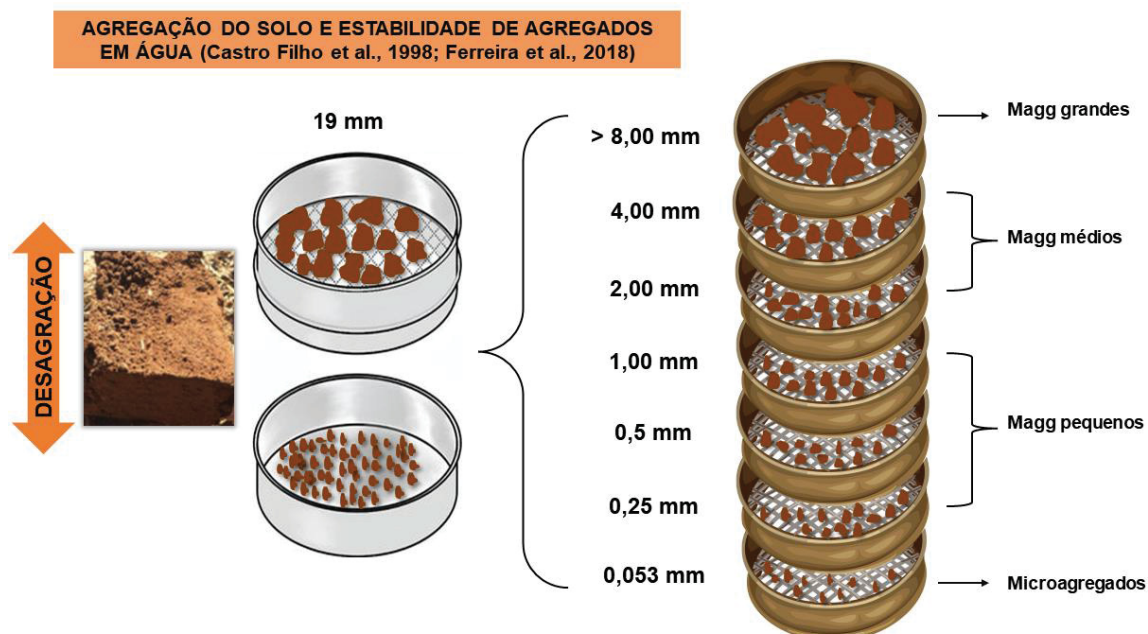
Em que: w_i representa a proporção de cada classe de agregado em relação ao total e x_i o diâmetro médio de cada classe.

FIGURA 7 – DETALHES DA ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE AGREGADOS: (A) MONOLÍTOS PREVIAMENTE EMBALADOS EM FILME (B) AGREGADOS EM SATURAÇÃO EM PENEIRA DE 8 mm; (C) DISPOSIÇÃO DAS PENEIRAS E DO APARELHO YODER; (D) CLASSES DE AGREGADOS RETIDOS EM PENEIRAS DE 8, 2, 1 E 0,053 mm.



FONTE: O autor (2021).

FIGURA 10 – DETALHES DOS PROCESSOS DE ESTABILIDADE DE AGREGADOS DESDE A DESAGREGAÇÃO DO MONÓLITO DE SOLO A SEPARAÇÃO DAS DIFERENTES CLASSES DE AGREGADOS PROPOSTAS PELAS METODOLOGIAS APLICADAS.



FONTE: O autor (2021)

As proporções das massas de solo tamisadas, foram determinadas as proporções das classes de macroagregados grandes (MAgg grandes) 8 – 19 mm, macroagregados médios (MAgg médios) 2 – 8 mm, macroagregados pequenos (MAgg pequenos) 0,25 – 2 mm, e de microagregados 0,053 – 0,25 mm, similarmente ao descrito por FERREIRA et al., (2018).

2.5.3 ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

As amostras deformadas foram submetidas a secagem em estufa com circulação forçada de ar (60 °C), destorroadas e passadas em peneiradas de 2 mm para obtenção da fração terra fina seca em estufa (TFSE) para determinar as principais propriedades químicas do solo.

Em sequência foram determinados:

(i) Os componentes da acidez do solo: acidez ativa (pH) por potenciometria em solução de cloreto de cálcio (CaCl_2) $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ e relação solo:solução 1:2,5 (v/v), onde foi transferido 10 cm^3 de TFSE e adicionado 25 mL de CaCl_2 $0,01 \text{ mol/L}$, com agitação de 15 min^{-1} e tempo de sedimentação de 30 min^{-1} , após sendo realizado a leitura com a calibração do potenciômetro em soluções padrões de pH 7,0 e 4,0; acidez potencial (H^+Al , cmolc dm^{-3}), por potenciometria em solução tampão SMP e relação solo: solução 1:2,5 (v/v); e acidez trocável (Al^{3+} , cmolc dm^{-3}), pipetando 20 mL do extrato com cloreto de potássio (KCl) $1,0 \text{ mol L}^{-1}$, relação solo:solução 1:10 (v/v), adicionando 3 gotas de Azul de Bromotimol, posteriormente por titulação com solução padronizada de NaOH $0,025 \text{ mol L}^{-1}$ até mudança de cor de amarelo-cítrico para azul (MOTTA & MARQUES, 2003);

(ii) Os cátions básicos trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ , cmolc dm^{-3}), Ca^{2+} e Mg^{2+} foram extraídos em solução de KCl $1,0 \text{ mol L}^{-1}$, relação solo:solução 1:10 (v/v) com 10 cm^3 de solo TFSE para Erlenmeyer de 125 mL , adicionando 100 mL de KCl 1 mol/L , com tempo de agitação de 10 min^{-1} e repouso de uma noite. Após repouso, foi pipetado 20 mL para determinação Ca^{2+} e Mg^{2+} , determinado por espectrofotometria de absorção atômica (EAA); e K^+ foi determinado em solução de Mehlich⁻¹, relação solo:solução 1:10 (v/v), leitura realizada por espectrofotometria de emissão em chama (MOTTA & MARQUES, 2003);

(iii) O teor de carbono orgânico total (COT g kg^{-1}) foi determinado pelo método colorimétrico. Foi mensurado 1 cm^3 de solo, sendo adicionados 10 mL de $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ de solução de dicromato de sódio ($0,667 \text{ mol L}^{-1}$) em ácido sulfúrico (5 mol L^{-1}). Posteriormente foi esperado ± 20 minutos de reação e diluir 100 mL , deixando em repouso por uma noite, após foi feita a leitura em fotocolorímetro em comprimento de onda de 650 nm ;

(iv) O teor de carbono lábil (C-OXP g kg^{-1}) foi determinado pela técnica do carbono oxidante por permanganato de potássio (KMnO_4 , $0,033 \text{ mol L}^{-1}$). Foi preparado solução de estoque $0,2 \text{ M}$, com 147 g de CaCl_2 , adicionando 900 mL de água deionizada. Foi adicionado $31,60 \text{ g}$ de KMnO_4 em béquer de 1000 mL e completado pelos 900 mL da solução CaCl_2 , o pH da solução foi calibrado para 7,2 pela adição de $0,1 \text{ N}$ de NaOH . Foram preparadas quatro soluções para as concentrações padrões ($0,005$, $0,01$, $0,015$ e $0,02 \text{ M}$). Foi mensurado $2,5 \text{ g}$ de solo

em tubos, contendo 2 mL de KMnO_4 e 18 mL de água deionizada, agitados com 240 oscilações min^{-1} (120 rpm). As amostras foram mantidas em repouso por 10 min^{-1} após agitação. Foram transferidas alíquotas de 0,5 mL para os tubos contendo 49,5 mL de água deionizada. A leitura foi realizada em comprimento de onda de 550 nm, método proposto por WEIL et al., (2003) com adaptações de CULMAN et al., (2012a;2012b).

2.5.4 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os dados para cada camada de solo, foram submetidos ao modelo estatístico de experimental em blocos ao acaso com arranjo fatorial (4×2) com três repetições (Fisher, 1966). As pressuposições de normalidade dos resíduos e homoscedasticidade foram verificadas através dos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett (BARTLETT, 1937; SHAPIRO & WILK, 1965). Após verificadas as pressuposições, o teste F foi aplicado. Em casos de interação significativa, foram realizadas análises de desdobramento e o teste Tukey foi aplicado para comparações múltiplas (Tukey, 1959). Complementarmente aos casos de F significativo foram realizadas análises de correlações lineares de Pearson (PEARSON & FILON, 1898), para verificar o grau de dependência entre os atributos da agregação com os atributos químicos do solo. Todas as análises estatísticas foram submetidas realizadas ao software R, versão R, versão 4.0.1 (R Core Team, 2021).

3 RESULTADOS

3.1 COMPONENTES DA ACIDEZ DO SOLO

Transcorridos 12 meses após a reaplicação dos tratamentos, acidez ativa (pH) mostrou-se mais estável quanto ao tempo de reação dos corretivos quando associados ao gesso agrícola (TABELA 4). Esta mesma dinâmica ocorre quando acidez potencial ($H+Al$), com exceção nas camadas do solo de 0,20 – 40 e 0,40 – 0,60 m (TABELA 4). Foi verificado efeito isolado da aplicação dos corretivos sobre acidez trocável (Al^{3+}) nas camadas de solo mais superficiais (0 – 0,10 m) e interação entre os corretivos e o gesso agrícola nas camadas de solo entre 0,10 – 0,60 m (TABELA 4).

Com o gesso, o CRM e CC foram superiores sobre o pH do solo em todas as camadas do solo, sobretudo até 0,10 m. Com o gesso, o SRM apresentou pH inferior em relação aos demais corretivos e ao tratamento controle, com exceção nas camadas de 0 – 0,05 e 0,40 – 0,60 m. Por outro lado, sem o gesso o SRM apresentou pH semelhante aos demais corretivos, exceto na camada de 0 – 0,05 m (TABELA 4). O pH do solo sobre o efeito isolado dos corretivos e do gesso não diferiu entre si, mas foi superior com aplicação de gesso entre as camadas 0,20 – 0,60 m (TABELA 4).

O tratamento controle, apresentou teores de $H+Al$ superiores em relação aos demais tratamentos em todas as camadas do solo (0 – 0,60 m). Com aplicação de gesso, o SRM proporcionou teores de $H+Al$ superiores em relação aos demais corretivos. Sem aplicação de gesso, o CRM e CC apresentaram teores de $H+Al$ em relação ao SRM, com exceção nas camadas de 0 – 0,05 e 0,05 – 0,10. Contudo, os teores de $H+Al$ foram superiores sobre aplicação de gesso, exceto na camada de 0 – 0,05 m (TABELA 4).

Na camada de 0 – 0,05 m, o SRM e CC não diferiram entre si quanto aos teores de Al^{3+} . Enquanto, SRM teve uma maior distinção quando associado gesso agrícola nas camadas de 0,05 – 0,10 e 0,10 – 0,20 m (TABELA 4). Entre os corretivos, os teores de Al^{3+} foram similares entre si quanto à aplicação de gesso agrícola na camada de 0,20 – 0,40 m (TABELA 4).

TABELA 4 – INTERAÇÕES E EFEITOS ISOLADOS DA REAPLICAÇÃO (APÓS 12 MESES) DE CORRETIVOS DA ACIDEZ ASSOCIADOS AO GESSO AGRÍCOLA (SEM E COM) SOBRE OS COMPONENTES DA ACIDEZ [ACIDEZ ATIVA (pH EM CaCl₂), ACIDEZ POTENCIAL (H+Al) E ACIDEZ TROCÁVEL (Al³⁺)] EM CAMADAS DE SOLO.

Corretivos da Acidez	pH (CaCl ₂)			H+Al (cmol _c dm ⁻³)			Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)		
	Sem	Com	Média	Sem	Com	Média	Sem	Com	Média
Camada de 0 – 0,05 m									
Controle	4,01	4,09	4,05 d	8,9	8,2	8,55 a	0,25	0,22	0,23 a
Calcário de Rocha Moída	4,92	5,14	5,03 b	4,4	3,6	4,00 c	0,26	0,19	0,22 a
Silicato de Rocha Moída	4,76	4,70	4,73 c	7,23	5,13	6,18 b	0,17	0,17	0,17 a
Calcário Calcinado	5,45	5,49	5,47 a	2,63	3,36	2,99 c	0,17	0,17	0,17 a
Média	4,78 A	4,85 A		5,79 A	5,07 A		0,21 A	0,19 A	
Camada de 0,05 – 0,10 m									
Controle	3,76	3,96	3,86 b	9,73	9,26	9,5 a	0,36	0,33	0,34 a
Calcário de Rocha Moída	4,37	4,49	4,43 a	6,86	7,26	7,06 b	0,24	0,16	0,20 b
Silicato de Rocha Moída	4,02	3,94	3,98 b	8,2	9,3	8,75 a	0,56	0,33	0,44 a
Calcário Calcinado	4,59	4,71	4,65 a	6,96	6,13	6,55 b	0,21	0,17	0,19 b
Média	4,19 A	4,27 A		7,94 A	7,99 A		0,34 A	0,25 B	
Camada de 0,10 – 0,20 m									
Controle	3,68	3,93	3,80 a	9,33	8,4	8,86 a	0,46 Aa	0,37 Bb	0,41
Calcário de Rocha Moída	3,93	4,05	4,00 a	8,63	8,03	8,33 a	0,35 Ab	0,26 Bc	0,30
Silicato de Rocha Moída	3,93	3,83	3,88 a	8,63	8,3	8,46 a	0,40 Bab	0,49 Aa	0,44
Calcário Calcinado	3,98	4,04	4,01 a	8,5	8,2	8,35 a	0,31 Ab	0,32 Abc	0,31
Média	3,88 A	3,96 A		8,77 A	8,23 B		0,38	0,36	
Camada de 0,20 – 0,40 m									
Controle	3,79	3,96	3,87 a	8,03	7,46	7,75 a	0,46 Aa	0,26 Bb	0,36
Calcário de Rocha Moída	3,84	3,96	3,90 a	8,00	7,86	7,93 a	0,39 Ba	0,45 Aa	0,42
Silicato de Rocha Moída	3,91	3,85	3,88 a	7,43	8,63	8,03 a	0,28 Bb	0,45 Aa	0,36
Calcário Calcinado	3,85	3,96	3,91 a	7,46	8,43	7,95 a	0,38 Ba	0,45 Aa	0,41
Média	3,85 A	3,93 A		7,73 A	8,10 A		0,38	0,40	
Camada de 0,40 – 0,60 m									
Controle	3,92	4,08	4,00 a	6,56	6,26	6,41 a	0,26 Ab	0,19 Bc	0,22
Calcário de Rocha Moída	3,96	4,05	4,01 a	6,7	6,93	6,81 a	0,37 Aa	0,35 Ba	0,36
Silicato de Rocha Moída	4,03	4,21	4,12 a	6,1	7,46	6,78 a	0,24 Bb	0,36 Aa	0,30
Calcário Calcinado	3,93	4,04	3,99 a	6,6	6,86	6,73 a	0,29 Ab	0,30 Ab	0,29
Média	3,96 A	4,09 A		6,49 B	6,88 A		0,29	0,30	

LEGENDA: Médias seguidas de mesma letra minúscula para corretivos da acidez (coluna) e maiúscula para aplicação de gesso agrícola (linha) não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

FONTE: O autor (2021).

3.2 CÁTIONS BÁSICOS TROCÁVEIS DO SOLO

Aos 12 meses após a reaplicação dos tratamentos, houve interação entre os corretivos e o gesso agrícola sobre os teores Ca^{2+} no solo nas camadas de 0,05 – 0,10, 0,20 – 0,40 e 0,40 – 0,60 m e efeitos isolados do gesso agrícola nas camadas de 0 – 0,05 e 0,10 – 0,20 m (TABELA 5). Os teores Mg^{2+} no solo foram influenciados pelo efeito isolado dos corretivos nas camadas de 0 – 0,05 e 0,40 – 0,60 m e do gesso agrícola na camada de 0,20 – 0,40 m. Ainda, foram influenciados pela interação entre os tratamentos nas camadas de 0,05 – 0,10 e 0,10 – 0,20 m (TABELA 5). Quanto aos teores K^+ no solo, foram observados efeitos isolados dos corretivos nas camadas de 0 – 0,05, 0,10 – 0,20 e 0,60 m e interação entre os tratamentos nas camadas de solo de 0,05 – 0,10 e 0,20 – 0,40 m (TABELA 5).

Na camada de 0 – 0,05 m, o SRM e CC apresentaram maiores distinções sobre os teores de Ca^{2+} no solo. Nesta camada, teor de Ca^{2+} pela aplicação isolada do CRM e quando associado ao gesso agrícola foi igual (TABELA 5). Sem o gesso, o SRM apresentou teores de Ca^{2+} no solo superior em relação aos demais corretivos e tratamento controle nas camadas de 0,10 – 0,20 e 0,40 – 0,60 m e com aplicação isolada de gesso na camada de 0,20 – 0,40 m (TABELA 5). Contudo, o efeito da interação de CC sobre os teores de Ca^{2+} no solo foi superior em relação aos demais corretivos nas camadas de 0,05 – 0,10 e 0,40 – 0,60 m (TABELA 5).

Na camada de 0 – 0,05 m, os teores de Mg^{2+} e K^+ no solo foram influenciados pelo CRM e CC, sobretudo quando ambos os corretivos associados ao gesso agrícola (TABELA 5). Na camada de 0,05 – 0,10 m, ambos os corretivos apresentaram teores de Mg^{2+} similares entre si e superiores a SRM e ao tratamento controle. Nesta mesma camada, os teores de Mg^{2+} no solo pela aplicação isolada do SRM e o tratamento controle foram similares entre si, a mesma dinâmica ocorre quando associados com o gesso agrícola (TABELA 5).

Na camada de 0,10 – 0,20 m, o efeito dos tratamentos sobre o teor de Mg^{2+} no solo foi mais pronunciado quando aplicados isoladamente, sobretudo o CRM e CC. Porém, tanto pela aplicação isolada dos corretivos da acidez ou quando aplicados em associação ao gesso agrícola apresentou grande variação nos teores de Mg^{2+} (TABELA 5). Nas camadas de 0,20 – 0,40 e 0,40 – 0,60 m os teores de Mg^{2+} no solo

foi semelhante entre os tratamentos. Porém, na camada de 0,20 – 0,40 m todos os tratamentos proporcionaram elevados teores de Mg^{2+} no solo e sem ou com aplicação de gesso agrícola (TABELA 5).

Quanto aos teores de K^+ na camada de 0 – 0,05 m foram semelhantes entre si, enquanto o CRM e CC foram superiores ao SRM e ao tratamento controle. Contudo, associados ao gesso agrícola, o teor de K^+ nessa camada foram inferiores à aplicação isolada dos corretivos, com exceção do CRM (TABELA 5). Enquanto, com o gesso agrícola, o CRM e tratamento controle apresentou maiores distinções sobre o teor de K^+ no solo. Porém, o CRM foi superior aos demais corretivos e o tratamento controle na camada 0,05 – 0,10 m (TABELA 5).

Na camada de 0,10 – 0,20 m, sem aplicação de gesso agrícola, o tratamento controle proporcionou maior teor de K^+ no solo em relação aos demais tratamentos (TABELA 5). Entretanto, associados ao gesso, o teor de K^+ no solo foi superior com aplicação do tratamento controle em relação aos demais tratamentos, enquanto o SRM e CC foram similares entre e inferiores ao CRM (TABELA 5).

Na camada de 0,40 – 0,60 m, o teor de K^+ no solo pela aplicação isolada do tratamento controle foi superior aos demais tratamentos, enquanto o CRM e SRM foram similares aos demais tratamentos (TABELA 5). Com o gesso agrícola, o teor de não houve maiores distinções entre os corretivos da acidez sobre o teor de K^+ no solo. Ademais, nessa camada, aplicação isolada de CC proporcionou teor de K^+ no solo igual quando também associado ao gesso agrícola. Da mesma forma, esta dinâmica ocorre na camada de 0,40 – 0,60 m (TABELA 5). Quanto à camada 0,40 – 0,60 m, os teores de K^+ no solo com SRM e CC foram similares ao tratamento controle e inferiores ao CRM sem aplicação de gesso. Nessa cada, o maior teor de K^+ no solo foi em virtude da aplicação isolada de CRM (TABELA 5).

TABELA 5 – INTERAÇÕES E EFEITOS ISOLADOS DA REAPLICAÇÃO (APÓS 12 MESES) DE CORRETIVOS DA ACIDEZ ASSOCIADOS OU NÃO AO GESSO AGRÍCOLA (Sem e Com) SOBRE OS TEORES DE CÁTIONS BÁSICOS TROCÁVEIS [CÁLCIO (Ca²⁺), MAGNÉSIO (Mg²⁺) E POTÁSSIO (K⁺)] EM CAMADAS DE SOLO.

Corretivos da Acidez	Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)			Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)			K ⁺ (cmol _c dm ⁻³)		
	Sem	Com	Média	Sem	Com	Média	Sem	Com	Média
Camada de 0 – 0,05 m									
Controle	3,51	3,62	2,56 b	0,36	0,19	0,28 c	0,41	0,33	0,37 a
Calcário de Rocha Moida	5,36	5,36	5,36 a	1,42	0,53	0,98 b	0,43	0,45	0,44 a
Silicato de Rocha Moida	5,6	6,93	6,26 a	0,67	0,45	0,56 c	0,39	0,30	0,34 a
Calcário Calcinado	5,99	7,46	6,72 a	1,73	1,13	1,43 a	0,41	0,36	0,38 a
Média	4,61 B	5,84 A		1,04 A	0,53 B		0,41 A	0,36 A	
Camada de 0,05 – 0,10 m									
Controle	1,43 Bc	2,17 Ab	1,80 b	0,20 Ab	0,16 Ab	0,18	0,20 Aa	0,17 Bb	0,18
Calcário de Rocha Moida	2,55 Bb	3,02 Aa	2,79 a	0,78 Aa	0,40 Ba	0,59	0,16 Ba	0,22 Aa	0,19
Silicato de Rocha Moida	2,08 Abc	2,13 Ab	2,10 b	0,28 Ab	0,18 Ab	0,23	0,15 Aa	0,11 Bc	0,13
Calcário Calcinado	3,43 Ba	2,84 Aab	3,13 a	0,62 Aa	0,53 Aa	0,57	0,19 Aa	0,15 Bbc	0,17
Média	2,37 A	2,54 A		0,47	0,31		0,17	0,16	
Camada de 0,10 – 0,20 m									
Controle	1,34	2,12	1,68 a	0,14 Ab	0,16 Ab	0,15	0,18 Aa	0,09 Ba	0,13
Calcário de Rocha Moida	1,18	1,81	1,50 a	0,26 Aa	0,20 Ba	0,23	0,08 Ab	0,08 Aa	0,08
Silicato de Rocha Moida	1,79	1,84	1,81 a	0,18 Bb	0,22 Aa	0,20	0,08 Ab	0,07 Aa	0,07
Calcário Calcinado	1,36	1,61	1,48 a	0,31 Aa	0,25 Ba	0,28	0,08 Ab	0,07 Aa	0,07
Média	1,41 B	1,82 A		0,22	0,20		0,10	0,07	
Camada de 0,20 – 0,40 m									
Controle	1,02 Bb	1,58 Aa	1,30	0,14	0,18	0,16 b	0,09 Aa	0,07 Bab	0,08
Calcário de Rocha Moida	1,04 Bb	1,40 Aab	1,22	0,18	0,26	0,22 a	0,07 Aab	0,08 Aa	0,07
Silicato de Rocha Moida	1,28 Ba	1,50 Aab	1,39	0,18	0,24	0,21 a	0,06 Bab	0,09 Aa	0,07
Calcário Calcinado	1,01 Bb	1,39 Ab	1,20	0,18	0,24	0,21 a	0,05 Ab	0,05 Aa	0,05
Média	1,08	1,46		0,17 B	0,23 A		0,07	0,07	
Camada de 0,40 – 0,60 m									
Controle	1,23 b	1,29 Bab	1,76	0,21	0,18	0,19 a	0,07 Ab	0,07 Aa	0,07
Calcário de Rocha Moida	1,03 Bc	1,34 Aa	1,18	0,19	0,24	0,21 a	0,19 Aa	0,06 Ba	0,12
Silicato de Rocha Moida	1,13 bc	1,21 Aab	1,17	0,16	0,18	0,17 a	0,06 Ab	0,05 Aa	0,05
Calcário Calcinado	1,41 Aa	1,27 Bab	1,34	0,20	0,20	0,20 a	0,05 Ab	0,05 Aa	0,05
Média	1,45	1,27		0,19 A	0,20 A		0,09	0,05	

LEGENDA: Médias seguidas de mesma letra minúscula para corretivos da acidez (coluna) e maiúscula para aplicação de gesso agrícola (linha) não diferem entre si pelo teste de Tukey (p< 0,05).

FONTE: O autor (2021).

3.3 CARBONO ORGÂNICO E “LÁBIL” SOLO

O teor de carbono orgânico (CO) no solo foi influenciado após 12 meses da replicação dos corretivos, sobretudo quando associados ao gesso agrícola (TABELA 6). Houve efeito isolado do gesso agrícola na camada de 0,40 – 0,60 m e interação entre os corretivos e o gesso agrícola nas camadas de 0 – 0,05, 0,05 – 0,10, 0,20 – 0,40 m (TABELA 6).

Os teores de carbono orgânico (CO) na camada de 0 – 0,05 m foram influenciados pela interação entre os corretivos com o gesso agrícola (TABELA 6). Com aplicação de gesso agrícola, o CC proporcionou teor de carbono orgânico superior ao tratamento controle, enquanto o CRM foi inferior ao SRM (TABELA 6). No entanto, os teores de carbono orgânico sobre a aplicação isolada do CC foram inferiores aos demais corretivos e tratamento controle, enquanto para o CRM foi superior em relação ao CRM e tratamento controle (TABELA 6). Ademais, os corretivos da acidez apresentaram médias similares e superiores em relação ao tratamento controle, com exceção do CC (TABELA 6).

Na camada de 0,05 – 0,10 m houve uma acentuada variação com aplicação isolada dos corretivos acidez sobre os teores de carbono orgânico (CO) no solo (TABELA 6). Sem aplicação de gesso agrícola, o tratamento controle e CC apresentou maiores teores de carbono orgânico, enquanto o SRM foi superior ao CRM (TABELA 6). Por outro lado, com aplicação de gesso agrícola, o CC proporcionou maior teor de carbono orgânico, enquanto o tratamento controle foi inferior ao SRM e CRM (TABELA 6).

Na camada de 0,10 – 0,20 m, os teores de carbono (CO) não sofreram grande variação pela aplicação isolada dos corretivos, foram similares entre si. Porém, com aplicação de gesso, CC foi superior ao SRM, enquanto o tratamento controle foi inferior ao CRM sobre os teores de carbono orgânico (CO) no solo (TABELA 6). Contudo, aplicação isolada do CC foi superior ao CRM, enquanto o tratamento controle e SRM não diferiu entre si.

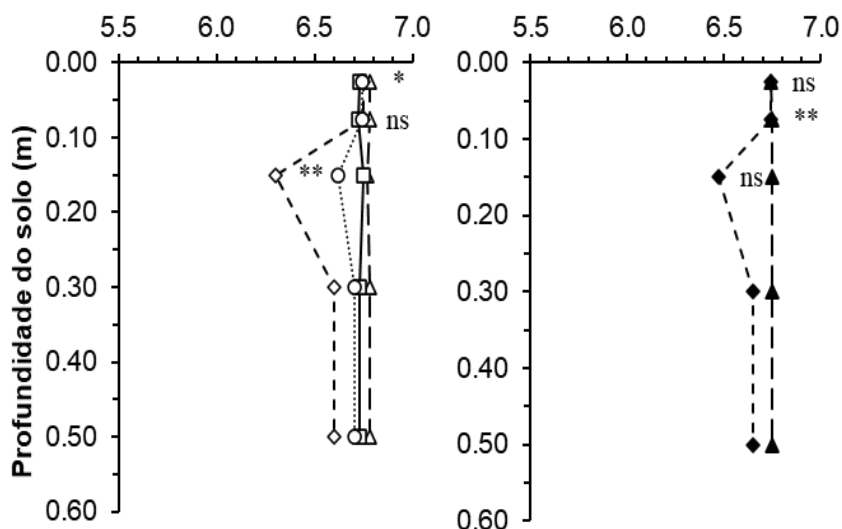
Na camada de 0,20 – 0,40 m, sem aplicação de gesso, o SRM foi o corretivo que proporcionou maior teor de carbono orgânico (CO) no solo. Enquanto, o CRM, CC e tratamento controle assemelharam-se (TABELA 6). Com o gesso agrícola, o

tratamento controle foi inferior aos demais tratamentos. Entre os corretivos, CC e associado ao gesso agrícola apresentou teor de carbono orgânico superior aos demais corretivos e tratamento controle. Ademais, o CRM e SRM foram similares entre si (TABELA 6).

Quanto a camada de 0,40 – 0,60 m, aplicação isolada dos corretivos apresentou teores de carbono orgânico superiores em relação à aplicação de gesso agrícola. Entre os corretivos, sem e com aplicação de gesso agrícola, o CC foi o corretivo da acidez, que apresentou maior teor de carbono orgânico (CO) no solo. No entanto, o SEM e CRM foram intermediários e similares entre si. Sem ou com gesso agrícola, o tratamento controle foi inferior aos demais corretivos (TABELA 6).

Quanto aos teores de carbono “lábil”, não houve influência da aplicação dos corretivos da acidez ou do gesso agrícola para as camadas mais superficiais do solo (0 – 0,10 m). Entretanto, houve efeito da aplicação isolada do gesso agrícola sobre os teores de carbono orgânico “lábil” do solo na camada de 0,10 – 0,20 m (GRÁFICO 1). Entre os corretivos, o CRM associado ao gesso agrícola proporcionou maior teor de carbono orgânico “lábil” (GRÁFICO 1).

GRÁFICO 1 – CONTEÚDO DE CARBONO ORGÂNICO “LÁBIL” DO SOLO (g kg^{-1}), OXIDADO POR PERMANGANATO DE POTÁSSIO, EM FUNÇÃO DA REAPLICAÇÃO DE CORRETIVOS DA ACIDEZ [CONTROLE (Δ), CALCÁRIO DE ROCHA MOÍDA ($\diamond$), CALCÁRIO CALCINADO ($\circ$) E ESCÓRIA DE SIDERURGIA ($\square$)] (A) E DE GESSO AGRÍCOLA [SEM ($\blacktriangle$) E COM ($\blacklozenge$)] (B). ^{NS}NÃO SIGNIFICATIVO AO TESTE F ($P < 0,05$).



FONTE: O autor (2021).

TABELA 6 – INTERAÇÕES E EFEITOS ISOLADOS DA REAPLICAÇÃO (APÓS 12 MESES) DE CORRETIVOS DA ACIDEZ ASSOCIADOS AO GESSO AGRÍCOLA (SEM E COM) SOBRE OS TEORES CARBONO ORGÂNICO EM CAMADAS DE SOLO

Corretivos da Acidez	Carbono orgânico (g kg ⁻¹)		
	Sem	Com	Média
<i>Camada de 0 – 0,05 m</i>			
Controle	3,83 Ba	4,58 Aab	4,20
Calcário de rocha moída	4,39 Aa	4,08 Bb	4,23
Silicato de rocha moída	4,30 Aa	4,34 Aab	4,32
Calcário calcinado	3,18 Bb	4,96 Aa	4,07
Média	3,92	4,49	
<i>Camada de 0,05 – 0,10 m</i>			
Controle	3,04 Aa	2,63 Ba	2,83
Calcário de rocha moída	2,35 Bb	2,87 Aa	2,61
Silicato de rocha moída	2,91Aa	2,83 Aa	2,89
Calcário calcinado	2,75 Bab	3,08 Aa	2,91
Média	2,76	2,85	
<i>Camada de 0,10 – 0,20 m</i>			
Controle	2,08 Aa	1,61 Bc	1,84
Calcário de rocha moída	2,35 Aa	1,96 Bbc	2,15
Silicato de rocha moída	2,07 Aa	2,27 Aab	2,17
Calcário calcinado	2,43 Aa	2,59 Aa	2,51
Média	2,23	2,10	
<i>Camada de 0,20 – 0,40 m</i>			
Controle	1,68 Aa	1,50 Ab	1,59
Calcário de rocha moída	1,46 Aa	1,61 Ab	1,53
Silicato de rocha moída	1,92 Aa	1,61 Bb	1,76
Calcário calcinado	1,64 Ba	2,08 Aa	1,86
Média	1,67	1,70	
<i>Camada de 0,40 – 0,60 m</i>			
Controle	1,16	0,67	0,91 b
Calcário de rocha moída	1,23	1,19	1,21 ab
Silicato de rocha moída	1,28	1,16	1,22 ab
Calcário calcinado	1,54	1,34	1,44 a
Média	1,30 A	1,09 B	

LEGENDA: Médias seguidas de mesma letra minúscula para corretivos da acidez (coluna) e maiúscula para aplicação de gesso agrícola (coluna) não diferem entre si pelo teste Tukey (p<0,05).

FONTE: O autor (2021).

3.4 AGREGAÇÃO E ESTABILIDADE DE AGREGADOS EM ÁGUA

Aos 12 meses após a reaplicação dos tratamentos, foi observado interação entre os corretivos da acidez e o gesso agrícola sobre o diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados nas camadas de 0 – 0,05 e 0,10 – 0,20 m (TABELA 7). Contudo, na camada de 0,05 – 0,10 m, apenas ocorreram efeitos isolados da aplicação de gesso agrícola (TABELA 7).

TABELA 7 – INTERAÇÃO E EFEITOS ISOLADOS DA REAPLICAÇÃO (12 MESES APÓS APLICAÇÃO) DE CORRETIVOS DA ACIDEZ E DE GESSO AGRÍCOLA (SEM E COM) SOBRE O DIÂMETRO MÉDIO PONDERADO DOS AGREGADOS (DMP, mm) EM CAMADAS DE SOLO.

Corretivos da Acidez	DMP (mm)		Média
	Sem	Com	
Camada de 0 – 0,05 m			
Controle	12,18 Ab	12,28 Aa	12,23
Calcário de rocha moída	12,57 Ab	13,15 Aa	12,86
Silicato de rocha moída	14,45 Aa	12,01 Aa	13,23
Calcário calcinado	12,67 Ab	12,54 Aa	12,47
Média	12,96	12,46	
Camada de 0,05 – 0,10 m			
Controle	11,56	12,53	12,04 a
Calcário de rocha moída	12,46	12,61	12,54 a
Silicato de rocha moída	12,06	12,62	12,34 a
Calcário calcinado	12,10	12,55	12,33 a
Média	12,05 B	12,58 A	
Camada de 0,10 – 0,20 m			
Controle	11,28 Bc	12,41 Aa	11,84
Calcário de rocha moída	12,61 Aab	12,36 Aa	12,48
Silicato de rocha moída	12,94 Aa	12,60 Ba	12,77
Calcário calcinado	12,29 Ab	12,56 Aa	12,42
Média	12,28	12,48	

LEGENDA: Médias seguidas de mesma letra minúscula para corretivos da acidez (coluna) e maiúscula para aplicação de gesso agrícola (coluna) não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

FONTE: O autor (2021).

Realizada a análise de correlação entre os atributos relacionados à agregação, estabilidade de agregados e atributos químicos do solo (TABELA 8), podemos observar que houve dependência do DMP em relação ao teor de Al^{3+} , uma correlação negativa forte. Similarmente, a proporção de macroagregados grandes (MAgg

grandes) teve o mesmo comportamento que o DMP. Enquanto, a proporção de macroagregados médios (MAgg médios) e macroagregados pequenos (MAgg pequenos) apresentaram correlação positiva forte entre o teor de Al^{3+} na camada de 0 – 0,05 m (TABELA 8).

Quanto a proporção de microagregados, apresentou correlação negativa forte com acidez ativa (pH), correlação positiva forte com acidez potencial (H+Al) e correlação negativa forte com o teor de Mg^{2+} . Contudo, as correlações significativas ficaram restritas somente na camada de 0 – 0,05 m (TABELA 8).

TABELA 8 – CORRELAÇÕES LINEARES (PEARSON) ENTRE OS COMPONENTES QUÍMICOS DO SOLO RELACIONADOS COM A AGREGAÇÃO E ESTABILIDADE DE AGREGADOS DO SOLO APÓS DA REAPLICAÇÃO (12 MESES APÓS APLICAÇÃO) DOS CORRETIVOS DA ACIDEZ E DO GESSO AGRÍCOLA.

Variáveis	pH	H+Al	Al^{3+}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^{+}	C “lábil”	CO
	CaCl_2		cmol _c dm ⁻³				g kg ⁻¹	
<i>Camada de 0 – 0,05 m</i>								
DMP	0,09	-0,20	-0,51**	0,01	-0,06	0,05	-0,27	0,03
MAgg grandes	0,16	-0,29	-0,68**	0,02	-0,01	0,14	-0,31	0,22
MAgg médios	-0,16	0,31	0,69**	-0,07	0,02	-0,17	0,26	-0,28
MAgg pequenos	-0,12	0,20	0,55**	0,09	-0,01	-0,10	0,37	-0,03
Microagregados	-0,67**	0,49*	0,14	-0,24	-0,47*	-0,26	0,26	0,03
<i>Camada de 0,05 – 0,10 m</i>								
DMP	0,24	-0,28	-0,13	0,09	-0,04	-0,16	-0,19	0,07
MAgg grandes	0,19	-0,24	-0,06	0,11	-0,14	0,11	-0,30	0,16
MAgg médios	-0,22	0,25	0,03	-0,09	0,12	-0,27	0,37	-0,28
MAgg pequenos	-0,02	0,10	0,06	-0,06	0,12	0,22	-0,01	0,15
Microagregados	-0,11	0,05	0,18	-0,24	-0,06	0,19	0,10	0,01
<i>Camada de 0,10 – 0,20 m</i>								
DMP	0,19	-0,01	-0,02	0,09	0,23	-0,23	0,00	0,22
MAgg grandes	0,24	0,06	-0,09	0,09	0,29	-0,12	0,05	0,23
MAgg médios	-0,16	-0,12	0,01	-0,07	-0,24	0,02	-0,11	-0,15
MAgg pequenos	-0,32	0,02	0,19	-0,06	-0,37	0,23	0,05	-0,22
Microagregados	0,09	-0,16	-0,13	-0,20	0,16	-0,15	-0,25	0,12

LEGENDA: DMP = diâmetro médio ponderado, MAgg = macroagregados (grandes, médios, pequenos e microagregados); pH = acidez ativa em CaCl_2 ; H+Al = acidez potencial (cmol_c dm⁻³); Al^{3+} = acidez trocável (cmol_c dm⁻³); Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^{+} = teores de cálcio, magnésio e potássio trocáveis (cmol_c dm⁻³), respectivamente; COXP= carbono lábil (oxidado por permanganato de potássio); CO= carbono orgânico, determinado por colorimetria. * e **Significativo aos níveis de 5% (p < 0,05) e 1% (p < 0,01) de probabilidade.

FONTE: O autor (2021).

Na camada de 0 – 0,05 m, aplicação isolada do SRM apresentou um valor de DMP superior ao CC, enquanto o CRM e o tratamento controle foram similares aos demais tratamentos (TABELA 7). No entanto, com aplicação de gesso agrícola, o CRM foi superior ao CC, enquanto o tratamento controle e SRM foram similares si e aos demais tratamentos sobre o DMP dos agregados (TABELA 7).

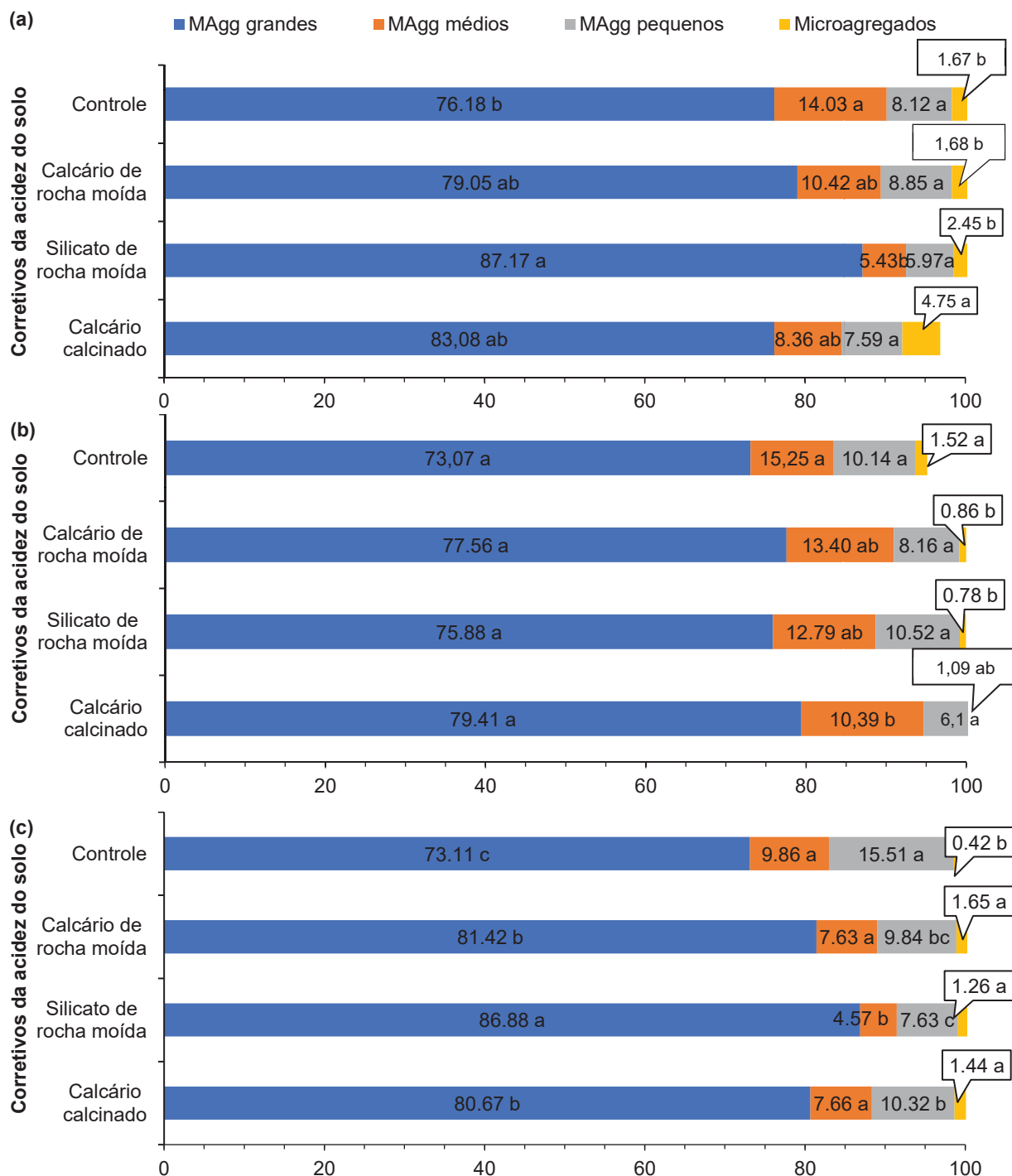
Quanto a proporção de MAgg grandes na camada de 0 – 0,05 m após 12 meses após dos tratamentos, foi influenciada apenas pelos corretivos da acidez (GRÁFICOS 2a e 3). Nesse sentindo, o SRM foi superior entre os corretivos na proporção de MAgg grandes, enquanto o CC e CRM apresentaram proporção de MAgg grandes intermediários e superiores ao tratamento controle (GRÁFICO 2a). Por outro lado, à aplicação de SRM que apresentou maior proporção de MAgg grandes, reduziu as proporções de MAgg médios e MAgg pequenos (GRÁFICOS 2a e 3).

Nessa camada, a proporção de microagregados também não foram influenciados pelo gesso agrícola, na qual apenas houve efeito dos corretivos da acidez. Enquanto, o tratamento controle apresentou proporção de microagregados inferior em relação ao CC, enquanto o CRM e SRM foram similares aos demais tratamentos. Contudo, o gesso agrícola apresentou menor proporção de microagregados em relação aos corretivos da avidez (GRÁFICOS 2a e 3).

Na camada de 0,05 – 0,10 m não houve efeito dos corretivos da acidez, apenas do gesso agrícola sobre o DMP. Enquanto, o CRM e SRM associado ao gesso agrícola proporcionou valores de DMP superiores em relação ao CC e tratamento controle, ambos os tratamentos não diferiram entre si (TABELA 7). O tratamento controle apresentou valor de DMP superior ao CRM, enquanto o CC foi superior ao SRM. Com aplicação de gesso agrícola, proporcionou maiores valores de DMP nessa camada (TRABELA 7).

A classe de MAgg grandes apresentou o mesmo comportamento que o DMP da camada de 0,05 – 0,10 m. Porém, com aplicação de gesso agrícola apresentou maior proporção dessa classe de agregados (GRÁFICO 3). Enquanto, sem aplicação de gesso, o CC apresentou maior proporção de MAgg grandes, enquanto o tratamento controle foi inferior ao CRM e SRM, ambos os tratamentos apresentaram proporções similares entre si (GRÁFICO 2b). Contudo, a proporção de MAgg grandes foi influenciada pela aplicação de gesso agrícola, apresentando maior proporção dessa classe de agregados (GRÁFICO 3).

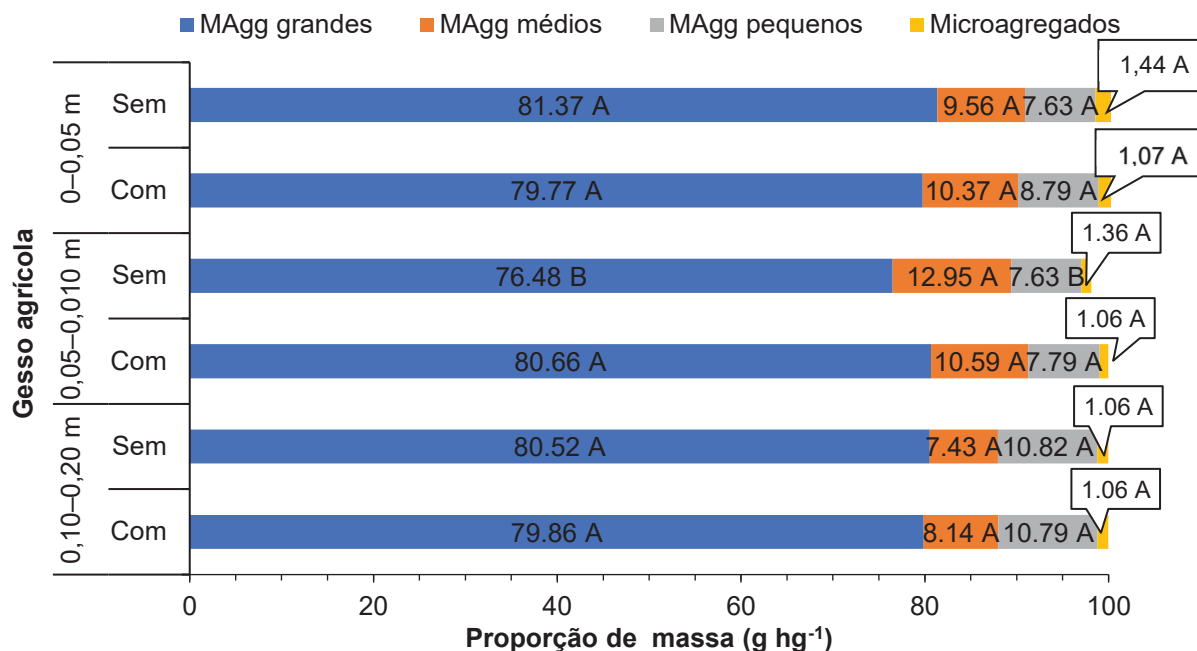
GRÁFICO 2 – PROPORÇÃO DE MACROAGREGADOS GRANDES (MAgg GRANDES: 8–9 mm), MÉDIOS (MAgg MÉDIOS: 2–8 mm) E PEQUENOS (MAgg PEQUENOS: 0,25–2 mm) E MICROAGREGADOS (0,053 – 0,25 mm) DAS CAMADAS DE 0–0,05 (A), 0,05–0,10 (B) E 0,10–0,20 M (C) AOS 12 MESES APÓS APLICAÇÃO DOS CORRETIVOS DA ACIDEZ DO SOLO.



LEGENDA: Médias seguidas de mesma letra minúscula para corretivos da acidez dentro da mesma classe de agregados não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

FONTE: O autor (2021).

GRÁFICO 3 – PROPORÇÃO DE MACROAGREGADOS GRANDES (MAgg GRANDES: 8–9 mm), MÉDIOS (MAgg MÉDIOS: 2–8 mm) E PEQUENOS (MAgg PEQUENOS: 0,252 mm) E MICROAGREGADOS (0,05–0,25 mm) DAS CAMADAS DE 0–0,05 (A), 0,05–0,10 (B) E 0,10–0,20 m (C) AOS 12 MESES APÓS APLICAÇÃO DE GESSO AGRÍCOLA.



LEGENDA: Médias seguidas de mesma letra maiúscula para o gesso agrícola dentro da mesma classe de agregados não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

FONTE: O autor (2021).

Quanto a proporção de MAgg médios da camada de 0,05 – 0,10 não houve distinção da aplicação de gesso agrícola (GRÁFICO 3), apenas foi influenciado pelos corretivos da acidez (GRÁFICO 2b). No entanto, o CRM SRM foram os corretivos que apresentou proporção de MAgg médios intermediários e similares entre si. Porém, o tratamento controle apresentou maior proporção de MAgg médio em relação aos corretivos da acidez. Assim, sem aplicação de gesso agrícola apresentou maior proporção dessa classe de agregados (GRÁFICO 3).

Em relação à classe de MAgg pequenos da camada de 0,05 – 0,10 m não foram influenciados pelos corretivos da acidez (GRÁFICO 2b). No entanto, o SRM foi o corretivo que apresentou maior proporção de MAgg pequenos, enquanto o CC foi inferior aos demais corretivos e tratamento controle (GRÁFICO 2b). Enquanto, o

gesso agrícola apresentou maior proporção dessa classe de agregados (GRÁFICO 5).

Com relação ao DMP da camada de 0,10 – 0,20 m, o SRM e CRM foram os corretivos da acidez que apresentaram maiores DMP, ambos apresentaram resultados similares entre si, enquanto o tratamento controle foi inferior ao CC (TABELA 7). No entanto, novamente o SRM quando associado ao gesso agrícola apresentou DMP. Contudo, nessa camada é válido ressaltar que a interação entre os corretivos apresentou variação moderada no DMP dos agregados (TABELA 7).

Quanto a proporção de MAgg grandes na camada de 0,10 – 0,20 m foi influenciada apenas pelos corretivos da acidez. Em que, novamente aplicação de SRM apresentou maior distinção sobre esta classe de agregados. Por outro lado, o CRM que apresentou maior proporção de MAgg grandes, reduziu proporção de MAgg em relação aos demais corretivos (GRÁFICO 2c). Enquanto, que o tratamento controle apresentou maiores proporções de MAgg médios e pequenos (FIGURA 2c). aplicação de gesso agrícola apresentou maior proporção de MAgg pequenos em relação à aplicação dos corretivos (GRÁFICO 3).

A proporção de microagregados na camada de 0,10 – 0,20 m não foram influenciadas significativamente pelos corretivos ou pelo gesso agrícola (GRÁFICOS 2c e 3). Porém, o CRM apresentou maior proporção dessa classe de agregados, enquanto o tratamento controle apresentou a menor proporção de microagregados diferindo dos demais tratamentos, em que o SRM e CC não diferiram entre si (GRÁFICO 2c).

4 DISCUSSÃO

4.1 EFEITO DA REAPLICAÇÃO DOS CORRETIVOS DA ACIDEZ E GESSO AGRÍCOLA NOS COMPONENTES DA ACIDEZ E CÁTIONS BÁSICOS TROCÁVEIS DO SOLO

Os principais atributos químicos do solo não sofreram alterações significativas durante avaliação após 12 meses da reaplicação dos corretivos da acidez e do gesso agrícola. Apesar de, não terem sido influenciados significativamente pelo sinergismo da aplicação dos corretivos e do gesso agrícola, as alterações serão mais evidente a longo prazo. Considerando-se, que os calcários quando aplicados em superfície promove uma correção mais rápida da acidez do solo, na qual a calagem decorrente da aplicação dos corretivos e do gesso agrícola levou a alterações do pH ao longo do perfil do solo (TABELA 4). Contudo, as baixas doses de calcário podem inviabilizar o processo de correção da acidez, restringindo melhor condicionamento químico do solo. Por outro lado, estudos feitos por PEREIRA et al., (2010) evidenciou que baixas doses de corretivos, principalmente as escórias siderúrgicas que possuem granulometria fina, também podem proporcionar correção do pH do solo a curto e médio prazo. Assim, a dinâmica entre o uso de corretivos da acidez e do gesso agrícola na correção da acidez do solo, ocorre gradativamente, ou seja, é um processo contínuo, onde será mais evidente a longo prazo. (BORTOLUZZI et al., 2014; CAIRES et al., 2016; DALLA NORA et al., 2017; RHEINHEIMER et al., 2018).

O efeito corretivo do CRM e CC foi eficiente na correção do pH do solo em superfície, considerando um curto espaço de tempo após a reaplicação de ambos os calcários. Por outro lado, o SRM também teve ação corretiva, porém foi mais lenta que os demais corretivos (TABELA 4), o que pode ser relacionado ao teor de carbonato, granulometria do silicato e seu tempo de contato com o solo. Uma vez que, o efeito corretivo dos silicatos sobre os atributos químicos do solo é mais pronunciado após a partir de 18 e 48 meses de aplicação (PRADO et al., 2003; FARIA et al., 2008; PEREIRA et al., 2010; CRUSCIOL et al., 2013). Além disso, o baixo PN (poder neutralizante) do silicato pode inviabilizar na correção da acidez do solo. Porém, a divergências na literatura sobre o PN, na qual não infere na eficiência dos calcários e silicatos na correção da acidez do solo, visto que ocorre um grau de dependência

entre PN e a composição química e física dos corretivos da acidez (ALCARDE & RODELLA, 1996; PRADO et al., 2000). Resultados da composição químicas dos corretivos da acidez do presente estudo são apresentados na TABELA 3. Porém, os valores de pH em subsuperfície são indiferentes tanto pela aplicação dos corretivos e quando associados ao gesso agrícola. Visto, que é necessário que a dissociação dos produtos do calcário, os ânions básicos (OH^- e HCO_3^-) ocorra para atingir a um pH ideal (pH a 5,5), não sendo completamente realizada pode ocorrer impedimento da neutralização da acidez em maiores profundidades (SANTOS et al., 2000; CAIRES et al., 2005).

O efeito dos corretivos da acidez e do gesso agrícola na acidez potencial ($\text{H}+\text{Al}$) seguiu uma dinâmica inversamente proporcional com acidez ativa (pH do solo). Conforme, o pH do solo fosse corrigido o teor de $\text{H}+\text{Al}$ foi reduzindo, principalmente nas camadas mais superficiais do solo até 0,10 m (TABELA 4). Visto, que pode estar influenciando diretamente no poder de tamponamento do solo, onde a acidez potencial ($\text{H}+\text{Al}$) é responsável, além de influenciar sobre acidez trocável (Al^{3+}). O gesso agrícola aumentou os teores de $\text{H}+\text{Al}$ no solo, estando novamente relacionado ao pH do solo. Todavia, o gesso agrícola não seja um corretivo da acidez que é amplamente mencionado na literatura, este condicionador quando associado aos corretivos elevou o pH do solo, como observado na TABELA 4 (ALCARDE, 1992).

Associação dos corretivos da acidez com o gesso agrícola, manteve a neutralização dos teores de alumínio trocável (Al^{3+}) no solo, ambos os corretivos apresentaram teores igual ou abaixo de $0,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ até a camada de 0,10 m (TABELA 4). Também DALLA NORA & AMADO (2013) verificou que aplicação de calcários quando associados com gesso agrícola influenciou no pH do solo e no Al^{3+} , enquanto BESEN et al., (2021) encontrou teores de Al^{3+} no solo igual $0,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ pela calagem associada com o gesso agrícola. Contudo, a ausência de interações entre os corretivos e o gesso agrícola sobre o pH pode ter influenciou nos teores de Al^{3+} em profundidade. Visto, que valores de pH próximos a 4,8 ou menor leva a presença de Al^{3+} abaixo de $0,7 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ no solo (NEPAR, 2019). Nas camadas de 0,10 – 0,20, 0,20 – 0,40 e 0,40 – 0,60 m os teores de Al^{3+} foram menores que $0,7 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ com o gesso agrícola, em superfície condições de acidez trocável foram baixas (TABELA 4), porém as camadas subsuperficiais se tornam referência para uso adequado do gesso agrícola na correção da acidez trocável do solo (PIAS et al., 2020).

O efeito da reaplicação dos corretivos da acidez e o gesso agrícola alteraram as concentrações dos cátions básicos trocáveis do solo. As maiores concentrações de Ca^{2+} no solo foram nas camadas mais superficiais do solo até 0,20 m, sobretudo com aplicação de gesso agrícola. Em virtude de que o gesso agrícola possui alta solubilidade, consequentemente disponibilizando maiores concentrações desse cátion no solo. Principalmente, associado o CC e SRM o gesso agrícola disponibilizou maiores teores de Ca^{2+} (7,46 e 5,36 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ na camada de 0 – 0,05 m, respectivamente) no solo (TABELA 5). Resultados semelhantes foram encontrados por CRUSCIOL et al., (2016; 2019), que associação de corretivos com gesso agrícola proporcionam maior teores de Ca^{2+} em camadas mais superfinais. Isto ocorre também para os cátions Mg^{2+} e K^+ , porém as suas concentrações sofreram redução sobre aplicação de gesso agrícola em profundidade (TABELA 5). Porém, é válido ressaltar que maiores concentrações de Ca^{2+} nas camadas mais superficiais e menor concentração em profundidade do solo, pode ser atribuído ao efeito residual dos mesmos tratamentos aplicados à implantação do presente estudo em 2015 (TABELA 1). Contudo, aplicação do gesso agrícola em áreas que predominam solos ácidos pode acarretar alterações na dinâmica do Ca^{2+} , além de promover numa maior disponibilização desse cátion em superfície decorrente da sua série liotrópica, devida à elevada ligação dos íons de Ca^{2+} entre as cargas negativas presente nos coloides do solo (BLOSS, 1971; RAMPIM et al., 2011; TIECHER et al., 2019; BESEN et al., 2021).

O teor de magnésio trocável (Mg^{2+}) sofreu redução pela aplicação de gesso agrícola. No entanto, as maiores concentrações de Mg^{2+} é devido aplicação isolada dos corretivos, onde CC e CRM apresentaram maiores concentrações de Mg^{2+} (1,73 e 1,42 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ na camada de 0 – 0,05, respectivamente) (TABELA 5). Por outro lado, o SRM associado ao gesso agrícola apresentou menores concentrações de Mg^{2+} nas camadas mais superficiais do solo. As concentrações de Mg^{2+} sofrem uma rápida alteração em profundidade, na qual as concentrações de Mg^{2+} disponibilizados pelo gesso agrícola mantêm-se estáveis. Contudo, de acordo com a série liotrópica, os íons de Mg^{2+} se movimentam mais rapidamente em relação aos íons de Ca^{2+} , pois este cátion possui uma menor ligação com os coloides.

As concentrações de potássio trocável (K^+) na solução do solo não sofreram com aplicação do gesso agrícola nas camadas avaliadas. No entanto, as maiores

concentrações de K^+ no solo foi devido à aplicação dos corretivos sem o gesso agrícola, sobretudo nas camadas de 0 – 0,05 e 0,05 – 0,10 m (TABELA 5). Onde, o CRM e CC foram os corretivos da acidez que disponibilizaram maiores teores de K^+ (0,43 e 0,41 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ na camada de 0 – 0,05 m, respectivamente). Em virtude de estar associado as cargas negativas pelo aumento do pH através da aplicação isolada de ambos os corretivos da acidez levando a maior disponibilidade de K^+ no solo (CAIRES et al., 1998). Porém, ocorre expressiva redução das concentrações de K^+ em profundidade, a movimentação desse cátion pode estar relacionada ao processo de decomposição de resíduos culturais presentes em áreas agrícolas sem revolvimento do solo (TABELA 5).

4.2 EFEITO DA REAPLICAÇÃO DOS CORRETIVOS DA ACIDEZ E GESSO AGRÍCOLA SOBRE OS TEORES DE CARBONO ORGÂNICO E “LÁBIL” DO SOLO

O conteúdo de carbono orgânico (CO) no solo do solo foram influenciados pela aplicação dos corretivos e o gesso agrícola. Porém, as maiores concentrações de carbono orgânico (CO) se deu pela aplicação dos corretivos, sobretudo pela aplicação de CC e tratamento controle associados ao gesso agrícola (4,96 e 4,58 g kg^{-1} na camada de 0 - 0,05 m, respectivamente), enquanto o SRM e CRM com teores de 4,34 e 4,08 g kg^{-1} , respectivamente. Esta mesma dinâmica entre os corretivos sem ou com aplicação de gesso agrícola ocorre sobre as concentrações de carbono em profundidade (TABELA 6).

As maiores concentrações de carbono orgânico na camada superficial é decorrente do maior aporte de resíduos sobre o solo, principalmente em sistemas de manejo de plantio direto (SPD) contribuindo na preservação das boas condições físicas e químicas do solo (BAYER et al., 2000; ALBUQUERQUE et al., 2003; SALTON et al., 2008). Aplicação dos corretivos da acidez podem proporcionar elevadas concentrações de carbono orgânico nas camadas mais superficiais (BRIEDIS et al., 2012). Contudo, a complexidade que a dinâmica do carbono exerce nas diferentes funções do solo ainda a necessidade de entendimento, principalmente sobre a dinâmica das frações do carbono no solo (WEIL et al. 2003). Além disso, as concentrações de carbono orgânico (CO) no solo.

O efeito dos corretivos e do gesso agrícola aumentou os teores de carbono “lábil” no solo, porém não houve distinções entre os corretivos e o gesso agrícola (GRÁFICO 1). Contudo, as frações lábeis de carbono possuem participação importante sobre alguns indicadores biológicos, como os aminoácidos, glomalina, polissacarídeos, exsudatos de raízes, além na contribuição na ação dos agentes temporários presentes da agregação do solo (TISDALL & OADES, 1982; BLAIR et al. 1995; SALTON et al., 2008). Além de que sistemas de manejo de plantio direto (SPD) proporciona maiores índices de frações lábeis de carbono em relação ao sistema de manejo de plantio convencional (NOGUEIROL et al., 2014).

4.3 EFEITO DA REAPLICAÇÃO DOS CORRETIVOS DA ACIDEZ E GESSO AGRÍCOLA SOBRE AGREGAÇÃO E ESTABILIDADE DE AGREGADOS

Aos 12 meses após a reaplicação dos tratamentos, houve um leve aumento do DMP pela aplicação dos corretivos, onde o SRM foi o corretivo que proporcionou maior DMP (14,45 mm na camada de 0 – 0,05 m) sendo 1,98 mm superior em relação aos demais corretivos. Contudo, o DMP nessa camada apresentou correlação negativa forte com o teor de Al^{3+} pela função direta com o pH do solo (TABELA 8). Já nas camadas de 0,05 – 0,10 e 0,10 – 0,20 m, aplicação de gesso agrícola apresentou maior DMP, onde associado ao SRM e CC o gesso agrícola apresentou maior DMP (SRM = 12,62 mm e CC = 12,58 mm). A aplicação de gesso agrícola, pode influenciar os agregados em camadas de até 0,20 m. Entretanto, houve um grau de dependência entre o DMP aos níveis de alumínio pelo aumento do pH do solo (Al^{3+}) no solo. Ressaltando, importantes correlações entre os atributos químicos e físicos do solo (CASTRO FILHO et al., 1991; CREMON et al., 2009; AULER, 2018).

Ademais, a ausência de efeito negativos dos corretivos da acidez em relação ao DMP pode ocasionar efeitos deletérios na estrutura do solo, como maior elevação de argila dispersa e grau de floculação (ZONTA et al. 2006; AULER et al. 2017). Por outro lado, aplicação dos corretivos, não reduziu significativamente o DMP dos agregados, sendo uma alternativa benéfica para qualidade estrutural do solo. Porém, este efeito mais pronunciado dos calcários sobre o DMP e as classes de agregados se dá pela constituição dos corretivos, uma vez que os silicatos apresentam uma

reatividade superior aos calcários (BORTOLUZZI et al., 2010; COSTA et al., 2011; DEUS et al., 2014).

As classes de agregados foram influenciadas pela aplicação dos corretivos da acidez, com exceção da de 0,05 – 0,10 m (GRÁFICO). No presente estudo, houve uma predominância de MAgg grandes nas camadas de 0 – 0,05, 0,05 – 0,10 e 0,10 – 0,20 m (com médias de 81,37%, 76,48% e 80,52%, respectivamente) entre os corretivos, enquanto pela aplicação de gesso agrícola (79,77%, 76,48% e 79,86%, respectivamente) (GRÁFICO 5). Estudos realizados por COSTA JUNIOR et al., (2012) e ALMEIDA et al., (2014) verificaram percentuais de 34,80% e 49,03% respectivamente em Latossolos sobre pastagem cultivada. SOARES et al., (2022) em um Latossolo sob o sistema de manejo de plantio direto (SPD) na região Sul do Brasil encontrou um percentual de 74,2% de MAgg grandes, resultados semelhantes no presente estudo. Em virtude de, que a presença de agregados de maiores de diâmetros (2,00 mm) está relacionada quantidade e qualidade da matéria orgânica presente na superfície do solo.

Entre os corretivos da acidez, o SRM foi o corretivo que apresentou maior proporção de MAgg grandes nas camadas de 0 – 0,05 e 0,10 e 0,20 m, além de apresentar correlação negativa forte com o teor de Al^{3+} (GRÁFICO 2a, c e TABELA 8). Enquanto, o CC apresentou maior proporção de MAgg grandes na camada de 0,05 – 0,10 m (GRÁFICO 2a). Observa-se, que a classe de MAgg grandes contribuíram expressivamente no aumento dos teores de carbono orgânico e lábil do solo, principalmente em camadas mais superficiais (TABELA 6 e GRÁFICO 2a). Enquanto, que a classe de MAgg grandes possuem elevada concentração de carbono orgânico decorrentes da formação dos agregados de maior diâmetro, pela presença de raízes, hifas de fungos e matéria orgânica que agem como agentes temporários sobre agregação do solo e que pode ser convertida em energia (SIX et al., 2004).

Quanto a classe de MAgg médios e pequenos, são influenciados pelos corretivos da acidez. Porém, esta classe de agregados mesmo com presença do efeito dos corretivos, onde possuem características de formação e de estabilidade que são similares entre os corretivos. Contudo, o tratamento controle apresentou maiores proporções dessas classes de agregados em toda profundidade, exceto na camada de 0 – 0,05 m (GRÁFICO 2a, b, c). Contudo, entre os corretivos da acidez, aplicação de CRM e CC apresentaram maiores proporções de MAgg médios e pequenos em relação à aplicação de gesso agrícola.

Quanto aos microagregados, com aplicação de gesso agrícola, apresentou menor proporção dessa classe de agregados (GRÁFICO 3). Esta classe de agregados é caracterizada por sua formação por agentes permanentes, possuindo conteúdo de matéria orgânica humífica que é altamente interligada pelas interações com cátions trocáveis e minerais (SIX et al., 2004). Dessa forma, no presente estudo esta classe de agregados apresentou correlações com o teor de Mg^{2+} , $H+Al$ e com pH do solo (TABELA 8). Os resultados dos agregados por camada (GRÁFICOS 2 e 3) ressaltam a importância do estudo em observar como o sistema radicular influencia na condição estrutural do solo.

Contudo, processos permanentes que estão presentes na disponibilização de carbono orgânico do solo, podem estar relacionados ao aumento das proporções de macroagregados de maiores diâmetros. Os agregados com diâmetros de até 2,00 mm são influenciados por agentes ligados aos minerais de argila, como os óxidos de Fe. Contudo, podem estar relacionados aos desenvolvimentos de hifas presentes nas raízes (TISTALL & OADES, 1982; RHEINHEIMER & ANGHINONI, 2001). Alterações nas propriedades químicas do solo, principalmente com teores de Ca^{2+} elevados e a complexidade da relação organomineral pode influenciar diretamente no acréscimo na estabilidade dos agregados (CHRISTENSEN, 2001; ALCÁÑIZ et al., 2016; AULER et al., 2017). Agregação do solo é influenciada principalmente pelo uso e manejo do solo, visto que o uso intensivo do solo acarreta numa desestabilização e desagregação do solo.

5 CONCLUSÃO

O efeito da reaplicação dos corretivos e do gesso agrícola sobre acidez do solo será mais evidente a um maior longo prazo de aplicação, necessitando de posteriores avaliações.

A combinação do calcário de rocha moída e calcário calcinado com o gesso agrícola, promoveu melhor correção do pH (acidez ativa) em superfície (0 – 0,20 m). Além de apresentar efeito positivo (Sem ou Com gesso) de gesso na disponibilidade de Ca^{2+} no em superfície.

As classes de agregados estão fortemente ligadas aos componentes químicos do solo e dos cátions e ao carbono orgânico do solo.

A classe MAgg grandes (macroagregados) aumenta conforme à aplicação dos corretivos da acidez sem aplicação de gesso agrícola.

6 REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; ERNANI, P.R.; MAFRA, A.L.; FONTANA, E.C. Aplicação de calcário e fósforo em estabilidade da estrutura de um solo ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.799-806, 2003.
- ALCAÑIZ, M. et al. Long-term dynamics of soil chemical properties after a prescribed fire in a Mediterranean forest (Montgrí Massif, Catalonia, Spain). **Science of the total environment**, v. 572, p. 1329-1335, 2016.
- ALCARDE, J. A., & RODELLA, A. A. Qualidade e legislação de fertilizantes e corretivos. *CURI, N.; MARQUES, JJ; GUILHERME, LRG; LIMA, JM*, 291-334, 2003.
- ALMEIDA, R. F.; MACHADO, H. A.; MARTINS, F. P.; QUEIROZ, I. D.S.; TEIXEIRA, W. G.; MIKHAEL, J. E. R.; BORGES, E. N. Correlação do tamanho e da distribuição dos agregados em latossolos amarelo da região do Triângulo Mineiro com diferentes ambientes. *Bioscience Journal*. v. 30, n. 5, 1325-1334, 2014.
- ALVARES, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Gonçalves, J. D. M., & Sparovek, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, 22(6), 711-728, 2013.
- ANDERSON, G. C., PATHAN, S., EASTON, J., HALL, D. J., & SHARMA, R. Short-and long-term effects of lime and gypsum applications on acid soils in a water-limited environment: 2. Soil Chemical Properties. **Agronomy**, 10(12), 2020.
- ANIKWE, M. A. N. Soil quality Assessment and Monitoring: A review of current research efforts. **New Generation Ventures Ltd., Enugu Southeast Nigeria**, 2006.
- AULER, A. C. Efeitos de corretivos da acidez do solo associados ao gesso agrícola sobre os atributos físicos e químicos do solo. **Tese**. 2018.
- AULER, A. C., Caires, E. F., Pires, L. F., Galetto, S. L., Romaniw, J., & Charnobay, A. C. Lime effects in a no-tillage system on Inceptisols in Southern Brazil. **Geoderma Regional**, 16, 2019.
- AULER, A. C., Galetto, S. L., Hennipman, F. S., Guntzel, E. D., Giarola, N. F., & Fonseca, A. F. D. (2017). Soil structural quality degradation by the increase in grazing intensity in integrated crop-livestock system. **Bragantia**, 76, 550-556, 2017.
- BARRETO, RC., MADARI, BE., MADDOCK, JE., MACHADO, PL., TORRES, E., FRANCHINI, J., & COSTA, AR. The impact of soil management on aggregation, carbon stabilization and carbon loss as CO₂ in the surface layer of a Rhodic Ferralsol in Southern Brazil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, 132(3-4), 243-251, 2009.
- BAYER, C., MIELNICZUK, J., & MARTIN-NETO, L. (2000). Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO₂. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 24, 599-607, 2000.
- BARTLETT, MS. Properties of sufficiency and statistical tests. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A-Mathematical and Physical Sciences*, 160(901), 268-282, 1937.
- BESSEN, M. R., RIBEIRO, R. H., ESPER NETO, M., MINATO, E. A., CONEGLIAN, C. F., KACHINSKI, W. D., & BATISTA, M. A. Lime and phosphogypsum application

management: changes in soil acidity, sulfur availability and crop yield. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 45, 2021.

BLAIR, G. J., LEFROY, R. D., & LISLE, L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. **Australian Journal Of Agricultural Research**, 46(7), 1459-1466, 1995.

BLANCO-CANQUI, HUMBERTO; LAL, RATTAN. No-tillage and soil-profile carbon sequestration: An on-farm assessment. **Soil Science Society of America Journal**. SSSAJ: Volume 72: Number 3, p.693-701, 2008.

BOLAN, Ns., Adriano, Dc., & Curtin, D. Soil acidification and liming interactions with nutrient and heavy metal transformation and bioavailability. **Advances In Agronomy**, 78(21), 5-272, 2003.

BORTOLUZZI, E. C., PARIZE, G. L., KORCHAGIN, J., SILVA, V. R. D., RHEINHEIMER, D. D. S., & KAMINSKI, J. (2014). Soybean root growth and crop yield in reponse to liming at the beginning of a no-tillage system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 38(1), 262-271, 2014.

BORTOLUZZI, E. C., PÉREZ, C. A., ARDISSON, J. D., TIECHER, T., & CANER, L. (2015). Occurrence of iron and aluminum sesquioxides and their implications for the P sorption in subtropical soils. **Applied Clay Science**, 104, 196-204, 2015.

BORTOLUZZI, E.C.; POLETO, C.; BAGINSKI, Á.J.; SILVA, V.R. DA. Aggregation of subtropical soil under liming: a study using laser diffraction. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.725-734, 2010.

BOSSOLANI, JW., LAZARINI, E., SANTOS, FL., SANCHES, IR., MENEGHETTE, HHA., PARRA, LF., & SOUZA, LGM. Surface reapplication of lime and gypsum on maize cultivated sole and intercropped with Urochloa. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, 49(15), 1855-1868, 2018.

BRIEDIS, C., SÁ, J. C. D. M., CAIRES, E. F., NAVARRO, J. D. F., INAGAKI, T. M., & FERREIRA, A. D. O. (2012). Carbono do solo e atributos de fertilidade em resposta à calagem superficial em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 47, 1007-1014, 2012.

BROWN, T. T., KOENIG, R. T., HUGGINS, D. R., HARSH, J. B., & ROSSI, R. E. Lime effects on soil acidity, crop yield, and aluminum chemistry in direct-seeded cropping systems. **Soil Fertility & Plant Nutrition**. SSSAJ: Volume 72: Number 3, p.634-640, 2008.

CAIRES, E. F.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J. Lime application in the establishment of a no-till system for grain crop production in Southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 89, p. 3–12, 2006.

CAIRES, E. F.; CHUEIRI, W. A.; MADRUGA, E. F.; FIGUEIREDO, A. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicado na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p.27–34, 1998.

CAIRES, E. F.; FELDHAUS, I. C.; BLUM, J. Crescimento radicular e nutrição da cevada em função da calagem e aplicação de gesso. **Bragantia**, v. 60, p. 213–223.

- CAIRES, E. F.; GARBUIO, F. J.; CHURKA, S.; BARTH, G.; CORRÊA, J. C. L. (2008). Effects of soil acidity amelioration by surface liming on no-till corn, soybean, and wheat root growth and yield. **European Journal of Agronomy**, v. 28, p. 57–64, 2021.
- CAIRES, E. F.; GARBUIO, F. J.; CHURKA, S.; JORIS, H. A. W. Use of gypsum for crop grain production under a subtropical no-till cropping system. **Agronomy Journal**, v. 103, p. 1804–1814, 2011.
- CAIRES, E. F.; JORIS, H. A. W.; CHURKA, S. Long-term effects of lime and gypsum additions on no-till corn and soybean yield and soil chemical properties in southern Brazil. **Soil Use and Management**, v. 27, p. 45–53, (2011a).
- CAIRES, E. F.; KUSMAN, M. T.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; PADILHA, J. M. Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 125–136, 2004.
- CAIRES, E. F.; MASCHIETTO, E. H. G.; GARBUIO, F. J.; CHURKA, S.; JORIS, H. A. W. (2011c) Surface application of gypsum in low acidic Oxisol under no-till cropping system. **Scientia Agrícola**, v. 68, p. 209–216, 2011c.
- CAIRES, E.F. Correção da acidez do solo em sistema plantio direto. International Plant Nutrition Institute, **Informações Agronômicas**. Piracicaba, n.141, 2013.
- CAIRES, E.F.; BANZATTO, D.A. & FONSECA, A.F. Calagem na superfície em sistema de plantio direto. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, Campinas, v. 24, p.161-169, 2000.
- CAIRES, E.F.; BLUM, J.; BARTH, G.; GARBUIO, F.J.; KUSMAN, M.T. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 275–286, 2003.
- CAIRES, EF., JORIS, HAW. (2016). Uso de corretivos granulados na agricultura. **IPNI-International Plant Nutrition Institute, Piracicaba-SP**, n. 154, p. 17-21, 2016.
- CAIRES, EF.; GUIMARÃES, AMA. (2018). Novel Phosphogypsum Application Recommendation Method under Continuous No-Till Management in Brazil. **Agronomy Journal**, v. 110, n. 5, p. 1987-1995, 2018.
- CARDUCCI, C. E., OLIVEIRA, G. C., CURI, N., HECK, R. J., ROSSONI, D. F., DE CARVALHO, T. S., & COSTA, A. L. Gypsum effects on the spatial distribution of coffee roots and the pores system in oxidic Brazilian Latosol. **Soil and Tillage Research**, 145, 171-180, 2015.
- CASTRO FILHO, C.; LOGAN, T. J. Liming effects on the stability and erodibility of some Brazilian Oxisols. **Soil Science Society of American Journal**, v. 55, p. 1407–1413, 1991.
- CASTRO FILHO, C; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, AI. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, n. 3, p. 527-538, 1998.
- CASTRO, GSA., CALONEGO, JC., CRUSCIOL, CAC. (2011). Propriedades físicas do solo em sistemas de rotação de culturas conforme o uso de corretivos da acidez. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 12, p. 1690-1698, 2011.

CASTRO, GSA., CRUSCIOL, CAC., ROSOLEM, CA., CALONEGO, JC., & BRYE, KR. Surface lime and silicate application and crop production system effects on physical characteristics of a Brazilian Oxisol. **Soil Research**, 55(8), 778-787, 2017.

COSTA JUNIOR, C.; PÍCCOLO, M. D. C.; SIQUEIRA NETO, M.; CAMARGO, P. B. D.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M. Carbono em agregados do solo sob vegetação nativa, pastagem e sistemas agrícolas no Bioma Cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. v. 36, n. 4, 2012.

COSTA, MJ., JUNIOR, EJR., ROSA, YBCJ., SOUZA, LCF., & ROSA, CBJ., Atributos químicos e físicos de um Latossolo sendo influenciados pelo manejo do solo e efeito da gessagem. **Acta Scientiarum. Agronomy**, 29(5), 701-708, 2007.

CREMON, C., ROSA JÚNIOR, EJ., SERAFIM, ME., & ONO, FB. Análise micromorfométrica de agregados de um Latossolo Vermelho distroférico em diferentes sistemas de manejo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, 31(1), 139-146, 2009.

CRUSCIOL, C. A., MARQUES, R. R., CARMEIS FILHO, A. C., SORATTO, R. P., COSTA, C. H., FERRARI NETO, J., ... & FRANZLUEBBERS, A. J. (2019). Lime and gypsum combination improves crop and forage yields and estimated meat production and revenue in a variable charge tropical soil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, 115(3), 347-372, 2019.

CULMAN, S. W., SNAPP, S. S., FREEMAN, M. A., SCHIPANSKI, M. E., BENISTON, J., LAL, R., & WANDER, M. M. Permanganate oxidizable carbon reflects a processed soil fraction that is sensitive to management. **Soil Science Society of America Journal**, 76(2), 494-504, 2012.

DANE, JH E TOPP, CG (Eds.) Métodos de análise de solo, Parte 4: Métodos físicos (Vol. 20). **John Wiley & Sons**, 2020.

DE CASTRO PIAS, O.H., TIECHER, T., CHERUBIN, M.R., SILVA, A.G., & BAYER, C. Does gypsum increase crop grain yield on no-tilled acid soils? A meta-analysis. **Agronomy Journal**, 112, 675-692, 2020.

DE CASTRO PIAS, OH., TIECHER, T., CHERUBIN, MR., DE MORAES, RP., & BAYER, C. (2019) Effect of gypsum rates and lime with different reactivity on soil acidity and crop grain yields in a subtropical Oxisol under no-tillage. **Soil and Tillage Research**, 193, p. 27-41, 2019.

DE OLIVEIRA FERREIRA, A., DE MORAES SÁ, J. C., LAL, R., TIVET, F., BRIEDIS, C., INAGAKI, T. M., & ROMANIW, J. Macroaggregation and soil organic carbon restoration in a highly weathered Brazilian Oxisol after two decades under no-till. **Science of the Total Environment**, 621, 1559-1567, 2018.

DEUS, A. C. F., BÜLL, L. T., CORRÊA, J. C., & VILLAS BOAS, R. L. Determination of reactivity rates of silicate particle-size fractions. *Revista Ceres*, 61, 265-272, 2014.

DEUS, A. C. F., BÜLL, L. T., GUPPY, C. N., SANTOS, S. D. M. C., & MOREIRA, L. L. Q. Effects of lime and steel slag application on soil fertility and soybean yield under a no till-system. **Soil and Tillage Research**, 196, 104422, 2020.

FARIA, L.A., LUZ, P.H.C.; RODRIGUES, R.C.; HERLING, V.R.; MACEDO, F.B. Efeito residual da silicatagem no solo e na produtividade do capim-marandu sob pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1209-1216, 2008.

F... DONALD BLOSS. (1971). *Crystallography and crystal chemistry: an introduction*. Holt, Rinehart and Winston, 1971.

FISHER, R. A., The design of the experiments. **8. Ed. Edinburgh: Oliver and Boyd**, 1966.

MARQUES, R., & MOTTA, ACV. Análise química do solo para fins de fertilidade. In: LIMA, RM. (org.). **Manual de diagnóstico da fertilidade e manejo dos solos agrícola. Curitiba, UFPR/DSEA**, p. 81-102, 2003.

MEURER, E. J., Fundamentos de química do solo. **Porto Alegre: Evangraf**, 5, 2006.

NEPAR - Núcleo Estadual do Paraná. **Manual de adubação e calagem para o**

NOGUEIROL, R. C., CERRI, C. E. P., DA SILVA, W. T. L., & ALLEONI, L. R. F. (2014). Effect of no-tillage and amendments on carbon lability in tropical soils. *Soil and Tillage Research*, 143, 67-76, 2014.

NOLLA, A., DA SILVA VOLK, L. B., MUNIZ, A. S., & DA SILVA, T. R. B. (2010). Correção da acidez do solo em profundidade através do uso de carbonatos, silicatos e casca de arroz em lisímetros. **Revista cultivando o saber**, 3(2), 1-8, 2010.

NORA, D. DALLA; AMADO, T. J. C. Improvement in chemical attributes of Oxisol subsoil and crop yields under no-till. *Agronomy Journal*, v. 105, n. 5, p. 1393-1403, 2013.

RHEINHEIMER, D. D., SANTOS, E. J. S., KAMINSKI, J., BORTOLUZZI, E. C., & GATIBONI, L. C. (2000). Alterações de atributos do solo pela calagem superficial e incorporada a partir de pastagem natural. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 24, 797-805.

SOARES, B. P., CECAGNO, D., VELOSO, M. G., DA SILVA SCHAIDHAUER, W., LOCHMANN, S. H., CARVALHO, J. K., ... & TIECHER, T. Long-term effects of grazing intensities on soil aggregation and organic matter in a no-tilled integrated soybean-cattle system. *Soil Security*, 6, 100028, 2022.

SUMNER, M. E., & NOBLE, A. D. Soil acidification: the world story. In **Handbook of soil acidity** (pp. 15-42). CRC Press, 2003.

PAULETTI, V. MOTTA, ACV. Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná. 2 ed. Curitiba: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Núcleo Estadual Paraná**; 2019.

PAULETTI, V., PIERRI, L. D., RANZAN, T., BARTH, G., & MOTTA, A. C. V. Efeitos em longo prazo da aplicação de gesso e calcário no sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 38(2), 495-505, 2014.

PEARSON, KARL; FILON, LOUIS NAPOLEON GEORGE. VII. Mathematical contributions to the theory of evolution. —IV. On the probable errors of frequency constants and on the influence of random selection on variation and correlation. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical or Physical Character*, n. 191, p. 229-311, 1898.

PRADO, R.M. & NATALE, W. Calagem na nutrição de cálcio e no desenvolvimento do sistema radicular da goiabeira. **Pesq. Agropec. Bras.**, 39:1007-1012, 2004.

- PRADO, R. D. M., & FERNANDES, F. M. Eficiência da escória de siderurgia em latossolo vermelho na nutrição e na produção de matéria seca de cana-de-açúcar cultivada em vaso. **STAB Açúcar, Álcool e Subprodutos, Piracicaba**, 19, 26-29, 2001.
- PEREIRA, H. S., GAMA, A. J. M., CAMARGO, M. S. D., & KORNDORFER, G. H. Reatividade de escórias silicatadas da indústria siderúrgica. *Ciência e Agrotecnologia*, 34, 382-390, 2010.
- QUAGGIO, JA. Acidez e calagem em solos tropicais. Instituto Agrônomo, 2000.
- RABEL, D. O., MOTTA, A. C. V., BARBOSA, J. Z., MELO, V. F., & PRIOR, S. A. Depth distribution of exchangeable aluminum in acid soils: A study from subtropical Brazil. **Acta Scientiarum. Agronomy**, 40, 2018.
- RAMPIM, L., LANA, M. D. C., FRANDOLOSO, J. F., & FONTANIVA, S. Atributos químicos de solo e resposta do trigo e da soja ao gesso em sistema semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35(5), 1687-1698, 2011.
- RHEINHEIMER, D. D., SANTOS, E. J. S., KAMINSKI, J., BORTOLUZZI, E. C., & GATIBONI, L. C. Alterações de atributos do solo pela calagem superficial e incorporada a partir de pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência Do Solo**, 24, 797-805, 2000.
- RHEINHEIMER, D. S., TIECHER, T., GONZATTO, R., ZAFAR, M., & BRUNETTO, G. Residual effect of surface-applied lime on soil acidity properties in a long-term experiment under no-till in a Southern Brazilian sandy Ultisol. **Geoderma**, 313, 7-16, 2018.
- SALTON, J. C., MIELNICZUK, J., BAYER, C., BOENI, M., CONCEICAO, P. C., FABRÍCIO, A. C., & BROCH, D. L. Soil aggregation and aggregate stability under crop-pasture systems in Mato Grosso do Sul State, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32, 11-21, 2008.
- SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.; ANJOS, L.H.; OLVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.C.; ARAÚJO FILHO, J.C.; OLIVEIRA, J.B.; CUNHA, J.F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5 ed. rev. ampl. Embrapa. Brasília, 2018.
- SHAPIRO, SS., & WILK, MB. An analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika**, 52(3/4), p. 591-611, 1965.
- SIX, J., BOSSUYT, H., DEGRYZE, S., & DENEFF, K. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. **Soil And Tillage Research**, 79(1), 7-31, 2004.
- SORATTO, R. P., & CRUSCIOL, C. A. C. Atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de calcário e gesso em sistema plantio direto recém-implantado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32(2), 675-688, 2008.
- STONE, LOYD R.; SCHLEGEL, ALAN J. Tillage and crop rotation phase effects on soil physical properties in the west-central Great Plains. **Agronomy Journal**, v. 102, n. 2, p. 483-491, 2010.
- SUMNER, M. E. ET AL. Amelioration of an acid soil profile through deep liming and surface application of gypsum. **Soil Science Society of America Journal**, v. 50, n. 5, p. 1254-1258, 1986.

TEAM, RC., R: A language and environment for statistical computing [Internet], 2018. **Vienna, Austria, R Foundation for Statistical Computing**, 2020.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soil. **Journal of Soil Science**, v. 33, p. 141–163, 1982.

TIECHER, T., PIAS, O. H. D. C., BAYER, C., MARTINS, A. P., DENARDIN, L. G. D. O., & ANGHINONI, I. Crop response to gypsum application to subtropical soils under no-till in Brazil: a systematic review. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 42, 2018.

TIECHER, T., DENARDIN, L. G. D. O., MARTINS, A. P., PIAS, O. H., NUNES, L. R., TIECHER, T. L., ... & DOS SANTOS, D. R. Dynamics of sulfate and basic cations in soil solution as affected by gypsum fertilization in an Ultisol of Southern Brazil. **Archives of Agronomy and Soil Science**, 2019.

TREVISAN, R., SALEMI, LF., DE MORAES, JM., & DE OLIVEIRA, JCM. Condutividade hidráulica do solo saturado na zona vadosa in situ e em laboratório. **Irriga**, 14(3), p. 413-422, 2009.

TUKEY, JW. A quick compact two sample test to Duckworth's specifications. **Technometrics**, 1(1), p. 31-48, 1959.

van RAIJ, B. Fertilidade do solo e manejo de nutrientes. **Instituto Internacional de Nutrição Vegetal**, 2011.

VICENSI, M., MÜLLER, M. M. L., KAWAKAMI, J., NASCIMENTO, R. D., MICHALOVICZ, L., & LOPES, C. Do rates and splitting of phosphogypsum applications influence the soil and annual crops in a no-tillage system? **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 40, 2016.

VITTI, G.C & PRIORI, J.C. Calcário e gesso: os corretivos essenciais ao plantio direto. **Visão Agrícola, Piracicaba**, v. 6, n. 9, p. 30-34, 2009.

VITTI, G.C.; ZAVASCHI, E.; MOURA, T.H. DE; GOMES, M.H.F. Estudos confirmam efeitos favoráveis do gesso agrícola à cultura do milho. **Visão Agrícola, Piracicaba**, n.13, p. 49–51, 2015.

YODER, RE. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses 1. **Agronomy Journal**, 28(5), p. 337-351, 1936.

ZAMBROSI, F. C. B., ALLEONI, L. R. F., & CAIRES, E. F. Aplicação de gesso agrícola e especiação iônica da solução de um Latossolo sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, 37(1), 110-117, 2007.

ZOCA, S. M., & PENN, C. An important tool with no instruction manual: a review of gypsum use in agriculture. **Advances in Agronomy**, 144, 1-44, 2017.

7 APÊNDICE

APÊNDICE 1 – Resumos dos quadros de análise de variância (ANOVA), apresentando os testes de Bartlett (B_0) e normalidade de Shapiro-Wilk (W) dos componentes da acidez [acidez ativa (pH em CaCl_2), potencial (H+Al) e trocável (Al^{3+})] em função da reaplicação (12 meses após aplicação) dos corretivos da acidez do solo associados ou não ao gesso agrícola em camadas de solo.

Fontes de variação	GL	pH (CaCl ₂)		H+Al		Al ³⁺	
		QM	p	QM	p	QM	p
Camada de 0 – 0,05 m							
Bloco	2	0,227	0,054	5,401	0,013	0,361	0,160
Corretivos	3	0,878	0,002	11,87	0,001	0,406	0,115
Gesso	1	0,030	0,498	3,993	0,055	0,034	0,660
Interação	3	0,173	0,082	1,581	0,206	0,013	0,970
Resíduos	14	0,063		0,912		0,172	
CV (%)		5,67		14,47			
B ₀		1,624	0,654	16,404	0,29	1,683	0,640
W		0,973	0,745	0,835	0,001	0,965	0,548
Camada de 0,05 – 0,10 m							
Bloco	2	0,135	0,166	0,382	0,582	0,240	0,181
Corretivos	3	0,263	0,030	2,814	0,027	11,504	0,000
Gesso	1	0,014	0,652	0,001	0,980	4,959	0,000
Interação	3	0,013	0,891	0,664	0,431	7,016	0,000
Resíduos	14	0,066		0,681		0,124	
CV (%)		6,14		10,83		22,79	
B ₀		1,315	0,725	0,788	0,852	15,49	0,001
W		0,975	0,809	0,949	0,265	0,902	0,024
Camada de 0,10 – 0,20 m							
Bloco	2	0,062	0,119	0,827	0,587	0,248	0,396
Corretivos	3	0,016	0,585	0,064	0,987	0,110	0,727
Gesso	1	0,001	0,840	0,350	0,636	0,004	0,898
Interação	3	0,024	0,441	0,711	0,705	0,214	0,487
Resíduos	14	0,025		1,500		0,251	
CV (%)		3,89		16,45		43,05	
B ₀		0,510	0,916	4,994	0,172	10,906	0,012
W		0,952	0,313	0,954	0,330	0,937	0,143
Camada de 0,20 – 0,40 m							
Bloco	2	0,016	0,527	0,027	0,961	0,283	0,165
Corretivos	3	0,005	0,890	1,056	0,258	0,033	0,867
Gesso	1	0,012	0,488	2,281	0,093	0,012	0,771
Interação	3	0,010	0,731	2,576	0,039	0,033	0,112
Resíduos	14	0,020		0,706		0,138	
CV (%)		3,83		12,43		30,57	
B ₀		0,510	0,916	4,994	0,172	10,906	0,012
W		0,952	0,313	0,954	0,330	0,937	0,143
Camada de 0,40 – 0,60 m							
Bloco	2	0,264	0,043	0,305	0,658	0,027	0,667
Corretivos	3	0,066	0,423	0,207	0,829	0,023	0,776
Gesso	1	0,170	0,134	0,375	0,478	0,187	0,111
Interação	3	0,238	0,042	2,469	0,044	0,137	0,142
Resíduos	14	0,067		0,707		0,064	
CV (%)		5,98		14,38		37,75	
B ₀		8,241	0,041	0,402	0,939	0,367	0,946
W		0,930	0,101	0,936	0,134	0,353	0,955

GL = graus de liberdade; QM = quadrado médio; p = probabilidade; CV (%) = coeficiente de variação.
Fonte: O autor (2021).

APÊNDICE 2 – Desdobramento da interação sobre o efeito da reaplicação (12 meses após aplicação) entre os corretivos da acidez [controle, calcário de rocha moída (CRM), silicato de rocha moída (SRM), calcário calcinado (CC)] associado ou não com o gesso agrícola sobre os componentes da acidez do solo [acidez ativa (pH em CaCl₂), acidez potencial (H+Al) e acidez trocável (Al³⁺)] em camadas de solo.

Fontes de variação		GL	pH (CaCl ₂)		H+Al		Al ³⁺	
			QM	p	QM	p	QM	p
Camada de 0 – 0,05 m								
Gesso em controle	1	0,009	0,509	0,735	0,460	----	----	
Gesso em CRM	1	0,072	0,084	0,960	0,400	----	----	
Gesso em SRM	1	0,005	0,619	6,615	0,039	----	----	
Gesso em CC	1	0,003	0,699	0,806	0,44	----	----	
Corretivos sem Gesso	3	1,063	<0,001	23,651	<0,001	----	----	
Corretivos com Gesso	3	1,104	<0,001	14,863	4,00E-04	----	----	
Resíduos	14	0,029		1,276		----		
Camada de 0,05 – 0,10 m								
Gesso em controle	1	----	----	0,326	0,571	----	----	
Gesso em CRM	1	----	----	0,240	0,627	----	----	
Gesso em SRM	1	----	----	1,815	0,193	----	----	
Gesso em CC	1	----	----	1,041	0,318	----	----	
Corretivos sem Gesso	3	----	----	5,383	0,010	----	----	
Corretivos com Gesso	3	----	----	7,316	0,003	----	----	
Resíduos	14	----		0,972		----		
Camada de 0,10 – 0,20 m								
Gesso em controle	1	----	----	----	----	----	----	
Gesso em CRM	1	----	----	----	----	----	----	
Gesso em SRM	1	----	----	----	----	----	----	
Gesso em CC	1	----	----	----	----	----	----	
Corretivos sem Gesso	3	----	----	----	----	----	----	
Corretivos com Gesso	3	----	----	----	----	----	----	
Resíduos	14	----		----		----		
Camada de 0,20 – 0,40 m								
Gesso em controle	1	----	----	0,481	0,509	----	----	
Gesso em CRM	1	----	----	0,026	0,875	----	----	
Gesso em SRM	1	----	----	2,160	0,173	----	----	
Gesso em CC	1	----	----	1,401	0,267	----	----	
Corretivos sem Gesso	3	----	----	0,322	0,820	----	----	
Corretivos com Gesso	3	----	----	0,851	0,509	----	----	
Resíduos	14	----		1,051		----		
Camada de 0,40 – 0,60 m								
Gesso em controle	1	----	----	0,135	0,675	----	----	
Gesso em CRM	1	----	----	0,081	0,744	----	----	
Gesso em SRM	1	----	----	2,801	0,071	----	----	
Gesso em CC	1	----	----	0,106	0,709	----	----	
Corretivos sem Gesso	3	----	----	0,214	0,831	----	----	
Corretivos com Gesso	3	----	----	0,723	0,429	----	----	
Resíduos	14	----		0,737		----		

GL = graus de liberdade; QM = quadrado médio; p = probabilidade; CV (%) = coeficiente de variação.
Fonte: O autor (2021).

APÊNDICE 3 – Resumos dos quadros de análise de variância (ANOVA), apresentando os testes de Bartlett (B_0) e normalidade de Shapiro-Wilk (W) sobre os cátions básicos trocáveis [cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}) e potássio (K^+)] em função dos efeitos da reaplicação (após 12 após aplicação) dos corretivos da acidez do solo e do gesso agrícola em camadas de solo.

Fontes de variação	de GL	Ca ²⁺		Mg ²⁺		K ⁺	
		QM	p	QM	p	QM	p
Camada de 0 – 0,05 m							
Bloco	2	11,165	0,017	1,061	0,007	1,536	0,010
Corretivos	3	1,694	0,501	2,443	0,501	0,452	0,173
Gesso	1	24,611	0,003	0,102	0,003	0,020	0,773
Interação	3	18,336	<0,001	1,703	<0,001	0,371	0,239
Resíduos	14	2,049		0,149		0,236	
CV (%)		22,67		24,48		58,57	
B ₀		5,966	0,111	11,542	0,001	1,64	0,650
W		0,958	0,417	0,861	0,003	0,965	0,559
Camada de 0,05 – 0,10 m							
Bloco	2	0,807	0,416	1,282	0,004	0,207	0,011
Corretivos	3	2,634	0,064	2,351	0,000	0,284	0,001
Gesso	1	5,041	0,030	0,070	0,514	0,254	0,015
Interação	3	2,429	0,070	0,029	0,903	0,109	0,052
Resíduos	14	0,866		0,157		0,033	
CV (%)		22,07		41,92		42,78	
B ₀		2,736	0,434	15,705	0,001	3,737	0,291
W		0,922	0,06	0,923	0,069	0,959	0,427
Camada de 0,10 – 0,20 m							
Bloco	2	6,242	0,030	0,483	0,088	0,792	0,015
Corretivos	3	0,796	0,638	0,274	0,223	0,341	0,105
Gesso	1	3,081	0,156	0,050	0,590	0,183	0,269
Interação	3	1,098	0,515	0,023	0,932	0,093	0,582
Resíduos	14	1,377		0,166		0,138	
CV (%)		35,92		66,64		88,18	
B ₀		1,277	0,734	1,661	0,645	3,497	0,321
W		0,955	0,355	0,942	0,186	0,973	0,755
Camada de 0,20 – 0,40 m							
Bloco	2	0,405	0,282	0,045	0,058	0,038	0,033
Corretivos	3	0,189	0,597	0,068	0,012	0,152	0,001
Gesso	1	1,306	0,053	0,081	0,025	0,114	0,002
Interação	3	0,416	0,278	0,046	0,043	0,020	0,120
Resíduos	14	0,293		0,013		0,008	
CV (%)		26,51		26,91		29,94	
B ₀		1,664	0,644	0,342	0,951	1,169	0,760
W		0,917	0,0501	0,947	0,239	0,934	0,124
Camada de 0,40 – 0,60 m							
Bloco	2	0,320	0,239	0,085	0,057	0,007	0,220
Corretivos	3	0,139	0,572	0,014	0,626	0,071	0,001
Gesso	1	9,126	0,001	0,001	0,796	0,001	0,561
Interação	3	0,055	0,842	0,025	0,407	0,027	0,005
Resíduos	14	0,201		0,024		0,004	
CV (%)		21,83		35,86		30,4	
B ₀		11,043	0,011	3,688	0,297	4,109	0,004
W		0,949	0,259	0,948	0,257	0,939	0,161

GL = graus de liberdade; QM = quadrado médio; p = probabilidade; CV (%) = coeficiente de variação.
Fonte: O autor (2021).

APÊNDICE 4 – Desdobramento da interação sobre o efeito da reaplicação (12 meses após aplicação) entre os corretivos da acidez [controle, calcário de rocha moída (CRM), silicato de rocha moída (SRM), calcário calcinado (CC)] associado ou não com o gesso agrícola sobre os cátions básicos trocáveis do solo [cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}) e potássio (K^+)] em camadas de solo.

Ca ²⁺							
Fontes de variação	GL	Ca ²⁺		Mg ²⁺		K ⁺	
		QM	p	QM	p	QM	p
Camada de 0 – 0,05 m							
Gesso em controle	1	----	----	0,045	0,483	0,010	0,123
Gesso em CRM	1	----	----	1,197	0,002	0,001	0,748
Gesso em SRM	1	----	----	0,072	0,376	0,012	0,098
Gesso em CC	1	----	----	0,540	0,025	0,004	0,312
Corretivos sem Gesso	3	----	----	1,217	2,00E-04	0,001	0,865
Corretivos com Gesso	3	----	----	0,473	0,010	0,012	0,054
Resíduos	14	----		0,086		0,003	
Camada 0,05 – 0,10 m							
Gesso em controle	1	----	----	0,003	0,777	0,001	0,419
Gesso em CRM	1	----	----	0,216	0,034	0,004	0,099
Gesso em SRM	1	----	----	0,015	0,547	0,002	0,232
Gesso em CC	1	----	----	0,013	0,574	0,002	0,232
Corretivos sem Gesso	3	----	----	0,226	0,009	0,001	0,465
Corretivos com Gesso	3	----	----	0,097	0,105	0,005	0,040
Resíduos	14	----		0,039		0,001	
Camada de 0,10 – 0,20 m							
Gesso em controle	1	0,920	0,037	0,001	0,783	0,012	0,034
Gesso em CRM	1	0,595	0,085	0,004	0,282	0,001	1,000
Gesso em SRM	1	0,004	0,877	0,002	0,415	0,001	0,733
Gesso em CC	1	0,988	0,463	0,005	0,229	0,001	0,798
Corretivos sem Gesso	3	1,157	0,360	0,004	0,294	0,006	0,064
Corretivos com Gesso	3	0,749	0,540	0,016	0,015	0,001	0,956
Resíduos	14	0,173		0,003		0,002	
Camada de 0,20 – 0,40 m							
Gesso em controle	1	0,476	6,00E-04	----	----	0,001	0,328
Gesso em CRM	1	0,198	0,013	----	----	0,001	0,572
Gesso em SRM	1	0,074	0,103	----	----	0,001	0,267
Gesso em CC	1	0,216	0,010	----	----	0,001	1,000
Corretivos sem Gesso	3	0,049	0,161	----	----	0,001	0,440
Corretivos com Gesso	3	0,023	0,434	----	----	0,001	0,503
Resíduos	14	0,024		----		0,001	
Camada de 0,40 – 0,60 m							
Gesso em controle	1	1,325	<0,001	----	----	0,001	0,765
Gesso em CRM	1	0,141	0,078	----	----	0,026	<0,001
Gesso em SRM	1	0,008	0,642	----	----	0,001	0,881
Gesso em CC	1	0,033	0,368	----	----	0,001	<0,001
Corretivos sem Gesso	3	0,891	<0,001	----	----	0,013	<0,001
Corretivos com Gesso	3	0,008	0,884	----	----	0,001	0,665
Resíduos	14	0,039		----		0,001	

GL = graus de liberdade; QM = quadrado médio; p = probabilidade; CV (%) = coeficiente de variação.
Fonte: O autor (2021).

APÊNDICE 5 – Resumos dos quadros de análise de variância (ANOVA), apresentando os testes de Bartlett (B_0) e normalidade de Shapiro-Wilk (W) sobre os teores de carbono orgânico total [(CO g kg⁻¹) e carbono “lábil”, oxidado por permanganato de potássio (C-OXP g kg⁻¹)] em função da reaplicação (12 meses após aplicação) dos corretivos da acidez do solo e o gesso agrícola em camadas de solo.

Fontes de variação	GL	CO (g kg ⁻¹)		C-OXP (g kg ⁻¹)	
		QM	p	QM	p
Camada de 0 – 0,05 m					
Bloco	2	1,502	0,018	0,003	0,497
Corretivos	3	0,067	0,867	0,002	0,621
Gesso	1	1,938	0,020	0,001	0,527
Interação	3	1,278	0,020	0,001	0,903
Resíduos	14	0,281		0,004	
CV (%)		12,6		1,01	
B ₀		0,975	0,806	0,973	0,749
W		4,968	0,174	3,505	0,320
Camada de 0 – 0,05 m					
Bloco	2	0,314	0,249	0,006	0,086
Corretivos	3	0,110	0,664	0,003	0,243
Gesso	1	0,050	0,627	0,001	0,984
Interação	3	0,257	0,326	0,001	0,924
Resíduos	14	0,205		0,002	
CV (%)		16,1		0,7	
B ₀		0,974	0,799	0,912	0,039
W		2,625	0,453	7,198	0,065
Camada de 0,10 – 0,20 m					
Bloco	2	0,051	0,751	0,374	0,257
Corretivos	3	0,442	0,102	0,138	0,656
Gesso	1	0,097	0,470	0,903	0,077
Interação	3	0,187	0,399	0,414	0,226
Resíduos	14	0,177		0,252	
CV (%)		19,39		7,59	
B ₀		0,955	0,358	0,758	6,6E-05
W		3,920	0,270	33,858	2,123E-07
Camada de 0,20 – 0,40 m					
Bloco	2	0,326	0,151	----	----
Corretivos	3	0,136	0,463	----	----
Gesso	1	0,003	0,880	----	----
Interação	3	0,170	0,370	----	----
Resíduos	14	0,150		----	
CV (%)		22,97		----	
B ₀		0,846	0,451	----	----
W		3,124	0,285	----	----
Camada de 0,40 – 0,60 m					
Bloco	2	0,607	0,068	----	----
Corretivos	3	0,276	0,260	----	----
Gesso	1	0,264	0,252	----	----
Interação	3	0,559	0,824	----	----
Resíduos	14	0,186		----	
CV (%)		35,97		----	
B ₀		0,916	0,048	----	----
W		7,475	0,058	----	----

LEGENDA: GL = graus de liberdade; QM = quadrado médio; p = probabilidade; CV (%) = coeficiente de variação. Fonte: O autor (2021)

APÊNDICE 6 – Resumos dos quadros de análise de variância (ANOVA), com os testes de homocedasticidade de Bartlet (B_0) e normalidade de Shapiro-Wilk (W) sobre o diâmetro médio ponderado (DMP) e das proporções de macroagregados grandes (Magg grandes), médios (Magg médios), pequenos (Magg pequenos) e microagregados em camada de solo em função da reaplicação (12 meses após aplicação) dos corretivos da acidez e do gesso agrícola.

Fontes de variação	GL	DMP		Magg grandes		Magg médios		Magg pequenos		Microagregados	
		QM	p	QM	p	QM	p	QM	p	QM	p
Bloco	2	1,906	0,297	303,063	Camada de 0 – 0,05 m 0,034	220,056	0,010	9,562	0,227	1,653	0,010
Corretivos	3	1,100	0,533	16,367	0,871	12,019	0,792	0,674	0,948	2,993	<0,001
Gesso	1	1,509	0,323	15,277	0,647	3,959	0,740	8,051	0,258	0,805	0,098
Interação	3	2,682	0,182	110,224	0,239	51,653	0,260	9,179	0,237	1,827	0,003
Resíduos	14	1,441		69,995		34,728		5,791		0,256	
CV (%)		9,44		10,38		59,09		29,29		31,64	
B ₀		4,880	0,180	2,913	0,401	1,843	0,604	3,368	0,338	7,939	0,047
W		0,972	0,882	0,979	0,892	0,977	0,85	0,984	0,964	0,941	0,177
Bloco	2	0,026	0,924	62,500	Camada de 0,05 – 0,10 m 0,138	62,225	0,021	0,409	0,927	0,136	0,425
Corretivos	3	0,247	0,544	24,828	0,461	28,449	0,116	0,708	0,940	0,105	0,564
Gesso	1	1,689	0,040	104,893	0,070	33,481	0,118	17,043	0,097	0,107	0,412
Interação	3	0,173	0,672	14,779	0,661	13,415	0,377	6,057	0,375	0,294	0,165
Resíduos	14	0,333		27,306		12,081		5,420		0,150	
CV (%)		4,69		6,65		29,5		26,94		38,78	
B ₀		2,341	0,506	1,286	0,732	13,59	0,003	13,595	0,003		
W		0,970	0,674	0,9559	0,431	0,953	0,316	0,953	0,316		
Bloco	2	0,024	0,912	1,265	Camada de 0,10 – 0,20 m 0,933	0,168	0,963	0,559	0,865	0,001	0,993
Corretivos	3	0,901	0,048	36,362	0,159	4,760	0,399	20,134	0,012	0,278	0,211
Gesso	1	0,238	0,360	2,591	0,711	2,995	0,429	0,006	0,967	0,001	0,923
Interação	3	0,678	0,097	64,178	0,042	10,57	0,117	16,016	0,026	0,817	0,014
Resíduos	14	0,266		18,157		4,519		3,848		0,167	
CV (%)		4,17		5,31		27,29		18,14		33,51	
B ₀		5,125	0,162	0,947	0,241	0,955	0,348	0,922	0,066	0,962	0,493
W		0,948	0,252	8,244	0,041	5,318	0,149	14,346	0,002	1,735	0,629

LEGENDA: GL = graus de liberdade; QM = quadrado médio; p = probabilidade; CV (%) = coeficiente de variação.

Fonte: O autor (2021).

APÊNDICE 7 – Desdobramento da interação sobre os efeitos residuais (12 meses após aplicação) entre os corretivos da acidez [controle, calcário de rocha moída (CRM), silicato de rocha moída (SRM), calcário calcinado (CC)] e do gesso agrícola sobre o diâmetro médio ponderado (DMP) e das proporções de macroagregados grandes (MAgg grandes), médios (MAgg médios), pequenos (MAgg pequenos) e microagregados em camadas de solo.

Fontes de variação	GL	DMP		MAgg grandes		MAgg médios		MAgg pequenos		Microagregados	
		QM	p	QM	p	QM	p	QM	p	QM	p
Camada de 0 – 0,05 m											
Gesso em controle	1	----	----	----	----	----	----	----	----	5,528	4,00E-04
Gesso em CRM	1	----	----	----	----	----	----	----	----	0,686	0,124
Gesso em SRM	1	----	----	----	----	----	----	----	----	0,050	0,662
Gesso em CC	1	----	----	----	----	----	----	----	----	0,001	0,934
Corretivos sem Gesso	3	----	----	----	----	----	----	----	----	0,326	0,322
Corretivos com Gesso	3	----	----	----	----	----	----	----	----	4,495	4,00E-04
Resíduos	14	----	----	----	----	----	----	----	----	0,256	
Camada de 0,05 – 0,10 m											
Gesso em controle	1	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
Gesso em CRM	1	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
Gesso em SRM	1	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
Gesso em CC	1	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
Corretivos sem Gesso	3	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
Corretivos com Gesso	3	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
Resíduos	14	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
Camada de 0,10 – 0,20 m											
Gesso em controle	1	----	----	83,365	0,050	----	----	23,419	0,027	1,774	0,005
Gesso em CRM	1	----	----	7,747	0,524	----	----	0,552	0,012	0,463	0,113
Gesso em SRM	1	----	----	103,634	0,031	----	----	23,285	0,027	0,198	0,288
Gesso em CC	1	----	----	0,377	0,887	----	----	0,797	0,656	0,016	0,757
Corretivos sem Gesso	3	----	----	96,145	0,011	----	----	33,381	0,001	0,208	0,321
Corretivos com Gesso	3	----	----	4,394	0,865	----	----	2,768	0,556	0,887	0,010
Resíduos	14	----	----	18,156	----	----	----	3,848		0,163	

GL = graus de liberdade; QM = quadrado médio; p = probabilidade; CV (%) = coeficiente de variação.
Fonte: O autor (2021).