

JÚLIO CÉSAR MEINHARDT

**ALTERAÇÕES NO SISTEMA SOLO-PLANTA EM FUNÇÃO DA REAPLICAÇÃO
DE SILICATOS NO SISTEMA DE PLANTIO DIRETO**

Botucatu

2018

JÚLIO CÉSAR MEINHARDT

**ALTERAÇÕES NO SISTEMA SOLO-PLANTA EM FUNÇÃO DA REAPLICAÇÃO
DE SILICATOS NO SISTEMA DE PLANTIO DIRETO**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Agricultura).

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Theodoro Büll
Coorientadora: Profa. Dr^a Angélica Cristina Fernandes Deus

Botucatu

2018

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

M514a Meinhardt, Júlio César, 1992-
Alterações no sistema solo-planta em função da reaplicação de silicatos no sistema de plantio direto / Júlio César Meinhardt. - Botucatu: [s.n.], 2018
66 p.: grafs., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2018
Orientador: Leonardo Theodoro Büll
Coorientadora: Angélica Cristina Fernandes Deus
Inclui bibliografia

1. Soja. 2. Plantio direto. 3. Calagem dos solos. 4. Silício. 5. Silicato. I. Büll, Leonardo Theodoro. II. Deus Angélica Cristina Fernandes. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônomicas. IV. Título.

Elaborada por Ana Lucia G. Kempinas - CRB-8:7310

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte"



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Câmpus de Botucatu



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "ALTERAÇÕES NO SISTEMA SOLO-PLANTA EM FUNÇÃO DA REAPLICAÇÃO DE SILICATOS NO SISTEMA DE PLANTIO DIRETO"

AUTOR: JÚLIO CÉSAR MEINHARDT

ORIENTADOR: LEONARDO THEODORO BÜLL

COORIENTADORA: ANGÉLICA CRISTINA FERNANDES DEUS

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA (AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. ANGÉLICA CRISTINA FERNANDES DEUS
Depto de Solos e Recursos Ambientais / .

Prof. Dr. DIRCEU MAXIMINO FERNANDES
Depto de Solos e Recursos Ambientais / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu

Profa. Dra. LAÍS LORENA QUEIROZ MOREIRA
Fertilidade do Solo / Instituto Federal do Norte de Minas Gerais

Botucatu, 30 de julho de 2018.

Dedico a Deus e minha família, especialmente a meu irmão e minha mãe, a qual nunca mediu esforços para me educar e que sempre me estendeu os braços quando precisei; a eles, mais essa vitória.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus que me concedeu o dom da vida, e que faz maravilhas em minha vida. Pois todas as coisas vêm dele, existem por meio dele e são para ele. A ele seja toda a glória para sempre. Amém.

Ao meu orientador professor Dr. Leonardo Theodoro Büll e minha coorientadora Dr^a Angélica Cristina Fernandes Deus, pela oportunidade, apoio e confiança; agradeço também a Dr^a Laís Lorena Queiroz Moreira, sou grato a todos por transmitirem seus conhecimentos e dedicarem parte do seu tempo a mim.

Ao CNPQ, pela oportunidade e concessão de bolsa de estudos.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

A todos os professores da FCA/UNESP em especial os professores do programa de Agricultura pelos ensinamentos e conselhos. Serei sempre grato.

Aos funcionários da seção de pós-graduação, biblioteca e aos técnicos de laboratório pelo auxílio nas atividades.

A minha mãe Helena Rosalí Meinhardt pela paciência, esforço e luta, na maioria das vezes de trabalho pesado, para tornarem meus sonhos realidades.

Ao meu irmão Ayrton Bruno Meinhardt pelo companheirismo, amizade, paciência e confiança.

Aos amigos, em especial ao Vinícius Ueyama, Bianca Ito, Bruna Silva, Jackson da Silva, Marcos Liodorio, Danilo Morilha Rodrigues, Vinícius Ribeiro Arantes, Half Jordão, Sheury Marques, Edicarlos Castro, Wildson Benedito, Jéssica Cristian, Maria Francisca Cruz, Larissa Bernardes, Noel Batista e Jair Vieira, pelo companheirismo durante a pós-graduação e ajuda nos trabalhos acadêmicos e de pesquisa.

Agradeço a minha amiga e namorada Najila Cerqueira por todo o apoio e ajuda ao longo do curso.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

RESUMO

A acidez do solo é considerada um dos principais fatores que limitam a produção agrícola, devido a baixa disponibilidade de nutrientes e toxidez por alumínio, capaz de reduzir o potencial produtivo das culturas. Os silicatos usados na correção da acidez do solo têm mostrado resultados promissores para a agricultura. Objetivou-se avaliar as alterações químicas ao longo do perfil do solo, desenvolvimento e produtividades da cultura da soja (*Glycine Max* L. "Merr") e o rendimento de matéria seca da aveia preta (*Avena strigosa* Schreb) em função da aplicação superficial de silicatos na correção da acidez do solo. Este experimento vem sendo conduzido há sete anos, em delineamento com blocos casualizados e parcelas subdivididas. As parcelas foram distribuídas inicialmente pelas formas de aplicação dos corretivos: aplicação com incorporação por meio de enxada rotativa e aplicação em superfície; e na subparcela têm-se os corretivos da acidez do solo: escória de aciaria, escória de forno de panela, agrosilício, wollastonita, calcário agrícola e calcário agrícola calcinado; além de uma testemunha sem aplicação dos corretivos, com quatro repetições. O presente estudo foi conduzido de março de 2017 a abril de 2018, com reaplicação dos corretivos em março de 2017, de forma superficial. As doses dos corretivos foram calculadas com base na saturação por bases do solo para elevar a 70%. Em quase todos os casos a forma de aplicação não influenciou a ação dos corretivos sobre a correção da acidez do solo. Os corretivos foram eficientes no aumento da frente de alcalinização no perfil do solo, com destaque para a wollastonita, agrosilício e calcário agrícola. Os valores de P, K, SB, V%, pH e Si aumentaram com a aplicação dos silicatos, contudo não mostraram interferência significativa na produção de massa seca da aveia preta, mas para a soja, esses acréscimos foram fundamentais para proporcionar incrementos na produtividade de grãos chegando a 7,0 Mg.ha⁻¹ com a aplicação de escória de aciaria, não diferindo estatisticamente do agrosilício e da wollastonita. Os silicatos apresentaram melhores resultados quando comparados aos calcários, no sistema de plantio direto.

Palavras-chave: Acidez do solo. Calagem. Escória de siderurgia. Silício. Soja.

ABSTRACT

Soil acidity is considered one of the main factors limiting agricultural production, due to the low availability of nutrients and aluminum toxicity, which reduces the productive potential of the crops. The objective was to evaluate the chemical changes along the soil profile, development and yield of the soybean crop (*Glycine Max* L. "Merr") and the dry matter yield of black oats (*Avena strigosa* Schreb) as a function of the superficial application of silicates in soil acidity correction. This experiment has been conducted for seven years, in a randomized block design and subdivided plots. The plots were initially distributed by the application of the correctives: application with incorporation by rotary hoe and surface application; and in the subplot have corrected soil acidity: steel slag, ladle furnace slag, agrosilicon, wollastonite, agricultural limestone and calcined agricultural limestone; besides a control, with four replications. The present study was conducted from March 2017 to April 2018, with reapplication of correctives in March 2017, superficially. The corrective doses were calculated based on the base saturation of the soil to raise to 70%. In almost all cases the application form did not influence the action of the correctives on the correction of soil acidity. The correctives were efficient in increasing the alkalization front in the soil profile, with emphasis on wollastonite, agrosilicon and agricultural limestone. The values of P, K, SB, base saturation, pH and Si increased with the application of the silicates, however did not show significant interference in the production of dry mass of black oats, but for soybean, these additions were essential to increase productivity of grains reaching 7.0 Mg.ha⁻¹ with the application of steel slag, not statistically differing from agrosilicon and wollastonite. The silicates presented better results when compared to limestones in the no - tillage system.

Keywords: Acidity of soil. Liming. Steel slag. Silicon. Soybean.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Precipitação pluvial acumulada mensal (mm) e temperaturas máxima e mínima (°C) registradas durante a condução do experimento, no período de março de 2017 a abril de 2018, Botucatu, SP.....	28
---	----

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Atributos químicos do solo da área experimental, provenientes da camada de 0 - 20 cm, antes da segunda reaplicação dos corretivos e cultivo das culturas.....29
- Tabela 2 - Caracterização física e química dos corretivos de acidez do solo.30
- Tabela 3 - Valores médios de pH, acidez trocável (Al^{3+}) e acidez potencial (H + Al) no solo 8 meses após a reaplicação em superfície de agrosilício (AG), calcário agrícola (CA), calcário agrícola calcinado (CAC), escória de aciaria (EA), escória forno de panela (EFP), testemunha (T) e wollastonita (W).....37
- Tabela 4 - Valores médios de soma de base (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) e a saturação por bases (V%) no solo 8 meses, após a reaplicação em superfície de agrosilício (AG), calcário agrícola (CA), calcário agrícola calcinado (CAC), escória de aciaria (EA), escória forno de panela (EFP), testemunha (T) e wollastonita (W).....39
- Tabela 5 - Desdobramento da interação aplicação x corretivos para a saturação por bases (V%).....40
- Tabela 6 - Valores médios de matéria orgânica (M.O.), fósforo (P) e potássio (K) no solo 8 meses após a reaplicação em superfície de agrosilício (AG), calcário agrícola (CA), calcário agrícola calcinado (CAC), escória de aciaria (EA), escória forno de panela (EFP), testemunha (T) e wollastonita (W).....43
- Tabela 7 - Desdobramento da interação aplicação x corretivos para valores de matéria orgânica do solo (M.O.).44
- Tabela 8 - Valores médios de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) no solo 8 meses após a reaplicação em superfície de agrosilício (AG), calcário agrícola (CA), calcário agrícola calcinado (CAC), escória de aciaria (EA), escória forno de panela (EFP), testemunha (T) e wollastonita (W).47

Tabela 9 - Valores médios de boro (B), cobre (Cu) e ferro (Fe) no solo 8 meses após a reaplicação em superfície de agrosilício (AG), calcário agrícola (CA), calcário agrícola calcinado (CAC), escória de aciaria (EA), escória forno de panela (EFP), testemunha (T) e wollastonita (W).	49
Tabela 10 - Desdobramento da interação aplicação x corretivos para os teores de ferro (Fe).	50
Tabela 11 - Valores médios de manganês (Mn), zinco (Zn) e silício (Si) no solo 8 meses após a reaplicação em superfície de agrosilício (AG), calcário agrícola (CA), calcário agrícola calcinado (CAC), escória de aciaria (EA), escória forno de panela (EFP), testemunha (T) e wollastonita (W).	52
Tabela 12 - Desdobramento da interação aplicação x corretivos para o teor de silício no solo (Si).	54
Tabela 13 - Produção média de matéria seca (MS) de aveia preta após a reaplicação em superfície de agrosilício (AG), calcário agrícola (CA), calcário agrícola calcinado (CAC), escória de aciaria (EA), escória forno de panela (EFP), testemunha (T) e wollastonita (W).	55
Tabela 14 - Componentes da produção e produtividade média de grãos de soja após a reaplicação em superfície de agrosilício (AG), calcário agrícola (CA), calcário agrícola calcinado (CAC), escória de aciaria (EA), escória forno de panela (EFP), testemunha (T) e wollastonita (W).	57
Tabela 15 - Produção média de matéria seca (MS) e acúmulo médio de silício por planta na soja em função da reaplicação em superfície de agrosilício (AG), calcário agrícola (CA), calcário agrícola calcinado (CAC), escória de aciaria (EA), escória forno de panela (EFP), testemunha (T) e wollastonita (W).	58

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	21
2.1	Acidez e correção da acidez do solo em sistema plantio direto (SPD) .	21
2.2	Dinâmica da correção da acidez do solo em aplicações superficiais ...	23
2.3	Uso de silicatos na correção da acidez do solo	24
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	27
3.1	Localização, caracterização e histórico da área experimental	27
3.2	Tratamentos e delineamento experimental	28
3.3	Amostragens e avaliações realizadas	32
3.3.1	Análise química do solo	32
3.3.2	Avaliações na cultura da aveia preta.....	32
3.3.2.1	Massa de matéria seca da parte aérea	32
3.3.3	Avaliações na cultura da soja	32
3.3.3.1	Massa de matéria seca da parte aérea	32
3.3.3.2	Componentes da produção	33
3.3.3.3	Produtividade de grãos.....	33
3.3.4	Acúmulo de silício na parte aérea das plantas de soja.....	34
3.4	Análise estatística	34
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
5	CONCLUSÃO.....	59
	REFERÊNCIAS	61

1 INTRODUÇÃO

Um dos principais fatores de degradação química do solo é a acidez, em solos ácidos com pH menor que 5,5 a disponibilidade de macro nutrientes, principalmente do cálcio, magnésio e fósforo são menores, o que reduz o desenvolvimento da planta e prejudica o potencial produtivo das culturas, além disto, tem se elevado teor de alumínio, que retarda o desenvolvimento do sistema radicular, causando também o engrossamento das raízes das plantas (TAYLOR, 1988).

Para que haja o crescimento e desenvolvimento do sistema radicular e consequente aumento da absorção de água e nutrientes pelas plantas, faz se necessário a correção da acidez na profundidade efetiva do solo, onde é encontrado o maior volume do sistema radicular das plantas (NOLLA, 2004). Visando a correção da acidez do solo, alguns materiais podem ser utilizados, como os óxidos, hidróxidos, carbonatos e silicatos; que são capazes de neutralizar os prótons da solução do solo, desta forma, aumentam o pH e a disponibilidade de nutrientes para as plantas (ALCARDE, 1992).

A calagem no sistema plantio direto (SPD) possui um papel importante, devido à necessidade de se corrigir a acidez do solo sem que haja o revolvimento do solo (CAIRES et al., 2004). A aplicação superficial de corretivos da acidez do solo em SPD ainda gera indagações sobre sua eficiência, visto que os corretivos normalmente empregados, como o calcário, possuem baixa solubilidade em água e consequentemente baixa mobilidade no perfil do solo (CASTRO; CRUSCIOL, 2013).

Os silicatos de Ca e Mg, como as escórias de siderurgia, possuem composição semelhante aos carbonatos, podendo substituir com algumas vantagens o calcário, como por exemplo a maior mobilidade no solo, devido aos produtos da reação de dissociação da escória serem mais solúveis quando comparados aos carbonatos (CORREA et al., 2007); a recomendação de aplicação das escórias de siderurgia pode ser feita com base nos mesmos métodos utilizados para a calagem.

Buscando fomentar o debate e o conhecimento de alternativas para correção da acidez do solo. Objetivou-se avaliar as alterações químicas ao longo do perfil do solo, desenvolvimento e produtividade da cultura da soja (*Glycine Max* L. "Merr") e o

rendimento de matéria seca da aveia preta (*Avena strigosa* Schreb) em função da aplicação superficial de silicatos na correção da acidez do solo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Acidez e correção da acidez do solo em sistema plantio direto (SPD)

O manejo da correção da acidez do solo é fundamentado em pesquisas realizadas em sua grande maioria pelo sistema de plantio convencional, neste sistema faz-se uso da incorporação dos corretivos, causando um revolvimento do solo na camada arável. Entretanto, a partir da década de 70, o Sistema de Plantio Direto (SPD) foi introduzido no Sul do Brasil, e posteriormente difundido por todo o país, diante deste fato houve a necessidade de adequação da prática da calagem para este sistema (HOLZSCHUH, 2007).

O SPD possui características que o diferem em relação ao sistema convencional de preparo, principalmente em função do não revolvimento do solo, o qual proporciona uma maior deposição e acúmulo de material orgânico e fertilizantes inorgânicos na camada superficial, resultando em uma maior concentração de nutrientes nesta camada (MUZILLI, 1983; ANGHINONI; SALET, 2000; RHEINHEIMER et al. 2000; AMARAL, 2002; GATIBONI et al. 2003).

A prática mais utilizada para a correção do solo é a calagem, se realizada de maneira adequada, resulta na elevação do pH e da saturação por bases, fornecendo também Ca e Mg. Com a elevação do pH altera a disponibilidade dos nutrientes para as plantas e neutraliza a toxidez causada por Al, (MIRANDA; MIRANDA, 2000).

Na aplicação superficial do calcário, sem incorporação, ocorre um menor contato entre as partículas de solo e o corretivo quando comparados a aplicação incorporada, deste modo as relações de dissolução são realizadas na superfície do solo. Assim, os efeitos são observados de forma gradativa, partindo das camadas mais superficiais para as subsuperficiais, constituindo a chamada frente de alcalinização, onde a progressão da taxa depende da disponibilidade de água, da dose aplicada, das características químicas e físicas do solo e do tempo de reação dos corretivos no solo (RHEINHEIMER et al. 2000; AMARAL; ANGHINONI, 2001; GATIBONI et al. 2003).

Alguns autores ressaltam que quando o calcário é aplicado em superfície, este apresenta-se pouco móvel no perfil do solo, o que resulta em uma baixa

eficiência no que diz respeito a correção da acidez de camadas subsuperficiais (GONZALEZ-ERICO et al. 1979; ZIGLIO et al. 1999; KAMINSKI et al. 2005).

Isso tudo está ligado a duas características: a baixa solubilidade e a alta reatividade, ambas ocasionadas de ânions derivados de tal corretivo quando relacionados aos ácidos atuantes na camada do solo na qual está em contato (ERNANI et al. 2001), havendo assim maior efeito das reações sobre a camada superficial do solo, com isso, a sua atuação nas camadas subsuperficiais do solo é menor, mesmo com sucessivas aplicações ao longo do tempo (HOLZSCHUH, 2007).

De acordo com Kaminski et al. (2005), Rheinheimer et al. (2000), ao conduzirem um experimento utilizando um Argissolo Acinzentado distrófico plíntico, observaram que quando aplicaram 17 Mg ha^{-1} de calcário em superfície, a acidez só foi corrigida na camada 0 – 10 cm depois de 48 meses, sendo este efeito mantido por 84 meses.

Outras observações até a camada de 10 cm, como a elevação nos valores de pH e nos teores de Ca e de Mg foram consideradas significativas, apenas depois de 18 meses da aplicação do calcário mantendo se até 30 meses, no entanto, não houve eficiência comprovada em camadas subsuperficiais (CAIRES et al. 2006).

Ao avaliar doses de calcário em um Latossolo Vermelho Distroférrico, Soratto e Crusciol (2008a), notaram que durante 12 meses após aplicação do calcário houve elevação do pH até a camada de 0,20 – 0,40 m, além da elevação dos teores de Ca e Mg em camadas de até 0,20 – 0,40 m aos 12 e 18 meses.

Em estudos utilizando calagem em SPD Costa e Rosolem (2007) destacaram o aumento nos teores de Mg na solução do solo, em todo perfil do solo, mostrando a movimentação para as camadas subsuperficiais do Mg, resultante da reação de hidrólise do calcário aplicado em superfície. Oliveira e Pavan (1996) confirma esta informação por meio da formação de pares iônicos entre o bicarbonato e o cálcio e o magnésio, facilitando sua movimentação no perfil do solo.

Os autores Oliveira e Pavan (1996), Costa e Rosolem (2007), ressaltam que o pH (em água) da solução do solo alcança valores superiores à 5,5, já a espécie HCO_3^- apresenta se estável na solução e sua concentração aumenta até atingir valores máximos na faixa de pH 8,0 e 8,5. Desta forma, o HCO_3^- pode migrar com o cálcio e magnésio corrigindo a acidez do solo além do local de aplicação do calcário.

Mas, enquanto houver cátions ácidos, também haverá limitação quanto a reação de neutralização da acidez na camada superficial, retardando o efeito em

subsuperfície (RHEINHEIMER et al., 2000). Desta forma, com o intuito de realizar a neutralização da acidez em subsuperfície, os produtos da dissolução do calcário devem primeiro corrigir a camada superficial do solo para que depois disso, estes sejam lixiviados para camadas inferiores, formando assim uma frente de alcalinização (LIMA et al., 2009).

De acordo com Ferrari Neto (2016), diversas estratégias podem ser usadas na melhoria das condições de acidez em subsuperfície, como por exemplo, a aplicação superficial de corretivos em SPD e o deslocamento vertical das partículas finas do corretivo decorrentes de condições favoráveis de estruturação do solo, mobilização química dos corretivos em formas inorgânicas, principalmente sais de nitrato e sulfato, e orgânicas.

2.2 Dinâmica da correção da acidez do solo em aplicações superficiais

A movimentação física que ocorre com a aplicação superficial do calcário nas camadas mais profundas do solo, pode ser conferida por inúmeros fatores. De acordo com alguns autores, como por exemplo, OLIVEIRA; PAVAN, 1996; PETRERE; ANGHINONI, 2001; AMARAL et al. 2004a, um dos fatores pode ser o deslocamento através de canais formados por raízes mortas, mantidos intactos em razão da ausência de preparo do solo.

Outro fator é a formação de planos de fraqueza no solo que acabam permitindo o deslocamento físico de finas partículas de calcário através do movimento descendente da água (AMARAL et al., 2004a). No entanto, esse fator por si só não justifica os expressivos quando analisados em vários outros experimentos em diversos experimentos, principalmente quando a área se encontra recém implantada no SSD.

Alcarde (1992) ressalta que é quase improvável que haja a lixiviação de partículas finas do calcário, pois uma partícula muito fina é 2.000 vezes maior que um íon Ca^{2+} hidratado. Assim, a maior parte do efeito da calagem em profundidade está relacionada a movimentação de íons (TEDESCO; GIANELLO, 2000).

Desta forma, a água que percola no solo, normalmente encontra se enriquecida com os produtos da dissolução do calcário que tem a função de neutralizar a acidez e aumento dos cátions de reação básica, permitindo maior atuação em profundidade (RHEINHEIMER et al., 2000).

Rheinheimer et al. (2000), ressalta que pode ocorrer arrasto de calcário pela água de infiltração nas galerias de organismos do solo e estes são formados pela mesofauna do solo e macrofauna. Esses organismos podem efetuar a incorporação biológica do calcário, tornando a efetiva, sendo responsáveis por mais de 95% da decomposição e 5% de desintegração do solo, havendo assim a incorporação dos resíduos vegetais na superfície juntamente com o calcário aplicado (HOLTZ; SÁ, 1995).

Alguns autores, como (RHEINHEIMER et al., 2000; SORATTO; CRUSCIOL, 2008a), observaram que, a pequena mobilização do solo que ocorre somente na linha de semeadura no SSD, contribui com a movimentação física do calcário em sentido da incorporação que ocorre neste local, e, com os repetidos ciclos de semeadura, auxilia no caminhamento em profundidade das partículas do corretivo.

Assim, a ausência de efeito da calagem superficial sobre o pH nas camadas intermediárias de solo, voltam a atuar em profundidade, fazendo com que não haja acentuado deslocamento físico do calcário, sendo que a elevação do pH em camadas mais internas pode estar relacionada a outros mecanismos (CAIRES et al. 1999).

2.3 Uso de silicatos na correção da acidez do solo

Embora o silício não seja um elemento essencial (BRADY, 1992), é considerado benéfico para o crescimento e a produção de muitas gramíneas (arroz, cana-de-açúcar, milho, sorgo, trigo, entre outras). Os solos predominantes em várias regiões da América Latina, África, Ásia e Austrália, são muito intemperizados, ácidos, baixa saturação por bases e de silício trocável, baixa relação de sílica/sesquióxidos de ferro e alumínio com alto potencial de lixiviação (MADEIROS, 2010).

Assim como o calcário é utilizado para corrigir a acidez do solo, alguns outros materiais também podem exercer esta função, desde que apresentem um “constituente neutralizante” ou “princípio ativo”, óxidos, hidróxidos, carbonatos e silicatos de cálcio e/ou magnésio (ALCARDE, 1985).

Corrêa et al. (2007) e Korndörfer et al. (2005) afirmam que os silicatos de Ca e Mg, podem substituir positivamente o calcário, pois apresentam composição

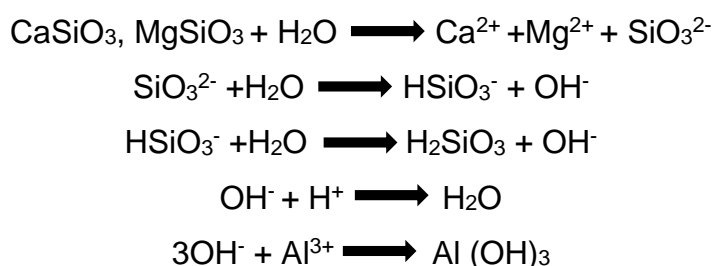
semelhante à dos carbonatos, além de possuir sua recomendação de aplicação fundamentada em qualquer um dos métodos já empregados para recomendação de calagem. Neste contexto, o silicato de cálcio é uma boa alternativa para aplicação superficial no SPD, logo, sua solubilidade é 6,78 vezes superior ao do carbonato de cálcio ($\text{CaCO}_3 = 0,014 \text{ g dm}^{-3}$; $\text{CaSiO}_3 = 0,095 \text{ g dm}^{-3}$) (CARVALHO-PUPATTO et al., 2004).

O silício é o componente majoritário dos minerais do grupo dos silicatos, sendo o segundo elemento mais encontrado na crosta terrestre. Presente em altos teores no solo, principalmente na forma de silicatos (SiO_3^{2-} mineral inerte das areias) (MADEIROS, 2010).

De acordo com Prado e Fernandes (2001) e Castro (2009) para a correção da acidez do solo, uma grande proporção de materiais que contêm silicato em sua composição podem ser utilizadas, como, escórias de siderurgia, wollastonita, metassilicato de cálcio, silicato de potássio, silicato de cálcio e silicato de magnésio, enfatizando que esses materiais proporcionam o aumento do pH, da CTC, dos teores de cálcio e magnésio trocáveis e da saturação por bases dos solos, elevam o teor de fósforo disponível e silício e minimizam a toxidez de ferro, alumínio e manganês (CASTRO; CRUSCIOL, 2013, PRADO; FERNANDES, 2003; KORNDORFER et al., 2002; PULZ et al., 2008).

Ramos et al. (2006) explicam que até a camada de 0 – 15 cm de profundidade, na dose de 500 kg ha^{-1} de Ca, os silicatos (silicato de Ca, silicato de Ca e Mg e termofosfato) corrigem a acidez do solo com maior eficiência que o calcário, considerando ainda que com a aplicação de silicatos no solo, segundo Nolla (2004) pode ocorrer a liberação de Ca e/ou Mg em solução e ânions (SiO_3^{2-})

Conforme a equação descrita abaixo por Alcarde e Rodella (2003), pode se observar que o mecanismo de correção da acidez pela escória resulta na formação de SiO_3^{2-} , que reage com a água e libera íons OH^- , os quais neutralizam o Al^{3+} fitotóxico.



Então, considerando de maneira geral, a capacidade do calcário e das escórias para a ação corretiva da acidez do solo é parecida, porém, a diferença entre ambos os corretivos é detectada através da superfície específica (área de contato) e do poder de neutralização (PN).

Para Louzada (1987) e Prado et al. (2001) conforme a maior superfície específica das partículas das escórias, seu poder corretivo pode ser mais eficiente que o do calcário. No entanto, quando o calcário e a escória são aplicados em granulometrias semelhantes (mesma reatividade - Re), a eficiência da escória é reduzida quanto à elevação do pH do solo. Com isso, pode se caracterizar que essas pequenas diferenças de efeitos entre os dois corretivos estão relacionadas ao valor neutralizante mais baixo da escória.

Até então alguns estudos foram realizados em relação a melhorias nos atributos químicos do solo sob o uso do silicato, podendo acrescentar que além dos avanços positivos quanto as propriedades químicas do solo, como a elevação do pH e dos teores de Ca e Mg, o ânion silicato pode favorecer a disponibilidade de fósforo na solução do solo devido a sua ocupação nos sítios de adsorção de fosfatos (MELO, 2005; KORNDORFER et al., 2010; SARTO et al., 2014; LEITE, 1997).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização, caracterização e histórico da área experimental

O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental Lageado da Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP, Campus Botucatu - SP, a 740 m de altitude e coordenadas geográficas: 22°51'15" S e 48°26'30" W.

O clima da região segundo a classificação de Köeppen é do tipo Cwa, caracterizado pelo clima tropical de altitude, com inverno seco e verão quente e chuvoso (LOMBARDI NETO; DRUGOWICH, 1994). O volume de precipitação anual é aproximadamente de 1600 mm, distribuído de forma irregular (CUNHA; MARTINS, 2009). O solo da área do experimento é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico (EMBRAPA, 2013).

O experimento iniciou se em outubro de 2010. Antes da implantação, o local encontrava se em pousio por 20 anos e a cobertura vegetal predominante era capim braquiária (*Urochloa decumbens*). Inicialmente a área foi roçada e em dezembro de 2010 foram aplicados os corretivos.

As parcelas referentes à aplicação dos corretivos com incorporação foram manejadas antes da aplicação dos corretivos, com uma aração e uma gradagem. Os corretivos foram aplicados a lanço, nos tratamentos com incorporação aplicou se metade de cada corretivo e procedeu se à incorporação com enxada rotativa até a profundidade de 20 cm, em seguida aplicou se à outra metade e incorporou se novamente com enxada rotativa. Após a aplicação estabeleceu se sistema plantio direto em todos os tratamentos (DEUS, 2014).

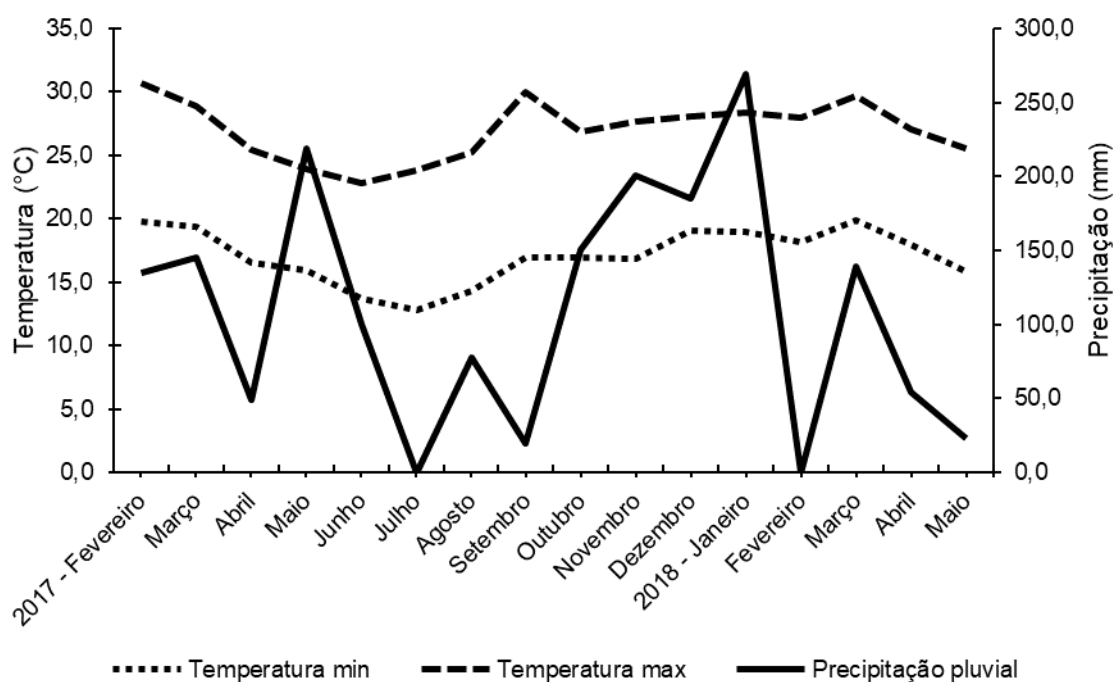
Os corretivos foram reaplicados a lanço em 2013, e procedeu se com uma nova incorporação nos tratamentos que assim eram avaliados, e os demais tratamentos tiveram aplicação superficial sem incorporação, após aplicação dos corretivos, todos os tratamentos foram conduzidos sob sistema de plantio direto (MOREIRA et al.,2015).

O primeiro cultivo na área experimental foi com feijão, em fevereiro de 2011; em seguida, o experimento foi conduzido obedecendo a um sistema de sucessão de culturas, no inverno cultivando se aveia preta (*Avena strigosa*) e no verão soja (*Glycine Max L.*) e em 2016 na safra de verão foi cultivado feijão novamente.

Após a colheita do feijão em 2016 a área experimental ficou em pousio até março de 2017.

Os dados climáticos de precipitação pluvial, temperaturas máximas e mínimas, referentes ao período de março de 2017 a abril de 2018, abrangendo a segunda reaplicação dos corretivos até o cultivo da soja, foram coletados pela estação meteorológica na Fazenda Experimental Lageado, pertencente ao Departamento de Engenharia Rural (Figura 1).

Figura 1 - Precipitação pluvial acumulada mensal (mm) e temperaturas máxima e mínima (°C) registradas durante a condução do experimento, no período de março de 2017 a abril de 2018, Botucatu, SP.



3.2 Tratamentos e delineamento experimental

O delineamento experimental foi em blocos casualizados com parcelas subdivididas com 14 tratamentos e quatro repetições. As subparcelas de todos os tratamentos mediam 6 m de largura e 7 m de comprimento (42 m²).

As parcelas foram inicialmente constituídas pelas formas de aplicação dos corretivos (aplicação com incorporação através de enxada rotativa e aplicação em superfície) e na subparcela têm se os corretivos da acidez do solo (escória de

aciaria, escória de forno de panela, agrosilício, wollastonita, calcário agrícola e calcário agrícola calcinado), além de uma testemunha sem aplicação dos corretivos.

A caracterização química e física dos corretivos (Tabela 2) foi realizada seguindo a metodologia proposta pelo MAPA (2014).

Neste estudo, os corretivos foram reaplicados em março de 2017, em virtude do decréscimo dos valores da saturação por bases (V%) nos tratamentos avaliados (Tabela 1). Desta forma, foi realizada a amostragem do solo na profundidade de 0 – 20 cm nas subparcelas e com base no resultado da análise química (Tabela 1), e de caracterização dos corretivos (Tabela 2), procedeu-se com os cálculos para a necessidade de calagem, pelo método da saturação por bases para cada corretivo e sistema de cultivo, buscando aumentar a saturação por bases para 70%.

Não houve aplicação de micronutrientes, a fim de verificar a capacidade de cada corretivo em fornecer esses micronutrientes, uma vez que, os materiais de origem dos corretivos possuem estes elementos em sua composição.

Tabela 1 - Atributos químicos do solo da área experimental, provenientes da camada de 0 – 20 cm, antes da segunda reaplicação dos corretivos e cultivo das culturas, obtida em novembro de 2016.

Corretivo	Aplicação	pH	MO	P	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V
		CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	-----	-----	mmolc	dm ⁻³ -----			%
EA	I	4,8	43	17	41	1,0	49	8	58	99	59
EA	S	4,5	50	28	56	1,2	52	9	62	118	53
W	I	4,5	45	14	54	1,8	45	9	55	110	50
W	S	5,0	44	24	36	1,5	58	11	70	107	66
T	I	3,8	39	11	98	1,4	11	4	16	115	14
T	S	3,8	45	9	84	1,5	10	4	15	99	15
EFP	I	4,7	47	13	43	1,4	45	12	58	101	58
EFP	S	5,0	43	23	38	1,1	62	16	79	117	68
AG	I	4,4	46	10	46	0,8	32	11	44	90	48
AG	S	4,6	42	13	52	1,8	76	20	98	149	65
CAC	I	4,6	50	16	43	1,3	32	13	46	89	52
CAC	S	4,6	42	9	51	1,2	34	13	48	99	49
CA	I	4,9	40	8	38	1,3	39	18	59	97	60
CA	S	5,0	53	24	35	1,2	67	34	102	137	75

EA: Escória de aciaria; W: wollastonita; T: testemunha; EFP: escória forno de panela; AG: Agrosilício; CAC: calcário agrícola calcinado e CA: calcário agrícola. S: Superficial e I: Incorporado.

Tabela 2 - Caracterização física e química dos corretivos de acidez do solo.

Corretivos	% Passante			Resultado em %					
	Pen10	Pen20	Pen50	CaO	MgO	RE	PN	PRNT	Umidade
Agrosilício	91,65	77,48	54,14	39,67	11,33	70,97	86	61	2,2
Aciaria	99,87	83,95	52,92	39,18	2,96	74,72	68	51	0,9
Calcário agrícola calcinado	100,00	100,00	84,94	53,20	3,94	93,98	100	94	0,0
Calcário agrícola	99,57	96,78	76,83	31,18	16,29	89,36	82	74	1,9
Forno de panela	86,06	77,29	64,96	33,35	6,05	74,11	68	51	1,2
Wollastonita	100,00	99,70	99,40	33,38	4,40	99,64	65	64	0,1

A reaplicação dos corretivos foi realizada manualmente a lanço sem incorporação, para ambas as formas de aplicação adotadas na implantação do sistema plantio direto; com o intuito de avaliar a dinâmica da fertilidade do solo ao longo do tempo, influenciada pela reaplicação superficial dos corretivos de acidez do solo, sem que houvesse novas interferências na estrutura física do SPD, buscando a melhor forma de manter a fertilidade do solo em níveis viáveis para a condução e manutenção do SPD.

Antes da semeadura da aveia preta, foi realizado uma pulverização com herbicida a base do sal de amônio de glifosato na dose de 1.800 g e.a. há⁻¹ para o controle das plantas daninhas. No cultivo da aveia preta utilizou-se a cultivar EMBRAPA 29 (Garoa), semeada com espaçamento de 17 cm entre linhas, e com densidade de semeadura de 350 sementes por m² realizada no dia 23 de junho de 2017, visando a cobertura do solo durante o período de inverno.

Aos 30 dias após a emergência (DAE) das plântulas foi realizada a adubação de cobertura com aplicação de 20 kg ha⁻¹ de N, na forma de sulfato de amônio.

Não houve necessidade de controle fitossanitário no cultivo da aveia preta. No dia 17 de novembro, ao fim do ciclo de cultivo, foi utilizado a roçadeira triton na área para a destruição dos restos culturais da aveia preta e formação da cobertura morta sobre o solo, para receber no sistema o próximo cultivo. Desta forma, a cultura da soja foi semeada no dia 21 de novembro de 2017, com a cultivar BMX Potência - RR, com espaçamento entre linhas de 0,45 m e densidade de semeadura aproximada de 18 sementes m⁻¹.

As sementes foram tratadas com fungicida carboxina (carboxanilida) + tiram (dimetilditiocarbamato) (60 g i.a. por 100 kg de sementes) e inseticida tiametoxam (105 g i.a. por 100 kg de sementes) e inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum* por

meio de inoculante líquido. Utilizou-se 60 ml de inoculante por 50 kg de sementes. As sementes de soja foram inoculadas no mesmo dia da semeadura, por meio do emprego de betoneira e secagem à sombra por alguns minutos. Na adubação de semeadura foram aplicados 400 kg ha⁻¹ do formulado 00-20-20 (N-P₂O₅-K₂O).

Contudo, o cultivo da soja foi atacado por animais (lebres e/ou pombos), resultando em uma redução drástica no estande de plantas de soja, sendo assim, foi necessário realizar uma nova semeadura da cultura da soja.

A ressemeadura da soja, foi realizada com a cultivar NA 5909 RG - SUL de ciclo semi-precoce e crescimento indeterminado, a qual foi semeada dia 23 de dezembro de 2017, foram utilizados os mesmos tratamentos nas sementes de soja já descrito anteriormente para o plantio realizado 21 de novembro de 2017.

Na adubação da ressemeadura foram aplicados 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅, tendo como fonte o superfosfato triplo (41% de P₂O₅) e aos 40 DAE foi aplicado 30 kg ha⁻¹ de K₂O proveniente do cloreto de potássio (60% de K₂O).

Para o controle de plantas invasoras foi realizada uma pulverização aos 17 DAE das plântulas, com herbicida contendo glifosato na dose de 720 g e.a. ha⁻¹. Aos 70 DAE realizou-se a pulverização nas plantas de soja com o inseticida a base de acefato + silicato de alumínio (750 g kg⁻¹ + 225,5 g kg⁻¹ do i.a.) e o fungicida tebuconazol (150 g do i.a. ha⁻¹). Aos 81 DAE foi feita outra pulverização, contendo o inseticida acefato + silicato de alumínio (750 g kg⁻¹ + 225,5 g kg⁻¹ do i.a.) e como controle preventivo para a ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) na soja aplicou-se o fungicida de ação protetora e sistêmico a base de fluxapiraxade + piraclostrobina (167 + 333 g L⁻¹ do i.a.). Aos 103 DAE foi feita uma segunda pulverização com o fungicida a base de fluxapiraxade + piraclostrobina (167 + 333 g L⁻¹ do i.a.) visando o controle preventivo da ferrugem.

No dia 17 de abril de 2018 foi realizada a colheita da cultura da soja, finalizando seu ciclo aos 116 DAE.

3.3 Amostragens e avaliações realizadas

3.3.1 Análise química do solo

A coleta de solo para análise química, foi realizada antes da semeadura da cultura da soja, após 8 meses da reaplicação dos corretivos de acidez. Para tanto foram coletadas cinco subamostras por subparcela para constituir uma amostra composta nas camadas de 0 – 5, 5 – 10, 10 – 20 e 20 – 40 cm, utilizando se de trados tipo sonda.

A coleta de amostra de solo foi realizada em um ponto no centro da subparcela e quatro pontos de cada lado.

A análise química do solo constou da determinação de pH em CaCl₂, M.O., P, H+Al, Ca, Mg, K, S, SB, CTC, V%, Cu, Fe, Mn, Zn e B conforme a metodologia proposta por Raij et al. (2001) e Si de acordo com a metodologia descrita por Korndörfer et al. (2004).

3.3.2 Avaliações na cultura da aveia preta

3.3.2.1 Massa de matéria seca da parte aérea

Ao final do ciclo da aveia preta, foram coletadas todas as plantas presentes em uma área de 0,250 m². As plantas coletadas foram colocadas para secagem em estufa de ventilação forçada de ar a 65°C por 72 horas e em seguida pesadas para determinação da massa de matéria seca.

3.3.3 Avaliações na cultura da soja

3.3.3.1 Massa de matéria seca da parte aérea

As amostras de plantas foram coletadas no período do início da maturação, correspondente ao estágio R7 da soja, amostrando se quatro plantas inteiras, cortadas a 2 cm de altura do solo por subparcela, e colocadas para secagem em estufa de ventilação forçada de ar a 65°C por 72 horas e em seguida pesadas para determinação da massa de matéria seca.

3.3.3.2 Componentes da produção

- Número de vagens por planta

A avaliação foi feita em 10 plantas coletadas dentro da área útil de cada área experimental, sendo determinado mediante a contagem do número total de vagens com pelo menos um grão.

- Número de grãos por vagem

Foi determinado mediante a relação entre número total de grãos e o número total de vagens, avaliados em 10 plantas coletadas dentro da área útil de cada área experimental.

- Massa de 100 grãos

Foi determinada mediante a pesagem de quatro amostras, de 100 grãos cada uma, em cada unidade experimental.

- População final de plantas

Foi realizada no dia da colheita, considerando duas fileiras dentro da área útil com comprimento de 2 m em cada unidade experimental, sendo os resultados convertidos em plantas ha⁻¹.

3.3.3.3 Produtividade de grãos

A colheita da soja foi realizada manualmente, coletando se duas linhas com 5 m de comprimento. As sementes foram pesadas, corrigidas para 13% umidade e posteriormente calculada a produtividade em kg ha⁻¹.

3.3.4 Acúmulo de silício na parte aérea das plantas de soja

O material utilizado para determinação da matéria seca foi o mesmo utilizado para análise do teor de silício de acordo com a metodologia descrita por Korndorfer et al. 2004. O acúmulo de Si foi obtido pelo produto entre o teor do elemento e a massa da matéria seca.

3.4 Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância e quando significativos foram comparados pelo teste t de Student a 5% de probabilidade, pelo software estatístico Sisvar® v. 5.3.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O valor de pH, acidez tocável (Al^{3+}) e acidez potencial ($\text{H} + \text{Al}$) não sofreram alterações significativas quanto ao modo de aplicação dos corretivos (Tabela 3). Isso demonstra que o efeito da última reaplicação, realizado em 2013, não tem mais influência significativa sobre a forma de aplicação incorporada na correção da acidez do solo, evidenciando que após este período, as formas de aplicação na fase de implantação do sistema não apresentam mais diferença.

Os efeitos da aplicação dos corretivos podem ter sido reduzidos pelo tempo em função da acidificação nas camadas superficiais, principalmente porque os cátions ácidos têm preferência nas ligações (RHEINHEIMER et al., 2000).

Para a variável pH do solo, observou-se que os corretivos empregados apresentaram influência significativa para a correção da acidez até 40 cm de profundidade, quando comparados com a testemunha (Tabela 3). Os maiores níveis de correção do pH foram obtidos na camada de 0 – 5 cm pela W (wollastonita), seguida pela AG (agrosilício) e CA (calcário agrícola) que resultaram nos melhores índices de correção do pH ao longo do perfil, principalmente até 20 cm, diferindo da testemunha que apresentou o menor valor. Assim como Prezotti e Martins (2012), observaram que a aplicação de calcário ao solo proporcionou maiores valores de pH e de saturação por bases, no cultivo da cana-planta, do que a aplicação da mesma dose de escória.

Na correção do pH na profundidade de 20 – 40 cm, não se observou diferença significativa entre os corretivos empregados, contudo a aplicação dos corretivos elevou os valores de pH em relação à testemunha. Demonstrando que a frente de alcalinização dos corretivos avançou no perfil do solo com a aplicação superficial dos corretivos. Estudos realizados por Prado e Fernandes (2000 e 2003) demonstraram que a escória, quando aplicada ao solo, aumenta o pH e reduz o $\text{H} + \text{Al}$. O efeito dos corretivos na frente de alcalinização no perfil do solo fica evidente quando observa-se os resultados iniciais de acidez do solo do solo em estudo. Na camada de 20 – 40 cm, antes da aplicação dos corretivos o pH era de 4,1 (DEUS, 2014) e, após sete anos de condução do estudo o pH atingiu média de 4,48 para os corretivos avaliados. Assim verifica-se que este aumento de pH na camada mais profunda (Tabela 3) é efeito das aplicações e reaplicações dos corretivos ao longo de sete anos do experimento.

Quando observados os valores da acidez tocável (Al^{3+}) no solo (Tabela 3), percebe-se que o seu comportamento é semelhante em relação aos corretivos empregados em todas as camadas de solo avaliadas, com diminuição significativa nos níveis presentes no solo, contudo os corretivos não apresentaram diferença entre eles, apenas para a testemunha. Estudando o efeito da aplicação de silicatos e carbonatos Nolla et al. (2013), constatou que os silicatos e os carbonatos foram eficazes na neutralização do Al^{3+} , beneficiando assim o desenvolvimento das culturas.

A acidez potencial ($\text{H} + \text{Al}$) foi influenciada pela aplicação dos corretivos até a profundidade de 20 cm, quando todos os corretivos reduziram a acidez potencial em relação à testemunha, contudo, não diferiram entre si estatisticamente. A reação de neutralização da acidez do solo pela escória, ocorre quando se forma o ácido monossilícico (H_4SiO_4), proveniente da reação entre o H^+ da solução do solo com o SiO_3 oriundo da dissociação do CaSiO_3 e do MgSiO_3 em Ca , Mg e SiO_3 , reduzindo assim sua acidez (PREZOTTI; MARTINS, 2012). Os níveis de $\text{H} + \text{Al}$ diminuíram sempre que o pH do solo foi aumentado pela aplicação de materiais de correção de acidez, o que confirma que as escórias e os calcários corrigem a acidez do solo das camadas mais profundas do solo.

Já para a camada de solo de 20 – 40 cm de profundidade, não houve efeito significativo da aplicação dos corretivos, em relação à testemunha nos valores da acidez potencial (Tabela 3). Isso ocorre porque para a calagem superficial ter efeito nas camadas subsuperficiais, ela depende de condições favoráveis para a formação e migração de $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ e $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ (OLIVEIRA; PAVAN, 1996; CAIRES et al., 2005); através do deslocamento vertical de partículas finas do corretivo, juntamente com o movimento de água descendente no perfil do solo (AMARAL et al., 2004b).

Tabela 3 - Valores médios de pH, acidez trocável (Al^{3+}) e acidez potencial (H + Al) no solo 8 meses após a reaplicação em superfície de agrosilício (AG), calcário agrícola (CA), calcário agrícola calcinado (CAC), escória de aciaria (EA), escória forno de panela (EFP), testemunha (T) e wollastonita (W).

Tratamento	pH (CaCl_2)				Al^{3+} (mmol/dm^3)				H + Al (mmol/dm^3)			
	0-5	5-10	10-20	20-40	0-5	5-10	10-20	20-40	0-5	5-10	10-20	20-40
Aplicação (A)	0-5	5-10	10-20	20-40	0-5	5-10	10-20	20-40	0-5	5-10	10-20	20-40
Incorporada	4,9 a	4,8 a	4,6 a	4,4 a	3,5 a	3,0 a	4,3 a	6,3 a	52,6 a	54,3 a	59,4 a	64,9 a
Superficial	5,1 a	5,0 a	4,5 a	4,4 a	3,9 a	4,5 a	7,0 a	6,9 a	52,9 a	61,0 a	67,8 a	67,0 a
F	0,6 ^{ns}	0,7 ^{ns}	0,4 ^{ns}	0,0 ^{ns}	0,1 ^{ns}	2,3 ^{ns}	2,5 ^{ns}	0,2 ^{ns}	0,0 ^{ns}	1,3 ^{ns}	0,7 ^{ns}	0,1 ^{ns}
Corretivos (C)												
AG	5,2 ab	5,1 ab	4,7 ab	4,5 a	0,6 b	0,7 b	2,7 b	4,2 b	40,3 b	47,2 b	56,4 b	72,6 a
CA	5,4 a	5,2 a	4,7 ab	4,6 a	0,2 b	1,0 b	3,5 b	5,3 b	35,6 b	44,6 b	54,8 b	52,5 a
CAC	4,9 b	4,8 c	4,6 b	4,4 a	1,5 b	2,1 b	4,0 b	5,7 b	50,1 b	51,7 b	61,6 b	66,3 a
EA	5,1 ab	4,8 bc	4,5 b	4,4 a	0,9 b	2,3 b	5,9 b	7,6 b	40,5 b	55,1 b	60,5 b	66,1 a
EFP	5,1 ab	5,0 abc	4,6 b	4,5 a	0,6 b	1,6 b	4,6 b	5,5 b	41,1 b	47,9 b	60,4 b	61,0 a
T	3,9 c	3,9 d	4,0 c	4,0 b	18,4 a	18,2 a	16,4 a	13,8 a	109,7 a	112,3 a	103,6 a	83,5 a
W	5,4 a	5,3 a	4,9 a	4,5 a	3,5 b	0,6 b	2,4 b	4,1 b	52,0 b	45,1 b	48,0 b	59,6 a
F	13,3 ^{**}	20,3 ^{**}	7,9 ^{**}	5,0 ^{**}	20,8 ^{**}	33,2 ^{**}	11,2 ^{**}	5,1 ^{**}	16,8 ^{**}	37,5 ^{**}	8,9 ^{**}	2,3 ^{ns}
AxC	1,6 ^{ns}	0,8 ^{ns}	0,7 ^{ns}	1,4 ^{ns}	0,9 ^{ns}	0,3 ^{ns}	0,9 ^{ns}	1,2 ^{ns}	1,5 ^{ns}	1,1 ^{ns}	0,7 ^{ns}	2,1 ^{ns}
CV parcela (%)	15,2	15,4	14,8	10,8	160,1	98,4	112,3	83,5	55,1	37,9	58,0	46,6
CV subparcela (%)	7,9	5,8	6,2	5,1	110,5	82,6	73,4	64,1	33,8	19,5	27,1	28,5

Médias seguidas por letras distintas dentro das colunas diferem entre si, pelo teste t de Student ao nível de 5% (*) e 1% (**) de probabilidade. ns - não significativo.

Os valores de SB, CTC e V% não sofreram alterações significativas quanto ao modo de aplicação dos corretivos (Tabela 4). Porém, constatasse que todos os corretivos elevaram a SB e V% para valores três vezes maiores que o da T, até 10 cm de profundidade. Todos os corretivos elevaram significativamente os valores de SB do solo em relação a T, sendo que nas camadas de solo de 0 – 5 e 5 – 10 cm não houve diferença significativa entre corretivos; nas demais camadas, 10 – 20 e 20 – 40 cm houve diferença significativa entre W e EA.

Segundo Prezotti e Martins (2012), a aplicação de escória de siderúrgica aumentou o V% aos três e seis meses após a aplicação do corretivo. Assim como observado por Rodrighero et al. (2015), quando a aplicação superficial de calcário, após 12 meses, proporcionou redução da acidez na camada de 0 – 5 cm e, em menor grau, na de 5 – 10 cm e conseqüentemente aumento do V%.

Como consequência da redução da acidez potencial com aplicação dos corretivos, houve influência nos valores da CTC, sendo que nas duas primeiras camadas (0 – 5 e 5 – 10 cm), a aplicação dos corretivos apresentou valores significativamente mais baixos de CTC que a testemunha, com exceção ao corretivo EA e W na camada de 0 – 5 cm; os valores mais altos de CTC na T se deve aos valores mais elevados de H+Al observados neste tratamento. A partir dos 10 cm de profundidade nenhum corretivo influenciou significativamente a CTC do solo.

O cálculo da necessidade de calagem foi feito para elevar o V% para 70% na camada de 0 – 20 cm de profundidade do solo. Contudo, este valor não foi atingido, o valor mais alto foi proveniente do CA (66,1%) na camada de 0 – 5 cm, e não diferiu estatisticamente dos demais corretivos. Na camada de 5 – 10 cm de profundidade, o CAC foi o corretivo que apresentou menor valor de V% (51,7%), entretanto diferiu estatisticamente apenas da W (61,0%) e da T (14,4%). E para a camada de 10 – 20 cm de profundidade, todos os corretivos aumentaram o V% em relação a T, contudo não houve diferença estatística entre os corretivos.

Nota se que os valores de V% não acompanham os valores de pH (Tabela 3), isso pode ter sido provocado pela reação incompleta dos corretivos no solo, devido a irregularidade das chuvas registrada no período entre a reaplicação dos corretivos até a coleta das amostras de solo, resultando na amostragem de pequenas partículas de corretivos, que durante a análise química quantificaram os nutrientes Ca e Mg que não estão disponíveis no solo, ocasionando aumento na SB e por conseguinte aumento no V%, mas não refletindo no pH do solo.

Tabela 4 - Valores médios de soma de base (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por bases (V%) no solo, 8 meses após a reaplicação em superfície de agrosilício (AG), calcário agrícola (CA), calcário agrícola calcinado (CAC), escória de aciaria (EA), escória forno de panela (EFP), testemunha (T) e wollastonita (W).

Tratamento	SB (mmol/dm ³)					CTC (mmol/dm ³)					V% (mmol/dm ³)					
	0-5	5-10	10-20	20-40	0-5	5-10	10-20	20-40	0-5	5-10	10-20	20-40	0-5	5-10	10-20	20-40
Aplicação (A)	0-5	5-10	10-20	20-40	0-5	5-10	10-20	20-40	0-5	5-10	10-20	20-40	0-5	5-10	10-20	20-40
Incorporada	57,8 a	55,9 a	45,7 a	37,2 a	110,4 a	110,3 a	105,1 a	102,1 a	53,1 a	52,0 a	44,9 a	38,2				
Superficial	70,5 a	55,5 a	43,1 a	36,6 a	123,4 a	116,5 a	111,0 a	103,7 a	58,0 a	49,0 a	41,0 a	36,4				
F	4,5 ^{ns}	0,0 ^{ns}	0,3 ^{ns}	0,0 ^{ns}	8,9 ^{ns}	6,6 ^{ns}	0,9 ^{ns}	0,1 ^{ns}	0,8 ^{ns}	0,3 ^{ns}	0,3 ^{ns}	0,1 ^{ns}	0,3 ^{ns}	0,3 ^{ns}	0,3 ^{ns}	0,1 ^{ns}
Corretivos (C)																
AG	71,6 a	68,4 a	48,8 ab	41,9 ab	111,2 bc	111,2 bc	105,2 a	114,5 a	63,1 a	57,8 ab	47,0 a	38,5				
CA	71,9 a	61,2 ab	50,0 ab	38,8 ab	107,5 c	105,8 c	104,9 a	91,3 a	66,1 a	57,7 ab	50,1 a	45,2				
CAC	62,6 a	53,6 b	45,8 ab	39,7 ab	112,7 bc	105,3 c	107,4 a	106,1 a	55,2 a	51,7 b	43,6 a	38,4				
EA	80,5 a	63,5 a	44,1 b	34,1 b	121,0 ab	118,6 b	104,6 a	100,1 a	65,1 a	54,1 ab	44,2 a	35,9				
EFP	70,8 a	61,2 ab	47,9 ab	41,2 ab	111,9 bc	109,0 bc	108,3 a	102,2 a	63,3 a	56,6 ab	45,4 a	41,2				
T	20, b	18,2 c	19,0 c	19,4 c	130,4 a	130,5 a	122,6 a	102,9 a	16,1 b	14,4 c	16,4 b	18,7				
W	71,6 a	68,4 a	55,4 a	43,5 a	123,6 ab	113,5 bc	103,4 a	103,1 a	59,9 a	61,0 a	53,8 a	43,3				
F	8,5 ^{**}	25,4 ^{**}	10,0 ^{**}	6,8 ^{**}	3,4 ^{**}	6,5 ^{**}	2,1 ^{ns}	1,2 ^{ns}	14,1 ^{**}	36,0 ^{**}	10,3 ^{**}	6,9 ^{**}				
AxC	0,9 ^{ns}	1,4 ^{ns}	0,9 ^{ns}	1,5 ^{ns}	0,5 ^{ns}	0,2 ^{ns}	0,7 ^{ns}	1,2 ^{ns}	1,2 ^{ns}	1,8 ^{ns}	0,9 ^{ns}	2,4 [*]				
CV parcela (%)	35,0	43,5	36,9	58,1	13,8	8,0	21,0	15,4	35,5	39,0	56,9	67,6				
CV subparcela (%)	30,0	17,2	23,6	24,3	10,9	8,6	11,83	17,2	24,1	15,1	25,1	25,4				

Médias seguidas por letras distintas dentro das colunas diferem entre si, pelo teste t de Student ao nível de 5% (*) e 1% (**) de probabilidade. ns - não significativo.

Um destaque importante a ser feito, está no fato do V% apresentar uma interação significativa entre o modo de aplicação e os corretivos utilizados na camada de 20 – 40 cm (Tabela 5).

Através da realização dos desdobramentos para a interação entre o modo de aplicação e os corretivos para o V% camada de 20 – 40 cm (Tabela 5), nota se que, não foi influenciado pelo modo de aplicação, com exceção para o AG na aplicação superficial (indicando assim que este corretivo aplicado superficialmente conseguiu fazer com que a frente de alcalinização chegasse até aos 40 cm de profundidade) e para o CA na aplicação incorporada (mostrando que esta forma de aplicação favoreceu o avanço da frente de alcalinização para o CA chegar aos 40 cm de profundidade).

Não houve variação significativa entre os corretivos na forma de aplicação superficial para os valores de V%, sendo que, todos corretivos elevaram a saturação por bases do solo em relação à testemunha (Tabela 5). Para a forma de aplicação incorporada, a aplicação do CA, EFP e a W foram os que mais aumentaram o V%, não diferindo estatisticamente entre si. Observou se que o CA apresentou a melhor resposta para elevar a saturação por bases a um valor de 54%, isto é, 3,3 vezes maior que o da testemunha, que por sua vez, apresentou o menor valor quando comparado ao uso de todos os corretivos (16,5%).

Tabela 5 - Desdobramento da interação aplicação x corretivos para a saturação por bases (V%).

Corretivos*	----- V% -----	
	Aplicação	
	Incorporada	Superficial
	20-40 cm	
AG	30,9 bC	46,0 aA
CA	54,0 aA	36,4 bA
CAC	40,1 aBC	36,6 aA
EA	37,7 aBC	34,0 aAB
EFP	45,5 aAB	37,0 aA
T	16,5 aD	21,0 aB
W	42,6 aABC	44,1 aA

*AG: agrosilício, CA: calcário agrícola, CAC: calcário agrícola calcinado, EA: escória de aciaria, EFP: escória forno de panela, T: testemunha e W: wollastonita. Letras maiúsculas correspondem às comparações entre os corretivos de acidez do solo dentro do mesmo modo de aplicação. Letras minúsculas correspondem às comparações entre o modo de aplicação para o mesmo corretivo de acidez do solo pelo teste t de Student $p > 0,05$.

Os teores de M.O., P e K⁺ não foram influenciados pelo método de aplicação dos corretivos até os 40 cm de profundidade (Tabela 6). De modo específico, os teores de M.O. do solo não diferiram com o uso dos corretivos, mesmo para a testemunha, o que se deve pelo fato da M.O. estar mais diretamente relacionada com a cobertura vegetal presente, umidade, aeração e fertilidade do solo; evidenciando que o tempo para a acidez influenciar o crescimento das plantas e consequentemente a cobertura vegetal, não foi o suficiente para observar aumento no teor de M.O. do solo.

Para o teor de P disponível, apenas a camada de 0 – 5 cm apresentou diferenças significativas com a aplicação dos diferentes corretivos, na qual a EA foi a que contribuiu para o aumento do elemento, com valor de 37,8 mg.dm⁻³. O CA e o CAC foram os corretivos que menos disponibilizaram o P no solo, com valores na ordem de 15 e 16,7 mg.dm⁻³ respectivamente, porém, não diferiram da testemunha, EFP e W. Comportamento semelhante já havia sido observado nos primeiros 20 cm de solo, antes da reaplicação dos corretivos (Tabela 1), onde a EA já apresentava alto valor de P (28 mg.dm⁻³ superficial e 17,1 mg.dm⁻³ incorporada), seguida pela W (24 mg.dm⁻³ superficial e 14 mg.dm⁻³ incorporada), o CA com 24 mg.dm⁻³ superficial e EFP (23 mg.dm⁻³ superficial e 13 mg.dm⁻³ incorporada); se comparado com o baixo valor da testemunha, por exemplo, com 11 mg.dm⁻³ incorporada e 9 mg.dm⁻³ em superfície. Resultados semelhantes com aumento na disponibilidade de P com a aplicação de escória de aciaria foram observados por Corrêa et al. (2008).

A maior disponibilidade de P para a EA, pode estar relacionada com a natureza química do corretivo, como pode se observar nos valores de P na composição da EA (11,0 g.kg⁻¹) apresentado por Deus (2014), na caracterização química destes materiais.

Segundo o relato de Corrêa et al. (2008), onde obteve resultado semelhante de aumento na disponibilidade de P, em função da aplicação da EA. A maior disponibilidade de P pode estar associada também pela competição do ânion SiO₄⁻⁴ pelos sítios de adsorção do P, fazendo com que este nutriente esteja mais disponível (PREZOTTI; MARTINS, 2012; PRADO et al., 2003).

Quanto ao K, os corretivos causaram alterações nos teores apenas nas camadas de 5 – 10 e 10 – 20 cm, quando comparados com a testemunha, a qual obteve os maiores índices de K no solo. Este fato pode ser atribuído ao baixo desenvolvimento das plantas neste tratamento, diminuindo assim a absorção de K

fornecido pelas adubações a essas plantas, desse modo apresentando um aumento no teor de K acumulado no solo.

Os teores de K no solo ficaram bem próximos para os corretivos, contudo percebe-se o efeito do CA e da EA na disponibilidade do K, onde esses corretivos apresentaram resultados semelhantes a testemunha e intermediário quando comparado aos outros corretivos.

Tabela 6 - Valores médios de matéria orgânica (M.O.), fósforo (P) e potássio (K) no solo 8 meses após a reaplicação em superfície de agrosilício (AG), calcário agrícola (CA), calcário agrícola calcinado (CAC), escória de aciaria (EA), escória forno de panela (EFP), testemunha (T) e wollastonita (W).

Tratamento	M.O. (g/dm ³)										P (mg/dm ³)										K (mmolc/dm ³)				
	Camadas (cm)																								
	0-5	5-10	10-20	20-40	0-5	5-10	10-20	20-40	0-5	5-10	10-20	20-40	0-5	5-10	10-20	20-40	0-5	5-10	10-20	20-40					
Aplicação (A)	0-5	5-10	10-20	20-40	0-5	5-10	10-20	20-40	0-5	5-10	10-20	20-40	0-5	5-10	10-20	20-40	0-5	5-10	10-20	20-40					
Incorporada	35,0 a	31,8 a	27,7 a	24,8	18,5 a	18,1 a	11,87 a	5,1 a	2,4 a	1,7 a	1,1 a	0,8 a	35,8 a	31,6 a	27,1 a	23,9	22,0 a	22,2 a	11,05 a	5,7 a	2,5 a	1,7 a	1,2 a	0,8 a	
Superficial	0,2 ^{ns}	0,0 ^{ns}	0,1 ^{ns}	0,3 ^{ns}	3,4 ^{ns}	1,8 ^{ns}	0,2 ^{ns}	0,2 ^{ns}	0,2 ^{ns}	0,3 ^{ns}	0,7 ^{ns}	0,1 ^{ns}	0,2 ^{ns}	0,0 ^{ns}	0,1 ^{ns}	0,3 ^{ns}	3,4 ^{ns}	1,8 ^{ns}	0,2 ^{ns}	0,2 ^{ns}	0,2 ^{ns}	0,3 ^{ns}	0,7 ^{ns}	0,1 ^{ns}	
Corretivos (C)																									
AG	33,6 a	32,1 a	28,5 a	25,6	18,2 b	22,8 a	10,0 a	6,1 a	2,1 a	1,4 d	1,0 bc	0,9 a	33,9 a	31,5 a	26,8 a	27,3	15,0 b	18,7 a	11,2 a	5,0 a	2,6 a	1,8 ab	1,3 b	0,9 a	
CA	36,7 a	32,6 a	29,9 a	23,5	16,7 b	16,2 a	10,3 a	4,8 a	2,6 a	1,6 bcd	1,2 bc	0,8 a	36,7 a	31,6 a	28,6 a	24,1	37,8 a	29,7 a	17,4 a	7,0 a	2,6 a	1,8 abc	1,1 bc	0,7 a	
CAC	34,6 a	31,4 a	26,1 a	23,9	17,2 b	18,0 a	8,3 a	5,4 a	2,3 a	1,4 cd	1,0 c	0,7 a	36,5 a	30,8 a	25,8 a	22,5	18,8 b	20,2 a	11,2 a	4,4 a	2,9 a	2,1 a	1,6 a	1,0 a	
EA	36,0 a	31,9 a	26,2 a	23,7	18,1 b	15,5 a	12,1 a	5,1 a	2,1 a	1,6 bcd	1,1 bc	0,8 a	0,5 ^{ns}	0,2 ^{ns}	1,3 ^{ns}	1,8 ^{ns}	12,6 **	1,9 ^{ns}	2,2 ^{ns}	0,7 ^{ns}	1,9 ^{ns}	3,3*	5,9**	1,1 ^{ns}	
EFP	0,8 ^{ns}	0,6 ^{ns}	0,3 ^{ns}	2,6*	0,7 ^{ns}	1,1 ^{ns}	0,2 ^{ns}	0,6 ^{ns}	1,8 ^{ns}	0,6 ^{ns}	2,1 ^{ns}	0,8 ^{ns}	17,2	26,6	21,4	27,5	35,5	56,9	60,0	73,3	36,7	31,07	30,5	76,5	
T	14,8	12,9	14,0	14,0	30,7	49,8	47,2	53,44	23,3	22,79	20,9	34,1	CV parcela (%)	14,8	12,9	14,0	14,0	30,7	49,8	47,2	53,44	23,3	22,79	20,9	34,1
W	Médias seguidas por letras distintas dentro das colunas diferem entre si, pelo teste t de Student ao nível de 5% (*) e 1% (**) de probabilidade. ns - não significativo.																								

Médias seguidas por letras distintas dentro das colunas diferem entre si, pelo teste t de Student ao nível de 5% (*) e 1% (**) de probabilidade. ns - não significativo.

Nota se que houve interação significativa entre a aplicação e os corretivos testados causando efeito na M.O. do solo na camada de 20 – 40 cm (Tabela 7). Através da análise de desdobramento da interação, observa se que o CA contribuiu para o aumento no teor da M.O. apenas quando incorporado. No que diz respeito aos demais corretivos, assim como a testemunha, não obteve se diferenças significativas quanto ao modo de aplicação.

Em relação ao efeito dos corretivos isoladamente dentro de cada modo de aplicação, para a aplicação superficial, todos os corretivos apresentaram comportamentos semelhantes, não diferindo se estatisticamente no teor da M.O. quando aplicada superficialmente. Já para o modo de aplicação incorporado, a única influência significativa que teve foi quanto ao CA (31,9 g.dm⁻³), e respostas menores e estatisticamente iguais para todos os outros corretivos e testemunha.

Solos corrigidos podem aumentar a produção de biomassa e aumentar o conteúdo de matéria orgânica no médio prazo. É provável que o tempo decorrido após a correção do solo tenha sido suficiente apenas para aumentar a mineralização da matéria orgânica e que não foi possível observar os efeitos da maior produção de biomassa em termos de carbono orgânico no solo.

Tabela 7 - Desdobramento da interação aplicação x corretivos para valores de matéria orgânica do solo (M.O.).

Corretivos*	----- M.O. (g/dm ³) -----	
	Aplicação	
	Incorporada	Superficial
	20-40 cm	
AG	25,2 aB	26,1 aA
CA	31,9 aA	22,7 bA
CAC	24,0 aB	23,0 aA
EA	23,1 aB	25,0 aA
EFP	23,9 aB	23,8 aA
T	22,4 aB	22,6 aA
W	22,3 aB	25,1 aA

*AG: agrosilício, CA: calcário agrícola, CAC: calcário agrícola calcinado, EA: escória de aciaria, EFP: escória forno de panela, T: testemunha e W: wollastonita. Letras maiúsculas correspondem às comparações entre os corretivos de acidez do solo dentro do mesmo modo de aplicação. Letras minúsculas correspondem às comparações entre o modo de aplicação para o mesmo corretivo de acidez do solo pelo teste t de Student p> 0,05.

De acordo com a Tabela 8, verifica se que a forma de aplicação dos corretivos não influenciou nos teores de Ca, Mg e S, em todas as profundidades.

O cálcio (Ca) apresentou maiores teores quando foi aplicado os corretivos W, EFP, EA e AG, principalmente nas camadas superficiais. Estes resultados mostram se contrários aos mencionados por Nolla et al. (2013), onde observaram uma redução eficiente na acidez do solo, contudo, o silicato disponibilizou menos Ca em solução em relação ao carbonato. Os calcários não apresentaram diferenças estatísticas entre eles em todas as camadas avaliadas. A EA proporcionou o maior aumento na concentração de Ca ($63,3 \text{ mmol}_c/\text{dm}^3$) quando comparado ao efeito dos calcários, na camada de 0 – 5 cm de profundidade, contudo não diferiu estatisticamente do AG, EFP e da W.

Já para a camada de 5 – 10 cm de profundidade, a W apresentou os maiores valores de Ca ($56,8 \text{ mmol}_c.\text{dm}^{-3}$), contudo não apresentou diferença significativa em relação a EA e ao AG.

Nas camadas de 10 – 20 e 20 – 40 cm de profundidade, observou se que novamente a W apresentou os maiores teores de Ca ($44, 6$ e $34,5 \text{ mmol}_c.\text{dm}^{-3}$) encontrados nestas camadas, contudo, estes efeitos não apresentaram diferenças significativas quando comparados ao AG e a EA; e a T apresentou os menores valores de Ca registrados em todas as camadas de solo avaliadas.

Para a variável Mg a aplicação do corretivo CA obteve médias significativas superiores aos demais corretivos em praticamente todas as camadas, isto se deve ao fato de que o calcário agrícola (CA) é o corretivo que contém maior teor de MgO dentre os demais (Tabela 2). Esse fato é discutido por Nolla et al. (2013) que relatou que mesmo usando uma fonte pobre em Mg e realizando uma adubação com magnésio, o carbonato se saiu melhor na disponibilidade de Mg no solo, apresentando maior eficiência quando comparado ao silicato de cálcio.

Quanto a avaliação dos corretivos aplicados, observa se que, não houve diferença significativa para o S nas profundidades de 10 – 20 e 20 – 40 cm. A T apresentou os maiores valores de S, diferindo se dos demais tratamentos para as camadas de 0 – 5 e 5 – 10 cm, provavelmente devido a menor absorção do S pelas plantas, com isso acumulando o S advindo dos fertilizantes utilizados na adubação das culturas ao longo dos anos de condução do experimento, como o sulfato de amônio, por exemplo.

Outro ponto importante foi que a quantidade de S aumentou com o aumento da profundidade do solo; mostrando que houve lixiviação do sulfato ao longo do perfil do solo, que pode ter sido deslocado devido sua natureza aniônica (SO_4^{-2}), a

qual faz com que ele permaneça na solução do solo nas camadas superficiais (devido maior quantidade de cargas negativas) e com isso sendo lixiviado para as camadas mais profundas do solo, onde se encontram maiores quantidades de cargas positivas (SFREDO, 2008).

Tabela 8 - Valores médios de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) no solo 8 meses após a reaplicação em superfície de agrosilício (AG), calcário agrícola (CA), calcário agrícola calcinado (CAC), escória de aciaria (EA), escória forno de panela (EFP), testemunha (T) e wollastonita (W).

Tratamento	Ca (mmol _c /dm ³)				Mg (mmol _c /dm ³)				S (mg/dm ³)			
	Camadas (cm)				Camadas (cm)				Camadas (cm)			
	0-5	5-10	10-20	20-40	0-5	5-10	10-20	20-40	0-5	5-10	10-20	20-40
Aplicação (A)	0-5	5-10	10-20	20-40	0-5	5-10	10-20	20-40	0-5	5-10	10-20	20-40
Incorporada	42,7 a	42,2 a	31,8 a	26,9 a	12,7 a	12,1 a	10,7 a	9,5 a	25,1 a	23,3 a	41,4 a	67,7 a
Superficial	52,9 a	42,3 a	31,8 a	26,4 a	15,1 a	11,5 a	10,2 a	9,4 a	28,3 a	43,7 a	57,3 a	69,4 a
F	4,4 ^{ns}	0,0 ^{ns}	0,5 ^{ns}	0,1 ^{ns}	2,8 ^{ns}	0,1 ^{ns}	0,1 ^{ns}	0,1 ^{ns}	0,6 ^{ns}	4,2 ^{ns}	2,9 ^{ns}	0,1 ^{ns}
Corretivos (C)												
AG	53,7 ab	49,0 ab	36,2 ab	30,4 ab	15,1 b	13,5 b	11,6 b	10,6 bc	23,8 bc	28,8 b	43,0 a	63,6 a
CA	46,4 b	39,9 cd	31,8 b	24,1 b	22,8 a	19,4 a	16,9 a	13,8 a	16,6 c	23,2 b	39,7 a	61,8 a
CAC	45,8 b	38,5 d	32,0 b	27,2 b	14,2 b	13,5 b	12,7 b	11,7 ab	25,0 bc	22,0 b	55,1 a	71,8 a
EA	63,3 a	52,0 ab	36,0 b	26,8 b	14,6 b	9,7 c	7,0 c	6,5 d	21,5 bc	33,5 b	49,5 a	80,1 a
EFP	54,7 ab	48,1 bc	36,6 ab	30,4 ab	13,8 b	11,6 bc	10,3 bc	10,0 bc	23,0 bc	29,9 b	49,1 a	72,6 a
T	12,2 c	11,4 e	12,3 c	12,8 c	5,6 c	4,7 d	5,0 c	5,5 d	45,2 a	62,6 a	59,3 a	57,3 a
W	58,2 ab	56,8 a	44,6 a	34,5 a	11,2 b	10,0 c	9,6 bc	8,1 cd	31,5 b	34,7 b	49,0 a	72,7 a
F	9,7 ^{**}	26,9 ^{**}	11,2 ^{**}	9,4 ^{**}	9,8 ^{**}	23,3 ^{**}	11,2 ^{**}	8,4 ^{**}	4,5 ^{**}	8,3 ^{**}	1,5 ^{ns}	2,0 ^{ns}
AxC	1,4 ^{ns}	1,5 ^{ns}	0,9 ^{ns}	2,0 ^{ns}	0,2 ^{ns}	0,814 ^{ns}	0,8 ^{ns}	0,5 ^{ns}	1,0 ^{ns}	0,2 ^{ns}	0,2 ^{ns}	0,8 ^{ns}
CV parcela (%)	38,0	42,97	33,1	61,7	38,7	54,25	59,3	66,5	59,4	111,3	70,1	25,1
CV subparcela (%)	32,0	19,42	25,7	24,0	33,4	22,36	31,29	30,2	46,3	40,0	30,7	23,2

Médias seguidas por letras distintas dentro das colunas diferem entre si, pelo teste t de Student ao nível de 5% (*) e 1% (**) de probabilidade. ns - não significativo.

O modo de aplicação dos corretivos não influenciou nos teores de B, Cu e Fe, em todas as profundidades avaliadas. Não houve diferença significativa, entre os corretivos, para o B, na profundidade de 20 – 40 cm e para o Fe, nas profundidades de 10 – 20 e 20 – 40 cm (Tabela 9).

O boro apresentou maiores médias na testemunha, diferenciando estatisticamente dos corretivos; enquanto as menores médias foram observadas no corretivo W. Observa-se que a variação nos teores de B estão relacionados a elevação do pH em função das aplicações dos corretivos no solo (Tabela 3), resultando em menor disponibilidade do B onde o pH aumentou. Pois a disponibilidade de alguns micronutrientes como boro, cobre, ferro e manganês é controlada pelo pH do solo (Lindsay, 1972).

Os teores de Cu foram estatisticamente inferiores na T, variando de 5,2 a 5,7 mg/dm³. Nas camadas de 5 – 10 e 10 – 20 cm de profundidade, o Cu foi influenciado por todos os corretivos, com os teores diferindo apenas da testemunha, resultando em maior disponibilidade de Cu com a aplicação dos corretivos.

Para o Fe, houve diferença significativa apenas nas profundidades 0 – 5 e 5 – 10 cm, tendo a EA apresentado o maior incremento significativo registrado na profundidade de 5 – 10 cm de profundidade, este fato pode estar atribuído a maior disponibilidade de Fe proveniente dos resíduos advindos da fabricação do ferro.

Segundo McBride e Blasiak, (1979) e Fageria et al. (1997), o pH atua diretamente na solubilidade, concentração em solução e a forma iônica dos nutrientes no solo e, conseqüentemente, influencia a absorção e utilização deles pela planta. Assim, o pH pode ser considerado como uma das propriedades químicas do solo mais importantes para a determinação da produção (FAGERIA, 2000). Ainda segundo Fageria (2000), a acumulação de Fe e o Cu diminuiu significativamente com o aumento do pH, o que pode estar relacionado com a adsorção ou precipitação desses micronutrientes. Contudo, observou-se aumento na disponibilidade do Cu com a aplicação de dos corretivos, esse fato pode estar relacionado pelo fornecimento de Cu pelos corretivos.

Tabela 9 - Valores médios de boro (B), cobre (Cu) e ferro (Fe) no solo 8 meses após a reaplicação em superfície de agrosilício (AG), calcário agrícola (CA), calcário agrícola (CAC), calcário agrícola calcinado (CAC), escória de aciaria (EA), escória forno de panela (EFP), testemunha (T) e wollastonita (W).

Tratamento	B (mg/dm ³)				Cu (mg/dm ³)				Fe (mg/dm ³)			
	Camadas (cm)				Camadas (cm)				Camadas (cm)			
	0-5	5-10	10-20	20-40	0-5	5-10	10-20	20-40	0-5	5-10	10-20	20-40
Aplicação (A)	0,3 a	0,3 a	0,3 a	0,3 a	6,6 a	6,3 a	6,3 a	5,7 a	28,2	25,9 a	23,3 a	18,2 a
Incorporada	0,3 a	0,3 a	0,3 a	0,3 a	6,4 a	6,1 a	6,1 a	5,7 a	27,6	28,9 a	26,9 a	19,6 a
Superficial	0,7 ^{ns}	0,2 ^{ns}	0,1 ^{ns}	0,1 ^{ns}	1,0 ^{ns}	0,7 ^{ns}	0,4 ^{ns}	0,4 ^{ns}	0,1 ^{ns}	1,9 ^{ns}	7,9 ^{ns}	0,9 ^{ns}
F												
Corretivos (C)												
AG	0,3 bc	0,3 b	0,3 abc	0,3 a	6,7 a	6,4 a	6,4 a	6,1 a	27,6	26,48 bcd	24,3 a	19,7 a
CA	0,3 cd	0,2 cd	0,2 d	0,3 a	6,4 a	6,3 a	6,3 a	5,8 ab	21,3	21,5 e	24,5 a	19,1 a
CAC	0,3 cd	0,3 bc	0,3 cd	0,3 a	6,8 a	6,3 a	6,3 a	6,0 a	28,8	27,8 bc	22,2 a	18,9 a
EA	0,3 d	0,3 bc	0,3 bcd	0,3 a	6,9 a	6,2 a	6,2 a	5,2 bc	34,6	36,5 a	26,0 a	18,6 a
EFP	0,3 ab	0,3 a	0,3 ab	0,3 a	6,5 a	6,3 a	6,3 a	5,8 a	24,6	23,5 de	31,3 a	19,6 a
T	0,4 a	0,3 a	0,3 a	0,3 a	5,6 b	5,5 b	5,5 b	5,2 c	35,0	30,5 b	25,8 a	18,3 a
W	0,2 d	0,2 d	0,2 d	0,3 a	6,7 a	6,3 a	6,3 a	5,7 abc	23,7	25,3 cde	21,8 a	18,1 a
F	6,8 ^{**}	10,6 ^{**}	3,6 ^{**}	1,0 ^{ns}	4,8 ^{**}	2,6 [*]	2,6 [*]	3,1 [*]	15,9 ^{**}	11,6 ^{**}	0,9 ^{ns}	0,2 ^{ns}
AxC	1,3 ^{ns}	1,3 ^{ns}	0,3 ^{ns}	1,9 ^{ns}	0,6 ^{ns}	0,5 ^{ns}	0,5 ^{ns}	1,5 ^{ns}	2,7 [*]	2,0 ^{ns}	0,7 ^{ns}	0,6 ^{ns}
CV parcela (%)	31,3	26,2	52,0	41,2	13,7	12,9	4,8	31,1	30,2	19,3	28,3	28,3
CV subparcela (%)	14,0	11,2	14,2	13,1	8,6	8,3	10,0	13,5	15,0	18,1	18,4	18,4

Médias seguidas por letras distintas dentro das colunas diferem entre si, pelo teste t de Student ao nível de 5% (*) e 1% (**) de probabilidade. ns - não significativo.

De acordo com o desdobramento da interação entre o a forma de aplicação x os corretivos para o Fe na camada de 0 – 5 cm de profundidade do solo, observa se que entre os corretivos da acidez do solo o AG foi o único que apresentou diferença estatística quanto a forma de aplicação, obtendo maior teor na forma de aplicação incorporada (Tabela 10).

Embora este resultado tenha sido diferente estatisticamente, quando levamos em conta o tempo da última incorporação realizada em 2013, até a obtenção desta análise do solo após a reaplicação superficial dos corretivos, considera se este resultado como não expressivo, devido ao longo período de tempo para o fornecimento do Fe oriundo da incorporação do AG no solo; que pode estar relacionada com a natureza química do processo de fabricação do aço e do AG como seu resíduo.

Para a forma de aplicação incorporada na camada de 0 – 5 cm do solo, as menores médias significativas do teor de Fe foram observadas nos corretivos CA, EFP e W, não diferindo estatisticamente entre si. Provavelmente este efeito é observado devido à elevação no pH ocasionado por estes corretivos, fazendo com que diminua a disponibilidade do Fe. Na forma de aplicação superficial os maiores valores de Fe encontrados foram para EA e T, onde não diferiram estatisticamente entre si. Os valores de Fe mais altos encontrados na T estão ligados ao pH mais baixos registrados nesse tratamento, com isso aumenta se a solubilidade do Fe.

Tabela 10 - Desdobramento da interação aplicação x corretivos para os teores de ferro (Fe).

Corretivos*	----- Fe (mg/dm ³) -----	
	Aplicação	
	Incorporado	Superficial
	0-5 cm	
AG	32,3 aAB	23,0 bC
CA	21,0 aD	21,6 aC
CAC	28,2 aBC	29,4 aB
EA	34,0 aA	35,3 aA
EFP	24,1 aCD	25,0 aBC
T	32,9 aAB	37,2 aA
W	25,3 aCD	22,0 aC

*AG: agrosilício, CA: calcário agrícola, CAC: calcário agrícola calcinado, EA: escória de aciaria, EFP: escória forno de panela, T: testemunha e W: wollastonita. Letras maiúsculas correspondem às comparações entre os corretivos de acidez do solo dentro do mesmo modo de aplicação. Letras minúsculas correspondem às comparações entre o modo de aplicação para o mesmo corretivo de acidez do solo pelo teste t de Student $p > 0,05$.

O modo de aplicação influenciou significativamente a disponibilidade do Mn para a camada de 5 – 10 cm, onde o maior valor de Mn observado foi no sistema incorporado, disponibilizando 34,3 (mg/dm³) de Mn. Para o Zn não se constatou diferença significativa para o modo de aplicação (Tabela 11). Os corretivos não alteraram a disponibilidade de Mn e Zn no solo.

Nas camadas de 5 – 10 e 10 – 20 cm de profundidade, os corretivos AG, EA e EFP foram os que mais influenciaram na disponibilidade do Si, com médias de disponibilidade para a camada 5 – 10 cm de 13,9, 12,2 e 12,6 mg kg⁻¹, por essa ordem; enquanto que a testemunha apresentou 7,6 mg kg⁻¹ e para a camada de 10 – 20 cm, o AG, EA e a EFP disponibilizaram 10,2, 9,7 e 9,9 mg kg⁻¹ de Si no solo, respectivamente. Resultados semelhantes foram encontrados por Deus (2014), mostrando a eficiência do AG, EA e EFP em disponibilizar o Si no perfil do solo.

Tabela 11 - Valores médios de manganês (Mn), zinco (Zn) e silício (Si) no solo 8 meses após a reaplicação em superfície de agrosilício (AG), calcário agrícola (CA), calcário agrícola calcinado (CAC), escória de aciaria (EA), escória forno de panela (EFP), testemunha (T) e wollastonita (W).

Tratamento	Mn (mg/dm ³)				Zn (mg/dm ³)				Si (mg/kg)			
	Camadas (cm)											
Aplicação (A)	0-5	5-10	10-20	20-40	0-5	5-10	10-20	20-40	0-5	5-10	10-20	20-40
Incorporada	35,8 a	34,3 a	26,2 a	20,2 a	1,2 a	1,0 a	0,7 a	0,5 a	10,3	10,7 a	9,1 a	8,2
Superficial	35,4 a	29,9 b	29,5 a	24,9 a	1,2 a	1,1 a	0,6 a	0,5 a	12,6	11,0 a	9,1 a	8,6
F	0,1 ^{ns}	19,8*	0,4 ^{ns}	0,5 ^{ns}	0,0 ^{ns}	0,1 ^{ns}	1,2 ^{ns}	0,8 ^{ns}	11,1*	0,2 ^{ns}	0,1 ^{ns}	1,9 ^{ns}
Corretivos (C)												
AG	39,2 a	32,6 a	26,8 a	26,1 a	1,2 a	0,9 a	0,8 a	0,6 a	14,8	13,9 a	10,2 a	9,9
CA	31,8 a	26,9 a	24,7 a	20,2 a	1,2 a	1,0 a	0,7 a	0,5 a	10,5	9,9 c	8,6 ab	7,5
CAC	34,2 a	34,1 a	24,9 a	21,3 a	1,3 a	1,9 a	0,7 a	0,5 a	9,3	9,5 c	8,7 ab	7,7
EA	39,7 a	35,5 a	29,2 a	21,3 a	1,2 a	1,0 a	0,6 a	0,4 a	14,5	12,2 b	9,7 a	9,0
EFP	38,2 a	35,9 a	31,4 a	26,7 a	1,1 a	1,0 a	0,7 a	0,5 a	13,9	12,6 ab	9,9 a	8,9
T	30,3 a	30,8 a	30,7 a	19,0 a	1,0 a	0,8 a	0,6 a	0,4 a	7,3	7,6 d	7,5 b	7,4
W	34,2 a	28,7 a	25,7 a	23,2 a	1,1 a	1,0 a	0,6 a	0,5 a	9,8	10,3 c	9,2 ab	8,3
F	1,9 ^{ns}	0,8 ^{ns}	0,4 ^{ns}	0,6 ^{ns}	1,3 ^{ns}	0,9 ^{ns}	0,8 ^{ns}	0,8 ^{ns}	22,5**	17,5**	2,4*	9,2**
AXC	1,5 ^{ns}	0,4 ^{ns}	0,6 ^{ns}	0,3 ^{ns}	0,9 ^{ns}	1,1 ^{ns}	0,9 ^{ns}	1,3 ^{ns}	2,04*	1,5 ^{ns}	0,8 ^{ns}	4,1**
CV parcela (%)	11,7	11,5	60,0	107,2	17,26	81,5	23,6	66,2	22,3	20,32	9,5	14,7
CV subparcela (%)	21,1	32,7	45,6	48,5	24,66	97,5	28,6	35,9	15,4	13,49	18,5	10,1

Médias seguidas por letras distintas dentro das colunas diferem entre si, pelo teste t de Student ao nível de 5% (*) e 1% (**) de probabilidade. ns - não significativo.

Um destaque importante para a disponibilidade do Si, a qual apresentou interação significativa entre os modos de aplicação e os corretivos avaliados em duas camadas, a mais superficial (0 – 5 cm) e a mais profunda (20 – 40 cm) (Tabela 12).

Para a camada de 0 – 5 cm na forma de aplicação superficial sem revolvimento ao longo do tempo (Tabela 12), constatou-se que os tratamentos com AG, EA e W apresentaram aumento médio na disponibilidade de Si de 26%, 31% e 23%, respectivamente, em relação à aplicação incorporada. Este acúmulo pode ter sido ocasionado pela deposição dos corretivos ao longo dos anos pelas reaplicações superficiais.

Com relação ao aumento na disponibilidade de Si no solo com a aplicação dos corretivos (Tabela 12), o grupo das escórias (AG, EA e EFP) e dos calcários (CA e CAC) juntamente com a wollastonita, não apresentaram diferenças entre si, dentro de cada grupo. A W apresentou resultado similar a testemunha, embora sendo um silicato não ocasionou incremento nos níveis de Si no solo. Esses resultados corroboram com os resultados encontrados por Deus (2014), confirmando que após 6 anos da aplicação inicial dos corretivos AG, EA e EFP realmente mostram ser mais efetivos na disponibilização do Si para o solo. E prova também que, embora a W possua Si em sua composição, tem baixa efetividade no incremento deste nutriente no solo.

Na camada de 20 – 40 cm de profundidade do solo, com relação aos corretivos em função do modo de aplicação, observou-se que, o AG e o CAC apresentaram diferenças significativas no aumento da disponibilidade de Si no solo quando aplicado superficialmente 22% e 16%, respectivamente; a EFP obteve aumento significativo na disponibilidade quando foi incorporada ao solo (13%) (Tabela 12).

Já quanto à ação da forma de aplicação sobre os corretivos, observou-se que, para a forma de aplicação incorporada, a EFP apresentou o maior aumento significativo na disponibilidade de Si em relação a T, com incremento de 27%, contudo, a EFP não se diferiu estatisticamente do AG, EA e da W. Quanto à forma de aplicação superficial, foi constatado que, o AG foi o corretivo que mais aumentou a disponibilidade de Si no solo, com acréscimo de 30% (Tabela 12).

Tabela 12 - Desdobramento da interação aplicação x corretivos para o teor de silício no solo (Si).

Corretivos*	----- Si (mg/kg) -----			
	Aplicação			
	Incorporada 0-5 cm	Superficial	Incorporada 20-40 cm	Superficial
AG	12,6 bA	17,1 aAB	8,7 bAB	11,1 aA
CA	10,1 aBC	11,0 aC	7,9 aBC	7,2 aD
CAC	9,0 aCD	9,7 aCD	7,1 bC	8,5 aBC
EA	11,9 bAB	17,2 aA	8,8 aAB	9,3 aB
EFP	13,1 aA	14,6 aB	9,6 aA	8,3 bBCD
T	7,0 aD	7,6 aD	7,0 aC	7,8 aCD
W	8,5 bCD	11,1 aC	8,3 aAB	8,3 aBCD

*AG: agrosilício, CA: calcário agrícola, CAC: calcário agrícola calcinado, EA: escória de aciaria, EFP: escória forno de panela, T: testemunha e W: wollastonita. Letras maiúsculas correspondem às comparações entre os corretivos de acidez do solo dentro do mesmo modo de aplicação. Letras minúsculas correspondem às comparações entre o modo de aplicação para o mesmo corretivo de acidez do solo pelo teste t de Student $p > 0,05$.

A produção de matéria seca (MS) da aveia preta não apresentou influência significativa na forma de aplicação, nem pelos corretivos aplicados (Tabela 13). A produção semelhante de MS entre os corretivos e a testemunha pode ser explicado pela tolerância que a aveia preta possui em relação a acidez do solo e também, devido ao fato dos teores médios de Ca e Mg estarem em níveis médios a altos no solo da testemunha (Tabela 8), proporcionando condições favoráveis ao crescimento adequado das plantas (SORATTO; CRUSCIOL, 2008b).

Tabela 13 - Produção média de matéria seca (MS) de aveia preta após a reaplicação em superfície de agrosilício (AG), calcário agrícola (CA), calcário agrícola calcinado (CAC), escória de aciaria (EA), escória forno de panela (EFP), testemunha (T) e wollastonita (W).

MS aveia preta (Mg ha ⁻¹)	
Tratamento	
Aplicação (A)	
Incorporada	3,67 a
Superficial	3,97 a
F	0,4 ^{ns}
Corretivos (C)	
AG	3,57 a
CA	3,64 a
CAC	3,82 a
EA	3,66 a
EFP	4,23 a
T	3,67 a
W	4,14 a
F	0,4 ^{ns}
AxC	1,9 ^{ns}
CV parcela (%)	45,5
CV subparcela (%)	29,4

Médias seguidas por letras distintas dentro das colunas diferem entre si, pelo teste t de Student ao nível de 5% (*) e 1% (**) de probabilidade. ns - não significativo.

A forma de aplicação não interferiu nos componentes de produção da soja número de plantas por hectare, número de vagens por planta, número de grãos por vagem, massa de 100 grãos e produtividade de grãos (Tabela 14).

Os resultados de produtividade com a aplicação dos corretivos mostram se satisfatórios (Tabela 14), pois todos aumentaram a produtividade de grãos da soja em relação a T, com destaque para a EA que produziu 7,02 Mg ha⁻¹, seguida do AG (6,11 Mg ha⁻¹) e da W (5,87 Mg ha⁻¹), os quais não diferiam estatisticamente entre si. Os calcários apresentaram valores intermediários de produtividade de grãos, sendo que o CA produziu 5,32 Mg ha⁻¹ e o CAC produziu 5,62 Mg ha⁻¹, e não diferiram estatisticamente do AG nem da W. A testemunha foi o tratamento que obteve a menor produtividade média 3,25 Mg ha⁻¹ de grãos de soja.

Esse aumento de produtividade de grãos da cultura da soja, possivelmente foi provocado pela maior quantidade de Ca encontrados nos tratamentos com aplicação de AG e W em todas as camadas (0 – 40 cm) de solo e para a EA nas camadas de

0 – 10 cm de profundidade (Tabela 8). E para a maior quantidade de P e Si na camada de 0 – 5 cm resultante da aplicação de AG e EA (Tabelas 6 e 11). A maior produtividade das plantas de soja pode estar associada também a quantidade de P fornecido nas adubações de semeadura e da ressemeadura da cultura. Estas maiores quantidades de nutrientes nas camadas superficiais provavelmente foram fundamentais para as maiores produtividades, uma vez que, na camada de 0 – 20 cm do solo é onde se localiza a maior concentração do sistema radicular das plantas.

Avaliando a influência na nutrição e produtividade de tubérculos de batata, em função da aplicação do silicato de cálcio e magnésio e calcário na correção da acidez do solo, Pulz et al. (2008) relatou que os silicatos se sobressaíram em relação ao calcário, aumentando a disponibilidade de P e Si no solo, sendo estes absorvidos em maior quantidade, melhorando a arquitetura e aumentando assim a produtividade da cultura.

Com o uso da escória de aciaria na correção da acidez do solo houve um incremento de produtividade média de 54% a mais que o obtido no tratamento sem correção do solo (T). E quando comparado o efeito da escória de aciaria com a produtividade média dos calcários, observou se que a superioridade da aciaria foi de 22% em relação à média produtiva dos calcários. Mostrando ser uma ótima alternativa para o incremento na produtividade nos cultivos em SPD, principalmente em regiões de maior disponibilidade desse corretivo, e ainda disponibilizando Si para o solo.

Tabela 14 - Componentes da produção e produtividade média de grãos de soja após a reaplicação em superfície de agrosilício (AG), calcário agrícola (CA), calcário agrícola calcinado (CAC), escória de aciaria (EA), escória forno de panela (EFP), testemunha (T) e wollastonita (W).

Tratamentos	Nº de Plantas ha ⁻¹	Nº de Vagens por Planta	Nº de grãos por vagem	Massa de 100 grãos (g)	Produtividade de grãos (Mg ha ⁻¹)
Aplicação (A)					
Incorporada	432.738 a	32 a	2 a	27,23 a	5,38 a
Superficial	410.119 a	31 a	2 a	27,14 a	5,33 a
F	0,3 ^{ns}	0,1 ^{ns}	1,0 ^{ns}	0,1 ^{ns}	0,1 ^{ns}
Corretivos (C)					
AG	361.111 a	37 a	2 a	28,03 a	6,11 ab
CA	406.249 a	24 a	2 a	28,06 a	5,32 bc
CAC	393.749 a	34 a	2 a	27,81 a	5,62 bc
EA	439.583 a	34 a	2 a	27,01 a	7,02 a
EFP	441.666 a	34 a	2 a	24,36 a	4,34 cd
T	442.361 a	28 a	2 a	27,16 a	3,25 d
W	465.277 a	32 a	2 a	27,82 a	5,87 ab
F	1,8 ^{ns}	2,3 ^{ns}	1,6 ^{ns}	1,5 ^{ns}	7,1 ^{**}
AxC	1,7 ^{ns}	0,3 ^{ns}	0,8 ^{ns}	0,8 ^{ns}	1,5 ^{ns}
CV parcela (%)	37,6	59,4	19,4	15,1	49,6
CV subparcela (%)	18,0	26,4	16,1	11,0	24,3

Médias seguidas por letras distintas dentro das colunas diferem entre si, pelo teste t de Student ao nível de 5% (*) e 1% (**) de probabilidade. ns - não significativo.

A produção de matéria seca (MS) da soja não apresentou influência significativa para a forma de aplicação, nem para os corretivos aplicados (Tabela 15).

Para o acúmulo médio de silício nas plantas de soja, não foram observados incrementos distintos significativamente entre os modos de aplicação, nem para os diferentes tipos de corretivos avaliados (Tabela 15). Com isso, evidencia-se que o uso dos corretivos de acidez do solo, não aumentou significativamente o acúmulo de Si nas plantas de soja.

Tabela 15 - Produção média de matéria seca (MS) e acúmulo médio de silício por planta na soja em função da reaplicação em superfície de agrosilício (AG), calcário agrícola (CA), calcário agrícola calcinado (CAC), escória de aciaria (EA), escória forno de panela (EFP), testemunha (T) e wollastonita (W).

Tratamento	MS soja (g planta ⁻¹)	Teor de Si na parte Aérea (g kg ⁻¹)	Acúmulo de Si (g kg ⁻¹)
Aplicação (A)			
Incorporado	29,03 a	1,15 a	31,93 a
Superficial	27,20 a	1,23 a	32,61 a
F	0,7 ^{ns}	0,4 ^{ns}	0,4 ^{ns}
Corretivos (C)			
AG	29,28 a	1,31 abc	38,30 a
CA	27,80 a	0,98 c	27,64 a
CAC	25,70 a	1,04 bc	25,72 a
EA	35,43 a	0,98 c	32,34 a
EFP	24,95 a	1,37 ab	33,94 a
T	22,25 a	1,50 a	30,97 a
W	31,45 a	1,16 abc	37,00 a
F	2,1 ^{ns}	2,6*	0,9 ^{ns}
AxC	0,8 ^{ns}	1,4 ^{ns}	0,8 ^{ns}
CV parcela (%)	28,4	40,7	38,0
CV subparcela (%)	30,6	30,2	42,1

Médias seguidas por letras distintas dentro das colunas diferem entre si, pelo teste t de Student ao nível de 5% (*) e 1% (**) de probabilidade. ns - não significativo.

5 CONCLUSÃO

Não houve influência do efeito residual da reaplicação dos corretivos na forma incorporada realizada quatro anos atrás, assim igualando os efeitos da aplicação incorporada e superficial.

Os corretivos da acidez do solo avaliados, influenciaram na correção da acidez até a profundidade 40 cm. A wollastonita, agrosilício e o calcário agrícola apresentaram maior influência na neutralização da acidez do solo até 10 cm. Os melhores resultados com a aplicação dos silicatos no solo foram o aumento nos teores de P, K, Ca e Si, e nos valores de SB, V% e pH.

A escória de aciaria, o agrosilício e a wollastonita, destacaram-se por proporcionarem as maiores produtividades de grãos para a cultura da soja.

REFERÊNCIAS

- ALCARDE, J. C. **Corretivos da acidez dos solos**: características e interpretações técnicas. São Paulo: ANDA, 1992. (Boletim Técnico, 6).
- ALCARDE, J. A.; RODELLA, A. A. Qualidade e legislação de fertilizantes e corretivos. In: CURI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G.; LIMA, J.M.; LOPES, A. S.; ALVARES V., V.H. (Ed.). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. p.291-334.
- ALCARDE, J. C. Corretivos da acidez dos solos: características de qualidade. In: MALAVOLTA, E. (Coord.). **Seminário sobre corretivos agrícolas**. Piracicaba: Fundação Cargill, 1985. cap.3, p.97 – 117.
- AMARAL, A. S. **Mecanismos de correção da acidez do solo no sistema plantio direto com aplicação de calcário na superfície**. 2002. 107f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2002.
- AMARAL, A. S.; ANGHINONI, I. Alterações de parâmetros químicos do solo pela reaplicação superficial de calcário no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, p.695-702, 2001.
- AMARAL, A. S.; ANGHINONI, I.; DESCHAMPS, F. C. Resíduos de plantas de cobertura e do calcário aplicado na superfície do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, MG, v. 28, n. 1, p. 115-123, 2004a.
- AMARAL, A. S.; ANGHINONI, I.; BERTOL, I.; HINRICHS, R. Movimentação de partículas de calcário no perfil de um Cambissolo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 359-367, 2004b.
- ANGHINONI, I.; SALET, R. L. Reaplicação de calcário no sistema plantio direto consolidado. In: KAMINSKI, J. **Uso de corretivos da acidez do solo no plantio direto**. Pelotas: SBCS -Núcleo Regional Sul, 2000. p.41-59.
- BRADY, N. C. **The nature and properties of soil**. 10. ed. New York: Macmillan Publishing Company, 1992. p. 179-200.
- CAIRES, E. F.; GARBUIO, F. J.; ALLEONI, L. R. F.; CAMBRI, M. A. Calagem superficial e cobertura de aveia preta antecedendo os cultivos de milho e soja em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.87-98, 2006.
- CAIRES, E. F.; ALLEONI, L. R. F.; CAMBRI, M. A.; BARTH, G. Surface application of lime for crop grain production under a no-till system. **Agronomy Journal**, v. 97, p.791-798, 2005.
- 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**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 125- 136, 2004.
- CAIRES, E. F.; FONSECA, A. F.; MENDES, J.; CHUEIRI, W. A.; MADRUGA, E. F. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características

químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, p. 315-327, 1999.

CARVALHO-PUPATTO, J. G.; BÜLL, L. T.; CRUSCIOL, C. A. C. Atributos químicos do solo, crescimento radicular e produtividade do arroz de acordo com a aplicação de escórias. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, p. 1213-1218, 2004.

CASTRO, G. S. A. **Alterações físicas e químicas do solo em função do sistema de produção e da aplicação superficial de silicato e calcário**. 2009. 160 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2009.

CASTRO, G. S. A.; CRUSCIOL, C. A. C. Effects of superficial liming and silicate application on soil fertility and crop yield under rotation. **Geoderma**, Amsterdam, v.195- 196, p.234-242, 2013.

CORRÊA, J. C. BÜLL, L. T., CRUSCIOL, C. A. C., TECCHIO, M. A. Correção da acidez e mobilidade de íons em Latossolo com aplicação superficial de escória, lama cal, lodos de esgoto e calcário. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, p. 1307-1317, 2007.

CORRÊA, J. C.; BÜLL, L. T.; CRUSCIOL, C. A. C.; FERNANDES, D. M.; PERES, M. G. M. Aplicação superficial de diferentes fontes de corretivos no crescimento radicular e produtividade da aveia preta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, p. 1583-1590, 2008.

COSTA, A.; ROSOLEM, C. A. Liming in the transition to no-till under a wheat-soybean rotation. **Soil & Tillage Research**, Amsterdã, v. 97, p. 207-217, 2007.

CUNHA, A. R.; MARTINS, D. Classificação climática para os municípios de Botucatu e São Manuel, SP. **Irriga**, v.14, n.1, p.1-11, 2009.

DEUS, A. C. F. **Aplicação de corretivos de acidez do solo na implantação do sistema plantio direto**. 2014. Tese de Doutorado. UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JULIO DE MESQUITA FILHO".

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013.

ERNANI, P. R.; RIBEIRO, M. S.; BAYER, C. Modificações químicas em solos ácidos ocasionados pelos métodos de aplicação de corretivo da acidez e de gesso agrícola. **Scientia Agrícola**, v.58, p.825-831, 2001.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; JONES, C. A. **Growth and mineral nutrition of field crops**. 2. ed. New York : M. Dekker, 1997. 624p.

FAGERIA, N. K. Resposta de arroz de terras altas à correção de acidez em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 11, p. 2303-2307, 2000.

FERRARI NETO, J. **Qualidade física e química do solo em função do sistema de produção e da aplicação superficial de silicato e calcário em experimento de longa duração**. 2016. Tese de Doutorado. UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO.

GATIBONI, L. C. ; SAGGIN, A. ; BRUNETTO, G.; HORN, D.; FLORES, J. P. C.; RHEINHEIMER, D. D.; KAMINSKI, J. Alterações nos atributos químicos de solo arenoso pela calagem superficial no sistema plantio direto consolidado. **Ciência Rural**, v.33, p.282-290, 2003.

GONZALEZ, E. E.; KAMPRATH, E. J.; NADERMAN, G. C.; SOARES, W. V. Effect of depth of lime incorporation on the growth of corn on the oxisol of central Brazil. **Soil Science Society of America Journal**, V. 43, p.1155-1158, 1979.

HOLTZ, G. P.; SÁ, J. C. M. Resíduos culturais: reciclagem de nutrientes e impacto na fertilidade do solo. In: CURSO SOBRE MANEJO DO SOLO EM PLANTIO DIRETO, 1995, Castro. **Anais...** Castro: Fundação ABC, 1995. p. 21-36.

HOLZSCHUH, M. J. Eficiência de calcário calcítico e dolomítico na correção da acidez de solos sob plantio direto. **Mr. dissertation, Universidade federal de Santa Maria**, 2007.

KAMINSKI, J.; SANTOS, D. D.; GATIBONI, L. C.; BRUNETTO, G.; SILVA, L. D. Eficiência da calagem superficial e incorporada precedendo o sistema plantio direto em um Argissolo sob pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.573-580. 2005.

KORNDÖRFER, G. H. PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. **Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura**. Uberlândia: GPSi; ICIAG; UFU, 2002. 23 p.

KORNDÖRFER, G. H., PEREIRA, H. S., NOLLA, A. **Análise de silício no solo, planta e fertilizante**. Uberlândia: GPSi, 2004. 50p. (Boletim Técnico n° 02).

KORNDÖRFER, G. H.; NOLLA, A.; RAMOS, L. A. Available silicon in tropical soils and crop yield. In: **III Silicon in Agriculture Conference; Universidade Federal de Uberlândia: Uberlândia, Brazil**. 2005.

KORNDÖRFER, G. H.; SILVA, G. C.; TEIXEIRA, I. R.; SILVA, A. G.; FREITAS, R. S. Efeito da adubação silicatada sobre gramíneas forrageiras e características químicas do solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v 40, n.2, p.119- 125, 2010.

LEITE, P. C. **Interação silício-fósforo em latossolo roxo cultivado com sorgo em casa de vegetação**. 1997. 84 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 1997.

LIMA, E. V.; Crusciol, C. A. C.; Cavariani, C.; Nakagawa, J. Características agrônômicas, produtividade e qualidade fisiológica da soja “safrinha” sob semeadura direta, em função da cobertura vegetal e da calagem superficial. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 31, n. 1, p. 69-80, 2009.

- LINDSAY, W. L. Inorganic phase equilibria of micronutrients in soils. IN: MORTVEDT, J. J.; GIORDANO, P. M.; LINDSAY, W. L. (Ed.) **Micronutrients in agriculture**. Madison: Soil Science Society of America. 1972. p. 41-57.
- LOMBARDI NETO, F.; DRUGOWICH, M. I. **Manual técnico de manejo e conservação de solo e água**. Campinas: CATI, 1994. v. 2, 168 p.
- LOUZADA, P. T. C. **Eficiência de uma escória de siderurgia como corretivo e fertilizante do solo**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1987. 52p. Dissertação (Mestrado em Solos) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 1987.
- MADEIROS, L. B. VIEIRA, A. O.; COSTA, D.P.B. Aplicação de escória siderúrgica: silício no solo e na cana-de-açúcar. **PUBVET**, Londrina, V. 4, N. 26, Ed. 131, Art. 889, 2010.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997. p.319.
- McBRIDE, M. B.; BLASIAK, J. J. Zinc and copper solubility as a function of pH in an acid soil. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.43, p.866-870, 1979.
- MELO, S. P. **Silício e fósforo para o estabelecimento do capim-Marandu num Latossolo Vermelho-Amarelo**. 2005. 110f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Secretaria de Defesa Agropecuária. Coordenação-Geral de Apoio Laboratorial; Murilo Carlos Muniz Veras (Org.) – Brasília : MAPA/ SDA/CGAL, 2014. 220 p.
- MIRANDA, L. N.; MIRANDA, J. C. C. de. Efeito residual do calcário na produção de milho e soja em solo Glei pouco húmico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 24, n. 1, p. 209-215, 2000.
- MOREIRA, L. L. Q.; DEUS, A. C. F.; BÜLL, L. T. Escórias de siderurgia e calcário na correção da acidez do solo em sistema de semeadura direta. In: **Congresso Brasileiro de Ciência do solo**, 2015, Natal/RN. XXXV Congresso Brasileiro de ciência do solo, 2015.
- MUZILLI, O. Influência do sistema plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.7, p.75-102, 1983.
- NOLLA, A. Correção da acidez do solo com silicatos. In: SIMPÓSIO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA. 3., Uberlândia, 2004. Palestras. Uberlândia, GPSi/ICIAG/UFU, 2004. CD-ROM
- NOLLA, A. KORNDÖRFER; PRODUÇÃO DE CANA-DEAÇÚCAR, G. H. Correção da acidez de um Neossolo submetido à aplicação de carbonato e silicato de cálcio. **Journal of Agronomic Sciences**, Umuarama, v.2, n.1, p.113-120, 2013.

OLIVEIRA, E. L.; PAVAN, M. A. Control of soil acidity in no-tillage system for soybean production. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 38, p. 47-57, 1996.

PETREIRE, C.; ANGHINONI, I. Alteração de atributos químicos no perfil do solo pela calagem superficial em campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 885-895, 2001.

PRADO, R. M. **Resposta da cana-de-açúcar à aplicação de escória silicatada como corretivo da acidez do solo**. 2000. 97f. Dissertação (Mestrado em Sistema de Produção) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2000.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M. Efeito da escória de siderurgia e calcário na disponibilidade de fósforo de um latossolo vermelho-amarelo cultivado com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, p.1199-1204, 2001.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M. Efeito residual da escória de siderurgia como corretivo da acidez do solo na soqueira de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.287-286, 2003.

PREZOTTI, L. C.; MARTINS, A. G. Efeito da escória de siderurgia na química do solo e na absorção de nutrientes e metais pesados pela cana-de-açúcar. **Revista Ceres**, v. 59, n.4, p. 530-536, 2012.

PULZ, A. L.; CRUSCIOL, C. A. C.; LEMOS, L. B.; SORATTO, R. P. Influência de silicato e calcário na nutrição, produtividade e qualidade de batata sob deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.1651-1659, 2008.

QUAGGIO, J. A.; GALLO, P. B.; MASCARENHAS, H. A. A. Agronomic efficiency of limestones with different acid-neutralizing capacity, under field condition. In: **Plant-Soil Interactions at Low pH: Principles and Management**. Springer, Dordrecht, 1995. p. 491-496.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise Química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas, Instituto Agrônomo, 2001.285p.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2 ed. Campinas: IAC, 1996. 285p. (Boletim Técnico 100).

RAMOS, L. A.; NOLLA, A.; KORNDORFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. Reatividade de corretivos da acidez e condicionadores de solo em colunas de lixiviação. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Viçosa, v. 30, p. 849-857, 2006.

RHEINHEIMER, D. S. 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**, Viçosa, v. 24, p. 797-805, 2000.

RODRIGHERO, M. B.; BARTH, G.; CAIRES, E. F. Aplicação superficial de calcário com diferentes teores de magnésio e granulometrias em sistema plantio direto.

Revista Brasileira Ciências do Solo, v. 39, p.1723-1736, 2015

SARTO, M. V. M.; RAMPIM, L.; LANA, M. C.; ROSSET, J. S.; ECCO, M.; WOBETO, J. R. Atributos químicos do solo e desenvolvimento da cultura do trigo em função da adubação silicatada. **Agrarian**, Dourados, v.7, n.25, p.390-400, 2014.

SFREDO, GEDI JORGE. **Soja no Brasil: calagem, adubação e nutrição mineral**. Londrina: Embrapa Soja, p. 69, 2008.

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**, Viçosa, MG, v. 32, p. 675-688, 2008a.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Produção de fitomassa e acúmulo de nutrientes pela aveia-preta em função da aplicação de calcário e gesso em superfície na implantação do sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v. 38, p. 928-935, 2008(b).

TAYLOR, G. J. The physiology of aluminum phytotoxicity. In: SIEGAL, H.; SIEGAL, A. (Ed.) **Metals Ions in Biological Systems**. New York: Marcel Dekker, 1988. p. 123-163.

TEDESCO, J.; GIANELLO, C. Escolha do corretivo da acidez do solo In: KAMINSKI, J. (Coord.). **Uso de corretivos da acidez do solo no plantio direto**. Pelotas: Núcleo Regional Sul da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 96-113, 2000. (Boletim, 4)

ZIGLIO, C. M.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A. Formas orgânicas e inorgânicas de mobilização do cálcio no solo. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.42, p.257-262, 1999.