



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Botucatu



MURILO DE SOUZA

**BALANÇO DE CARBONO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO EM FUNÇÃO DA
CORREÇÃO DA ACIDEZ DO SOLO**

BOTUCATU

2017

MURILO DE SOUZA

**BALANÇO DE CARBONO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO EM FUNÇÃO DA
CORREÇÃO DA ACIDEZ DO SOLO**

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

Orientador: Prof. Dr. Ciro Antonio
Rosolem

BOTUCATU

2017

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

S729b Souza, Murilo de, 1990-
Balanço de carbono em sistemas de produção em função da correção da acidez do solo / Murilo de Souza. - Botucatu: [s.n.], 2017
82 p.: grafs. color., tabs.

Dissertação (Mestrado)- Universidade Estadual Paulista Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2017
Orientador: Ciro Antonio Rosolem
Inclui bibliografia

1. Solos - Acidez. 2. Solos - Correção. 3. Solos - Teor de Carbono. 4. Efeito estufa. 5. Calagem dos solos. I. Rosolem, Ciro Antonio. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.

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

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

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "BALANÇO DE CARBONO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO EM FUNÇÃO DA CORREÇÃO DA ACIDEZ DO SOLO"


AUTOR: MURILO DE SOUZA

ORIENTADOR: CIRO ANTONIO ROSOLEM

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


Prof. Dr. CIRO ANTONIO ROSOLEM
Departamento de Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrômicas de Botucatu


Prof. Dr. JULIANO CARLOS CALONEGO
Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu


Prof. Dr. CRISTIANO ALBERTO DE ANDRADE
/ EMBRAPA MEIO AMBIENTE

Botucatu, 03 de fevereiro de 2017.

*"Deus nos fez perfeitos e não escolhe os capacitados, capacita os escolhidos.
Fazer ou não fazer algo, só depende de nossa vontade e perseverança."*

Albert Einstein

Ninguém vence sozinho, nem no campo, nem na vida!

Papa Francisco

DEDICO

Aos meus pais Nélio José de Souza e Marilza de Souza, exemplos de vida e dedicação, minha eterna gratidão e respeito.

Ao meu irmão Gustavo Henrique de Souza, pelo apoio incondicional.

OFEREÇO

*A Deus pelo dom da vida e a Nossa
Senhora Aparecida.*

AGRADECIMENTOS

A Deus e Nossa Senhora Aparecida pela vida e por me dar forças para vencer, iluminando e guiando meu caminho.

Ao meu amado pai Nélio José de Souza, por ser um exemplo de homem e honestidade, que sempre me mostrou que “Para vencer na vida é necessário muito trabalho”.

À minha amada mãe Marilza de Souza, pelo amor, carinho, dedicação com seus filhos e por suportar minha ausência devido às minhas escolhas e, mesmo assim, dando-me todo o incentivo.

Ao meu querido irmão Gustavo Henrique de Souza, pelo companheirismo.

À minha querida Tia Nelma, muito obrigado por todo carinho, amor, apoio, incentivo e por ser uma fonte de inspiração. A minha Tia Neiva pelo acolhimento de sempre e o carinho.

Ao meu orientador, Ciro Antonio Rosolem, pela oportunidade, orientação e suporte na condução deste experimento, criticando nos momentos certos e me ajudando sempre a crescer profissionalmente. Muito obrigado!

À Faculdade de Ciências Agrônômicas - FCA/UNESP, pelo suporte na realização do Mestrado.

Ao meu amigo Marcelo Bregagnoli, professor do IFSULDEMINAS, por ter me incentivado à pesquisa durante a minha graduação.

À antiga Escola Agrotécnica Federal de Muzambinho, e agora IFSULDEMINAS, onde a caminhada iniciou-se.

Aos meus amigos Leontino Oliveira Neto, Cleiton Alves, Fernando Guidorizzi, Igor Vilela, Bruno Aires, Jorge Martinelli, Letusa Momesso, Katiuça Sueko, Rubiana Rossi, Ariani Garcia, Joao Paulo Rigon, Laís Picoli, Michely Alves, Juan Piero, Danielle Scudelleti e Gabriela Ferraz, pela colaboração na

realização das coletas e análises, sem a ajuda de vocês seria impossível concluir com êxito o trabalho.

Ao Danilo Silva Almeida e Kassiano Felipe Rocha, pela convivência e pela amizade criada ao longo desses anos, e pela ajuda na realização desse experimento.

Aos estagiários, Gustavo Bacco (Gamit), Gustavo Gomes (Chico Bento), Lucas Delai (Kibarra), Mateus Loureiro (Cartuxo), Fábio Barros (Ostia) e Júlio Braga (Gaita), pela amizade e ajuda para a realização desse trabalho.

Aos funcionários do Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal Dorival Pires Arruda, Eliane Gonçalves, Célio, Mateus, Casemiro, Camargo e Cirinho, pelo empenho em ajudar.

Ao CNPq pela concessão da bolsa.

A todos não mencionados, que de alguma forma colaboraram nesse trabalho, meu agradecimento.

RESUMO

A calagem é uma prática agrícola indispensável para correção do solo e obtenção de alta produtividade pelas culturas. A utilização de corretivos de acidez do solo pode ser uma prática eficiente para mitigar as emissões de CO₂, principal gás do efeito estufa do solo para a atmosfera. Assim, o objetivo desse trabalho foi verificar a emissão de CO₂, bem como possíveis alterações no estoque de carbono no perfil do solo, em função da correção da acidez do solo, utilizando silicato, calcário e gesso, em sistema semeadura direta (SSD) e convencional (SSC). A pesquisa foi realizada em Botucatu, SP, em experimento iniciado em 2012, sob SSD e SSC, tendo a soja como cultura de verão, seguida de safrinha com milho + braquiária *ruziensis*, nos anos agrícolas de 2014 a 2016. Os solos das duas áreas experimentais foram amostrados nas camadas de 0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,4 e 0,40-0,6 m, antes da semeadura da soja, nos anos de 2014 e 2016 (novembro), para determinação do teor de carbono. O aporte de palha sobre o solo foi avaliado ao final de cada ciclo de amostragem de CO₂, determinando-se a massa dos resíduos vegetais secos e também os teores de carbono e nitrogênio. Em ambas as culturas foram feitas quantificação radicular, produção de grãos e teor de carbono nas raízes. As amostragens para determinação do fluxo de CO₂ provenientes do solo foram realizadas após a semeadura da soja, nas safras 2014/2015, repetidas em 2015/2016 e a partir de março, após a semeadura da braquiária e milho, na safra 2015. A aplicação de corretivos de acidez promove maior produção de matéria seca de raízes das culturas, aporte de C no sistema radicular, acúmulo de matéria seca da parte aérea dos cultivos, e aporte de C na palha, tanto em SSD quanto em SSC. Contudo, o estoque de C no solo é pouco afetado pela aplicação de corretivos de acidez em SSD, e definitivamente não é afetado em SSC. A realização da correção da acidez do solo não resulta em aumento da emissão de CO₂ para a atmosfera em SSD. Já em SSC, há maior emissão de CO₂ em longo prazo após aplicação de calcário + gesso, justamente devido ao maior aporte de C proporcionado pela maior produção de matéria seca das culturas, que é largamente oxidado após as operações de preparo do solo. A aplicação de corretivos de acidez resulta em maior produtividade de grãos e

consequentemente, resulta em menor emissão de CO₂ por quantidade de grãos produzidos.

Palavras chave: Emissão de gás, estoque de carbono, efeito estufa, calagem, silicatagem, gessagem.

ABSTRACT

Liming is an indispensable agricultural practice for the soil correction and to obtain high crop productivity. The use of correctives for soil acidity may be made an efficient practice for CO₂ emissions mitigation. Thus, the aim of the work was verify the CO₂ emission, as well as the possible changes in the carbon stock in the soil profile, in function of the correction of soil acidity, using silicate, limestone and gypsum, in a no-tillage system (SSD) and conventional system (SSC). The research was carried out in Botucatu, SP, in an experiment started in 2012, under SSD and SSC, having soybean as a summer crop, followed by winter corn + brachiaria ruziziensis, from the season 2014 to 2016. The soils of the two experimental areas were sampled in the 0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,4 and 0,40-0,6 m layers prior to soybean sowing in the years 2014 and 2016 (November) for determination of the carbon content. The contribution of straw to the soil was evaluated at the end of each CO₂ sampling cycle, determining a dry mass of the vegetable residues and also the carbon and nitrogen contents. In both crops, root quantification, grain yield and carbon content were determined. Regarding the determination of the CO₂ flux from de soil were performed after soybean sowing, in the 2014/2015 seasons, and repeated in 2015/2016 and in March, after the corn + brachiaria sowing, in the 2015 season. The application of acidity correctives promotes higher dry matter of root system of the crops, C contribution in the root system, accumulation of dry matter of shoots of the crops, and higher C contribution in straw, in both SSD and SSC. However, soil C stock is little affected by the acidity correctives application under SSD, and is definitely not affected in SSC. The soil acidity correction does not result in an increase in the CO₂ emission into the atmosphere in SSD. In SSC, there is higher CO₂ emission in the long term after limestone + gypsum application, due to the higher C contribution provided by the higher dry matter production of the crops, which is largely oxidized after soil preparation operations. The acidity correctives application results in higher grain yield and, consequently, results in lower CO₂ emissions per amount of grain produced.

Keywords: Gas emission, carbon stock, greenhouse gas emissions, liming, silicate, gypsum.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Frações granulométricas do solo da área experimental do sistema de semeadura direta e convencional, antes da instalação do experimento, julho de 2012.	36
Tabela 2 - Frações químicas do solo da área experimental no sistema de semeadura direta e sistema convencional, antes da instalação do experimento, julho 2012.....	37
Tabela 3 - Produção de massa de matéria seca de raízes na cultura da soja nas safras 2014/15 e 2015/16, e de milho na entressafra de 2015, em função da aplicação de corretivos de acidez (calcário, silicato, calcário + gesso, silicato + gesso) e um tratamento controle sem aplicação, sob sistema semeadura direta e sistema semeadura convencional, em amostras coletadas na profundidade de 0-60 cm.	46
Tabela 4 - Aporte de carbono pelo sistema radicular na cultura da soja nas safras 2014/15 e 2015/16, e de milho na entressafra de 2015, em função da aplicação de corretivos de acidez (calcário, silicato, calcário + gesso, silicato + gesso) e um tratamento controle sem aplicação, sob sistema semeadura direta e sistema semeadura convencional, em amostras coletadas na profundidade de 0-60 cm.	48
Tabela 5 - Produção de massa de matéria seca da parte aérea, aporte de carbono e nitrogênio na cultura do milho consorciado com braquiária nas entressafras de 2014 e 2015, e na cultura da soja nas safras 2014/15 e 2015/16, em função da aplicação de corretivos de acidez (calcário, silicato, calcário + gesso, silicato + gesso) e um tratamento controle sem aplicação, sob sistema semeadura direta.	51
Tabela 6 - Produção de massa de matéria seca da parte aérea, aporte de carbono e nitrogênio na cultura do milho consorciado com braquiária nas entressafras de 2014 e 2015, e na cultura da soja nas safras 2014/15 e 2015/16, em função da aplicação de corretivos de acidez (calcário, silicato, calcário + gesso, silicato + gesso) e um tratamento controle sem aplicação, sob sistema semeadura convencional.	52
Tabela 7 - Estoque de carbono no solo nas camadas de 0-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m de profundidade, e acumulado de 0-0,60 m, em 2014 e 2015, em função da aplicação de corretivos de acidez (calcário, silicato, calcário + gesso, silicato + gesso) e um tratamento controle sem aplicação, sob sistema semeadura direta.	56
Tabela 8 - Estoque de carbono no solo nas camadas de 0-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m, e acumulado de 0-0,60 m, em 2014 e 2015, em função da aplicação de corretivos de acidez (calcário, silicato, calcário + gesso, silicato + gesso) e um tratamento controle sem aplicação, sob sistema semeadura convencional.	59

Tabela 9 - Emissão acumulada de C-CO₂ do solo em diferentes safras, em função da aplicação de corretivos de acidez (calcário, silicato, calcário + gesso, silicato + gesso) e um tratamento controle sem aplicação, sob sistema semeadura direta e sistema semeadura convencional. 61

Tabela 10 - Produtividade de grãos de soja nas safras 2014/15 e 2015/16, e de milho na entressafra de 2015, em função da aplicação de corretivos de acidez (calcário, silicato, calcário + gesso, silicato + gesso) e um tratamento controle sem aplicação, sob sistema semeadura direta e sistema semeadura convencional.... 63

Tabela 11 - Emissão de C-CO₂ equivalente para produção de 1 kg de grão de soja e milho em função da aplicação de calcário, silicato, calcário + gesso, silicato + gesso e controle sem aplicação, sob sistema semeadura direta e sistema semeadura convencional..... 66

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Temperatura média e precipitação acumulada mensalmente durante o período de novembro de 2014 e abril de 2016, na área experimental da Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, SP.....	35
---	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	23
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	27
2.1	Gesso agrícola	27
2.2	Silicatos de cálcio e de magnésio	28
2.3	Calcário	29
2.4	Emissão de CO ₂ em sistema semeadura direta e sistema semeadura convencional	30
2.5	Sequestro de carbono em sistema semeadura direta e sistema semeadura convencional	31
3	MATERIAL E MÉTODOS	35
3.1	Caracterização da área experimental.....	35
3.2	Delineamento experimental.....	36
3.3	Instalação e condução dos experimentos	37
3.3.1	Cultivo da soja - safra 2014/2015.....	38
3.3.2	Cultivo do milho consorciado com braquiária – entressafra 2015	39
3.3.3	Cultivo da soja - safra 2015/2016.....	39
3.4	Avaliações realizadas.....	40
3.4.1	Matéria seca e teor de carbono de raízes de soja e de milho	40
3.4.2	Matéria seca da palhada presente na superfície do solo	40
3.4.3	Carbono total no solo	41
3.4.4	Fluxo de CO ₂ do solo.....	42
3.4.5	Produtividade de grãos.....	43
3.4.6	Emissão de C-CO ₂ em razão da produtividade das culturas.....	43
3.5	Análise dos resultados	43
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	45
4.1	Massa de matéria seca do sistema radicular	45

4.2	Conteúdo de C no sistema radicular.....	47
4.3	Massa de matéria seca da parte aérea e carbono e nitrogênio na palha.....	50
4.4	Carbono no solo	55
4.5	Emissão acumulada de CO ₂	60
4.6	Produtividade das culturas	62
4.7	Emissão de C-CO ₂ em razão da produtividade das culturas	65
5	CONCLUSÕES	67
	REFERÊNCIAS	69

1 INTRODUÇÃO

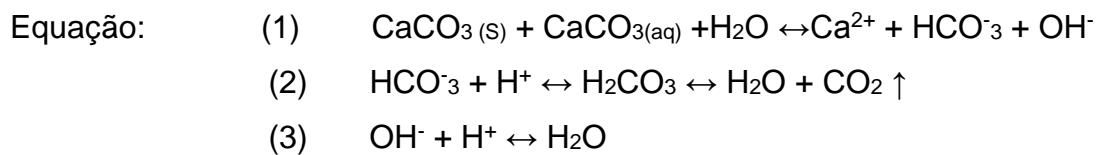
Estimativas apontam a agricultura como responsável por 14% do total de emissões antropogênicas globais de gases causadores do efeito estufa (GEEs) (IPCC, 2007). No Brasil, estima-se que a agricultura responda por 75% da emissão total de dióxido de carbono (CO_2), o principal gás do efeito estufa, e 90% da emissão anual de metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O) (EMBRAPA-CNPMA, 2006). Entretanto, sistemas de manejo que aumentem a adição de resíduos vegetais, e conseqüentemente a retenção de carbono (C) no solo, como o sistema de semeadura direta, são alternativas importantes para aumentar a capacidade de dreno de carbono equivalente (C- CO_2) atmosférico e mitigação do aquecimento global (AMADO et al., 2001; BAYER et al., 2006). O aumento no acúmulo de matéria orgânica do solo (MOS) promove a retirada de CO_2 da atmosfera, contribuindo para a mitigação do efeito estufa (CERRI et al., 2010).

Alterações no estoque de carbono no solo são desencadeadas pelo manejo utilizado, nesse sentido, consideráveis perdas de carbono ocorrem através das práticas de cultivo no sistema de semeadura convencional, como preparo do solo e baixa produção de resíduos vegetais, especialmente em regiões tropicais e subtropicais. Entretanto a utilização de espécies com alto potencial de aporte de matéria seca e elevada capacidade de exploração do solo pelas raízes, como o milho, pode aumentar o estoque de carbono no solo em sistema de semeadura direta (GARCIA; ROSOLEM; LI, 2013). Dessa forma, Bayer et al. (2006) apontam a adoção do sistema de semeadura direta como forma de sequestrar C atmosférico, atenuando as alterações climáticas globais.

Os solos em regiões tropicais e subtropicais, em sua maioria, são ácidos e com altos teores de Al trocável, tornando-se necessária a realização da correção da acidez, para resolver os problemas relacionados ao crescimento das principais culturas (CAIRES et al., 2008; MOREIRA & FAGERIA., 2010). Aplicações de calcário e de gesso agrícola, assim como de silicatos, promovem modificações químicas no perfil do solo que podem melhorar o ambiente de desenvolvimento radicular das plantas (CAIRES et al., 2001). Uma das modificações é a redução da concentração e/ou atividade do alumínio (Al^{3+}) trocável, permitindo maior crescimento das raízes (McCORMICK; BORDEN, 1972). O maior crescimento

radicular em profundidade pode aumentar o teor de MOS e, com a presença constante do ciclo de crescimento e morte de raízes, pode aumentar o estoque de C-orgânico no solo (SANTOS et al., 2011).

Porém, a aplicação de calcário para a correção da acidez do solo está sendo reconhecida como uma prática que contribui para a emissão de CO₂ para a atmosfera (FUENTES et al., 2006; ALMARAZ et al., 2009), devido o CO₂ ser subproduto da reação do calcário no solo:



Porém, a emissão de CO₂ a partir da aplicação de calcário ocorre em pequenas quantidades. Os processos de emissão de CO₂ do solo que ocorrem ao longo do tempo, estão associados à atividade microbiana, respiração das raízes, decomposição dos resíduos vegetais e oxidação da matéria orgânica do solo (MOS) (LAL, 2009). As modificações observadas no solo pela correção da acidez em longo prazo pode promover o sequestro de CO₂ da atmosfera pelo processo fotossintético das plantas.

Existem vários trabalhos que demonstram os efeitos positivos da utilização do gesso na agricultura. Segundo Briedis (2012c) existe uma correlação entre o aumento de carbono no solo e teor de Ca²⁺. Ainda por meio da formação de pontes catiônicas entre o Ca²⁺, argilas e a MOS ocorre maior estabilização do carbono no solo (BRONICK; LAL, 2005; PETERSON, 1947; SIX et al., 2004). O gesso, por apresentar um alta concentração de Ca em sua composição, eleva o conteúdo de Ca no solo promovendo formação de pontes catiônicas, elevando a proteção do carbono sequestrado pela entrada dos resíduos vegetais, exsudados, porém, ainda são necessários estudos sobre sua utilização junto à calagem nos processos de liberação de carbono na atmosfera. Nesse contexto, levanta-se a hipótese de que a aplicação de silicato ou calcário junto ao gesso, em sistema de produção agrícola, promovendo maior desenvolvimento das plantas, possa melhorar o balanço de C em relação ao uso somente de calcário e ainda, contribuindo para o sequestro de C-CO₂ da atmosfera.

Este trabalho teve como objetivo avaliar o balanço de C no solo, a produtividade de grãos da soja e do milho safrinha, bem como a deposição de C pela biomassa do sistema radicular e os resíduos produzidos no final do ciclo das culturas na superfície do solo, em cultivo sob SSD e SSC com a aplicação de calcário, gesso agrícola e silicato.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Gesso agrícola

Nos solos do bioma do Cerrado a acidez e/ou a deficiência de cálcio (Ca), comuns tanto na camada superficial quanto na subsuperficial, necessitam ser corrigidas para torná-los produtivos. A ausência de correção ou correção parcial podem causar limitações à produtividade das culturas, pela restrição do crescimento radicular e da absorção de água e nutrientes pelas plantas (PAVAN; BINGHAM; PRATT, 1982; QUAGGIO, 2000).

O gesso agrícola, sulfato de cálcio hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), é um produto proveniente da indústria de fertilizantes fosfatados e tem sido utilizado em solos ácidos associado ao calcário (SILVA et al., 1998). Por apresentar uma alta mobilidade no perfil do solo pode atingir camadas mais profundas, criando um ambiente mais favorável para o crescimento radicular. Isso favorece a absorção de água e nutrientes com maior eficiência (SOUZA et al., 2005). Em aplicação superficial, o gesso agrícola pode, ainda, compensar o efeito de neutralização de Al^{3+} , somente superficial do calcário, em razão de atuar no subsolo, sem a necessidade de incorporação (CAIRES et al., 2003).

A possibilidade de o gesso agrícola alterar a constituição química da solução do solo é, sobretudo, consequência do incremento dos teores de Ca^{+2} e de SO_4^{-2} , que são constituintes presentes em maiores proporções nesse produto (32,6% de CaO e 18,7% de S) (RAIJ, 1992). O Ca^{+2} e SO_4^{-} se ligam a outros íons, formando várias espécies químicas na solução do solo. A formação de complexos de um íon com outros de valência oposta (pares de íons) altera a função biológica do elemento químico, o que confirma a importância da especiação química para interpretação da disponibilidade de íons para as raízes das plantas (CHAVES et al., 1991).

Com a aplicação de gesso agrícola, além da movimentação de cátions e ânions para a subsuperfície, o que aumenta os teores de Ca e de magnésio (Mg), ocorre a redução no teor de Al^{3+} , formando formas menos tóxicas, como o sulfato de alumínio (AlSO_4^+) (PAVAN; BINGHAM; PRATT, 1982, 1984). Com isso, o

gesso agrícola cria um ambiente favorável para o desenvolvimento das raízes das plantas. Isso ocorre por meio da formação de complexos de estruturas hidroxiladas de Al^{3+} , (REEVE; SUMNER, 1972) e da precipitação de Al^{3+} com os minerais basaluminita e alunita (ADAMS; RAWAJFIH, 1977). Esse efeito do gesso agrícola na redução da acidez no subsolo tem sido citado por vários autores (CAIRES et al., 2003, 2004; RAIJ et al., 1998; SORATTO; CRUSCIOL, 2008a, 2008b). A eficiência da correção da acidez já pode ser observada no ano agrícola de aplicação do gesso agrícola (SOUSA; LOBATO, 2004), ocasionando maior aproveitamento nutricional e hídrico e, conseqüentemente, maior produtividade.

2.2 Silicatos de cálcio e de magnésio

Diferentes produtos podem ser utilizados como corretivos do solo, desde que este apresente um constituinte neutralizante da acidez (ALCARDE, 1985), entre eles a escória de siderurgia. A escória é um subproduto produzido nas siderúrgicas de mineração do ferro e da produção do aço, constituída, basicamente, de silicato de cálcio e de magnésio (AMARAL et al., 1994). É considerada uma das fontes mais abundantes e baratas de silicatos. O produto é formado a partir dos materiais inertes do minério de ferro e do carvão, que não foram reduzidos no processo siderúrgico de formação do aço. Estes combinam-se com o Ca e o Mg do calcário, dando origem à escória de siderurgia (PEREIRA, 1978).

As pesquisas realizadas com silicatos de Ca e de Mg têm demonstrado a liberação de Ca^{+2} e Mg^{+2} em solução e ânions (SiO_3^-) que reagem com a água e liberam íons OH^- , que neutralizam o Al^{3+} fitotóxico (NOLLA, 2004; PRADO; FERNANDES, 2000), promovendo a elevação do pH e da saturação por bases dos solos (CASTRO; CRUSCIOL, 2013a, b; KORNDORFER et al., 2002; PRADO; FERNANDES, 2003). O silicato de cálcio é 6,78 vezes mais solúvel em comparação ao calcário ($CaCO_3 = 0,014 \text{ g L}^{-1}$; $CaSiO_3 = 0,095 \text{ g L}^{-1}$), apresentando maior potencial para a correção da acidez do solo em profundidade (ALCARDE; RODELA, 2003), sendo uma alternativa para aplicação em SSD,

onde os corretivos não são incorporados ao solo (CARVALHO-PUPATTO; BULL; CRUSCIOL, 2004).

Conforme observado por Korndorfer et al. (2002) e Pulz et al. (2008) os silicatos de Ca e de Mg podem apresentar vantagens em relação ao carbonato de cálcio, além de sua recomendação de aplicação poder ainda ser baseada em qualquer um dos métodos utilizados para recomendação de calagem. De acordo com os mesmos autores, os silicatos aumentam a disponibilidade de silício (Si), elevam o pH e aumentam o Ca e Mg trocáveis. Reduzem a toxicidade por ferro (Fe), manganês (Mn) e Al às plantas e, ainda, aumentam a disponibilidade de P no solo pela competição do Si pelos sítios de adsorção do fósforo aos colóides.

De acordo com Korndorfer et. al. (2001) a aplicação de silicatos de Ca e de Mg promovem a correção da acidez até 40 cm de profundidade no perfil do solo. Do mesmo modo, Barbosa et al. (2003) verificaram elevação do pH até 25 cm de profundidade no perfil do solo com aplicação de silicato, em condições adequadas de umidade no solo.

2.3 Calcário

Os solos ácidos apresentam níveis tóxicos de Al^{3+} e baixos teores de cátions básicos e pH, prejudicando a produção da maioria das culturas (SOUSA; LOBATO, 2004). A prática da calagem é indispensável para melhoria das características dos solos. O calcário é o corretivo mais utilizado na agricultura. Apresenta ação positiva em várias propriedades químicas do solo, como elevação do pH, neutralização do alumínio tóxico e disponibilização de cálcio e magnésio às plantas. A realização da calagem favorece o desenvolvimento do sistema radicular (ALCARDE; RODELLA, 2003; QUAGGIO et al., 1993).

A correção da acidez do solo em SSD sem incorporação pode ser limitada às camadas superficiais, quando a fonte é o calcário (CAIRES et al., 1998; RITCHEY et al., 1982). Entretanto, diversas pesquisas têm demonstrado a correção da acidez do subsolo em longo prazo, mesmo com aplicação superficial de calcário sem incorporação (CAIRES et al., 1998, 1999; CORRÊA et al., 2007;

OLIVEIRA; PAVAN, 1996; RHEINHEIMER et al., 2000; SORATTO; CRUSCIOL, 2008a).

Costa e Rosolem (2007), em estudos com calagem em SSD, verificaram aumento nos teores de Mg na solução e no perfil do solo, indicando a movimentação do Mg oriundo da reação de hidrólise do calcário dolomítico aplicado em superfície para as camadas subsuperficiais, o que confirmou a hipótese estabelecida por Oliveira e Pavan (1996), de formação de pares iônicos entre o bicarbonato, Ca e o Mg, facilitando sua movimentação no perfil do solo.

Ao elevar o pH do solo, a calagem também eleva a atividade microbiana (EKENLER; TABATABAI, 2003; MIJANGOS et al., 2010), o que acarreta, em um curto período de tempo, na decomposição mais acelerada da MOS (YAO et al., 2009). Porém, esse efeito em longo prazo no SSD, em relação à calagem pode ser diferente em razão dos efeitos ocasionados pelo não revolvimento do solo, o que promove maior proteção da MOS (CAIRES et al., 2006). Esse efeito indireto da calagem no solo pode levar ao incremento nos teores de MOS (HAYNES, 1984). Em estudo com Latossolo Vermelho distroférico, após 60 meses da reaplicação do calcário e gesso, Costa (2011) observou pequeno acréscimo no teor da MOS.

2.4 Emissão de CO₂ em sistema semeadura direta e sistema semeadura convencional

O relatório divulgado pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), em novembro de 2014, ressalta o incremento das emissões dos gases do efeito estufa (GEE), estimado em 2,2% ao ano, entre 2000 e 2010 (IPCC, 2014). Essas mudanças estão sendo causadas pela elevação na concentração de GEE, sendo o principal o dióxido de carbono (CO₂), além do metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O), os quais superam níveis pré-industriais em cerca de 40%, 150% e 20%, respectivamente (IPCC, 2013).

As práticas agrícolas são responsáveis diretamente por essas alterações na emissão dos GEE (STAVI; LAL, 2013). As estimativas propõem que a atividade agrícola seja responsável por 10% a 12% das emissões de GEE de

origem antropogênica (IPCC, 2014). No Brasil, mais de 70% da emissão dos GEE está relacionada ao uso e manejo do solo (CERRI et al., 2007).

De acordo com IPCC (2006) a emissão de CO₂ provocada pela prática da calagem realizada com calcário dolomítico é de 0,13 t C-CO₂ por tonelada de calcário aplicado no solo, supondo-se que todo o carbono do calcário aplicado é emitido na forma de CO₂ no ano da aplicação.

Pelo fato do solo ser considerado um grande reservatório de carbono com dinâmica complexa (BRUCE et al., 1999), a emissão de CO₂ do solo apresenta uma importante parcela do ciclo global de C e pequenas variações nessa fração podem afetar a concentração de CO₂ na atmosfera e, conseqüentemente, o teor de carbono no solo (RETH et al., 2005).

E ainda o preparo do solo pode influenciar as concentrações de CO₂ na atmosfera, especialmente em períodos curtos após o preparo do solo, independentemente das condições edáficas (FORTIN; ROCHETTE; PATTEY, 1996; LA SCALA JR et al., 2001; REICOSKY et al., 1997; TEIXEIRA et al., 2010b). Isso ocorre em consequência da desestruturação dos macroagregados (PALMEIRAS et al., 1999), o que causa um maior contato solo-resíduo, aumentando a oxigenação e a temperatura do solo, provocando intensificação na decomposição da MOS e maior emissão de CO₂ (LISBOA et al., 2006; SILVA-OLAYA et al., 2013).

As emissões de CO₂ no solo também estão associadas à oxidação do carbono do solo, decomposição dos resíduos vegetais e pela respiração da microbiota de raízes (RYAN; LAW, 2005).

Desta forma, práticas de manejo que visam o acúmulo de matéria orgânica no solo são extremamente importantes para a fixação de C no solo e mitigação do CO₂ da atmosfera, com destaque para o SSD (CONCEIÇÃO; DIECKOW; BAYER, 2013; FERREIRA et al., 2012; LAL, 2004; PAUL et al., 2013; REIS et al., 2014).

2.5 Sequestro de carbono em sistema semeadura direta e sistema semeadura convencional

As práticas de manejo que utilizam o revolvimento do solo diminuem o estoque de C e nitrogênio (N) do solo (MANN et al., 2002), por promoverem maior mineralização de C e N, causada pela desestruturação dos agregados do solo (SIX et al., 2002) e aumento da atividade microbiana. O potencial do solo em sequestrar C pode ser influenciado de acordo com o tipo e quantidade de resíduos de cobertura, clima, práticas de manejo, taxas de entradas e saídas (SLEUTEL et al., 2003; ZINN et al., 2005) e teor de argila (SILVA; MENDONÇA, 2007; ZINN et al., 2002).

De acordo com Silva e Mendonça (2007), um solo com maior teor de argila apresenta maior potencial de acumular C, devido à atividade de diferentes tipos de ligações entre os minerais de argila e a MOS. Ainda, de acordo com os mesmos autores, a proteção física da MOS impede a ação dos microrganismos e de suas enzimas à MOS, evitando a mineralização do C. Já para Frazão et al. (2010), os estoques de C podem ser alterados, aumentados ou diminuídos, em comparação ao estoque inicial, em função do manejo do qual o solo é submetido.

O C entra no sistema por meio da atividade fotossintética das plantas e, a partir do sistema de manejo adequado, ocorre o aumento do estoque de MOS (BAYER et al., 2000; SISTI et al., 2004). Segundo Roscoe et al. (2006), para que haja um acúmulo de MOS no sistema de produção, deve-se ter uma taxa de entrada de C superior à taxa de decomposição. Com o propósito de mobilização mínima do solo no SSD e adição constante de resíduos sobre a superfície, conseqüentemente, dá-se o aumento do estoque de C e N, melhoria na agregação do solo e mitigação de CO₂ e outros GEE na atmosfera (SALTON et al., 2014). Assim, Six et al. (2004) enfatizaram a alta relevância na mitigação dos GEE em sistemas conduzidos sob SSD, principalmente pela capacidade de redução do aquecimento global ao longo do tempo, além de promover ganhos referente acúmulo de C no solo e na estrutura física do solo.

De acordo com West e Post (2002), avaliando sistemas de cultivo em diferentes regiões no mundo, comparando SSC, cultivo reduzido e cultivo mínimo estimaram acréscimo médio no sequestro de carbono no SSD em relação ao SSC, de $0,48 \pm 0,13 \text{ Mg C ha}^{-1}$ e, quando incluiu o sistema de rotação de culturas, houve um adicional de $0,20 \pm 0,12 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

Segundo Follett (2001), o SSD promove acréscimo do teor de C-orgânico no solo pela contribuição do material vegetal ou pela redução da taxa de decomposição da MOS. No bioma Cerrado, Corazza et al. (1999) verificaram uma taxa de 1,43 t C ha⁻¹ ano⁻¹ após 15 anos da implantação do SSD. Leite et al. (2010), em estudo com Latossolo Vermelho-Amarelo, verificaram uma taxa de aumento de 12% no estoque de C após dois anos de cultivo sob SSD, sendo que após seis anos a taxa foi de 30%, na camada 0–5 cm, em relação à floresta nativa do Cerrado. Maia et al. (2010) observaram um aumento do C do solo em SSD quando comparado à vegetação nativa, entretanto o SSC, teve efeito negativo no estoque de C em relação ao SSD. Os resultados das pesquisas apresentados a respeito do sequestro de C ainda deixam omissões em relação ao efetivo incremento de C nos solos cultivados em SSD, mas são evidentes quando comparado aos SSC.

A quantidade de C acumulado no solo depende, fundamentalmente, da quantidade de massa seca produzida pelos sistemas de culturas (GONÇALVEZ; CERETTA, 1999). O ciclo do C está associado ao ciclo do N, e por ser considerado um dos elementos mais limitante à produção de biomassa, as entradas de N, via adubação nitrogenada (mineral, orgânica) ou por plantas fixadoras, estão associadas ao sequestro de carbono em solos agrícolas (SANTI et al., 2003). Do mesmo modo, Raphael et al. (2016), em estudo com Latossolo Vermelho em Botucatu-SP, verificaram que a rotação de culturas com elevada concentração de N promoveu aumento da entrada de C no solo.

Para cada 10 unidades de C sequestrados no solo, estima-se a necessidade de se imobilizar 1 unidade de N, portanto a utilização de espécies de leguminosas com alta fixação biológica de nitrogênio (FBN), para a efetiva disponibilidade de N dentro do sistema, é fundamental para adição de C no solo (SISTI et al., 2004; SIX et al., 2006).

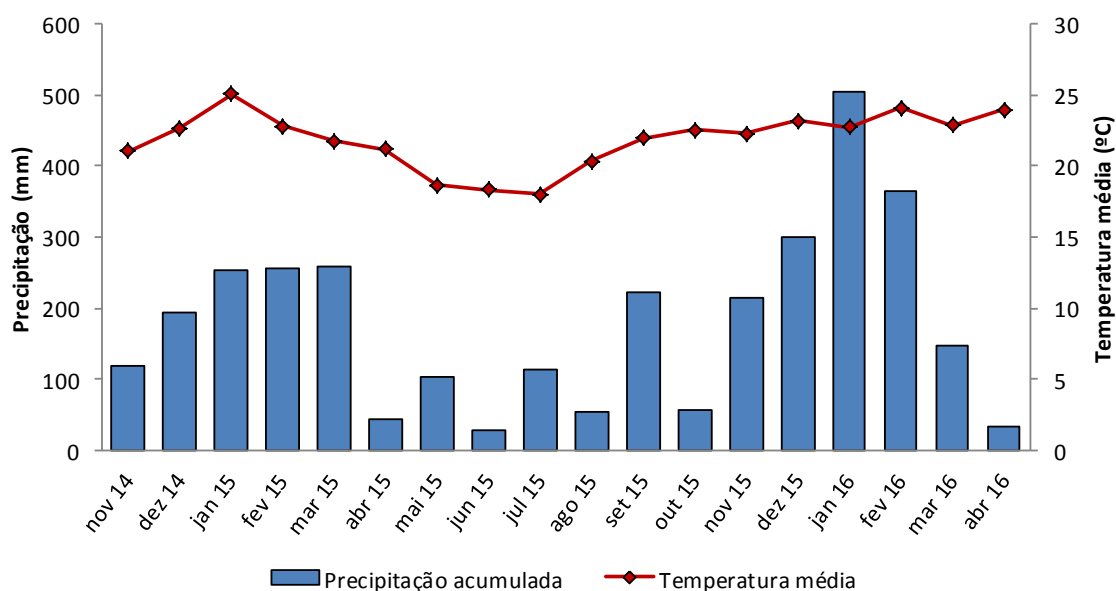
Desta forma, é importante a adoção de estratégias de manejo, como a implantação do SSD, com constante adição de resíduos vegetais na superfície do solo, bem como incremento de N, visando a melhoria da estrutura física do solo e, conseqüentemente, do balanço de C do sistema.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área experimental

Foram conduzidos dois experimentos, no período de novembro de 2014 a março de 2016, a fim de verificar a ação de corretivos do solo aplicados em 2012. Um dos experimentos foi conduzido sob sistema semeadura direta (SSD) e outro em sistema de semeadura convencional (SSC), instalados na Fazenda Experimental Lageado, Faculdade de Ciências Agrônomicas, em Botucatu, Estado de São Paulo, situada na latitude 22° 51'S, longitude 48° 26'W e altitude de 770 m. Segundo a classificação climática de Köppen, o clima na região é do tipo Cwa, com inverno seco e verão quente e chuvoso. Os dados de precipitação pluviométrica acumulada e temperatura média foram coletados em estação meteorológica da Faculdade de Ciências Agrônomicas (Figura 1).

Figura 1 - Temperatura média e precipitação acumulada mensalmente durante o período de novembro de 2014 e abril de 2016, na área experimental da Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, SP.



O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho distroférico (EMBRAPA, 1999). Em julho de 2012 foram coletadas 20 amostras de solo aleatoriamente em profundidade no perfil do solo, a fim de compor uma amostra composta de caracterização da área, para análise granulométrica (Tabela 1).

Tabela 1 - Frações granulométricas do solo da área experimental do sistema de semeadura direta e convencional, antes da instalação do experimento, julho de 2012.

Características granulométricas				
Profundidade	Areia	Silte	Argila	Textura
m	g kg ⁻¹			
0-0,10	578	92	330	Média argilosa
0,10-0,20	587	78	335	Média argilosa
0,20-0,40	584	47	369	Média argilosa
0,40-0,60	531	58	411	Média argilosa

3.2 Delineamento experimental

Para os dois experimentos, em SSC e SSD, o delineamento experimental foi em blocos casualizados com quatro repetições. Os tratamentos foram aplicados em 2012 e constituídos por calcário, silicato, calcário + gesso, silicato + gesso, e um tratamento controle, sem aplicação. As doses dos corretivos foram calculadas para elevar a saturação por bases a 70%, tendo como base a saturação por bases inicial (Tabela 2), e, para o gesso, foi considerado o teor de argila do solo e multiplicado por 6 (RAIJ et al., 1997), tendo como base de recomendação o resultado da análise de solo de 0 a 40 cm (Tabela 2).

Foram aplicadas as doses correspondentes a 3,7 Mg ha⁻¹ de calcário, 6,7 Mg ha⁻¹ de silicato e 2,0 Mg ha⁻¹ de gesso agrícola, aplicados em uma única vez, em outubro de 2012, para os tratamentos onde foi adicionado gesso foi aplicado imediatamente após a aplicação do calcário ou silicato. Para o SSC os corretivos foram incorporados com grade intermediária, até aproximadamente 20 cm de

profundidade, e no SSD foram aplicados na superfície do solo. Assim verificado a ação dos corretivos aos 28 e 40 meses após a aplicação.

Tabela 2 - Frações químicas do solo da área experimental no sistema de semeadura direta e sistema convencional, antes da instalação do experimento, julho 2012.

Profundidade	pH	MO	P	Ca	Mg	K	H+Al	SB	CTC	V
m	CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	----- mmol _c dm ⁻³ -----			-----		%	
Sistema semeadura direta										
0-0,10	3,7	43	14	12	3,4	1,8	85	17	102	19
0,10-0,20	3,2	31	13	3	0,6	1,1	123	4,1	127	3
0,20-0,40	3,1	28	11	3	0,6	1,0	144	4,7	149	3
0,40-0,60	3,5	29	10	8	1,0	0,5	142	9,7	152	8
Sistema semeadura convencional										
0-0,10	3,8	37	14	12	3,8	1,6	71	17	88	20
0,10-0,20	3,5	29	10	6	1,4	0,6	95	8,1	103	3
0,20-0,40	3,1	24	5	3	0,3	0,4	82	4,1	86	5
0,40-0,60	3,0	23	4	8	0,3	0,7	127	9,5	137	6

As parcelas foram constituídas por 5 linhas de semeadura com espaçamento entre linhas de 0,45 m, 7 m de comprimento, totalizando 16 m². A área útil foi constituída pelas três linhas centrais, desprezando-se 1 m nas extremidades das linhas, considerados como bordaduras.

3.3 Instalação e condução dos experimentos

Os experimentos em SSD e SSC foram conduzidos simultaneamente. No SSC o preparo do solo foi realizado com uma grade aradora intermediária, com 5 dias de antecedência da semeadura da cultura da soja, em novembro de 2014 e outubro de 2015. Todas as atividades operacionais de semeadura das culturas

foram realizadas utilizando-se uma semeadora de arrasto (Semeato, modelo THM 13 Personale Drill).

Os experimentos sob SSD e SSC, foram cultivados com a cultura da soja [*Glycine max* (L.) Merr.] na safra, nos anos agrícolas de 2012/13, 2013/14, 2014/15, 2015/16. Na entressafra, foi cultivado como segunda cultura o milho (*Zea mays* L.) consorciado com braquiária ruziziensis [*Urochloa ruziziensis* (R. Germ. and C.M. Evrard) Morrone and Zuloaga] em 2013 e 2015, e milheto [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.] consorciado com braquiária ruziziensis em 2014.

3.3.1 Cultivo da soja - safra 2014/2015

Foi realizada a dessecação da braquiária no dia 03/11/2015, utilizando o herbicida glifosato (Roundup WG) na dose 2,0 kg ha⁻¹ de produto comercial (p.c) e a cultura da soja foi semeada no dia 15 novembro de 2014. As sementes foram inoculadas com bactérias do gênero *Bradyrhizobium*, na dose de 2 mL kg⁻¹ de sementes. A adubação foi realizada aplicando-se 400 kg ha⁻¹ do formulado 8-28-16 N-P₂O₅-K₂O no sulco de semeadura.

Aos 24 dias após a emergência, no dia 15/12/2014, foi realizado o controle químico de plantas daninhas com o herbicida glifosato, na dose 2 kg ha⁻¹ (p.c). Foram realizadas 7 aplicações de fungicidas ao longo do ciclo, sendo Azoxistrobina e Ciproconazol (Priori Xtra) na dose 300 mL ha⁻¹ (p.c), em 22/12/2014, 14/01/2015 e 14/02/2015, Piraclostrobina e Epoxiconazol (Opera) na dose 500 mL ha⁻¹ (p.c), em 07/01/2015 e 26/01/2015 e Piraclostrobina (Comet) na dose de 300 mL ha⁻¹ (p.c), em 23/02/2015. Para o controle de lagarta e percevejos foram realizadas 7 aplicações, sendo Acefato (Orthene 50 BR) na dose 0,5 kg ha⁻¹ (p.c), em 22/12/2014 e 14/01/2015, Tiametaxam (Engeo Pleno) na dose 200 mL ha⁻¹ (p.c), em 07/01/2015 e 02/02/2015, Metomil (Lannate BR) na dose 1 L ha⁻¹ (p.c), em 26/01/2015 e 14/02/2015 e Imadacloprido e Beta-Ciflutrina (Connect) na dose 1 L ha⁻¹, em 23/02/2015.

Aos 122 dias após semeadura, no dia 17/03/2015, foi realizada a colheita na área útil de amostragem, utilizando-se colhedora de parcelas.

3.3.2 Cultivo do milho consorciado com braquiária – entressafra 2015

A cultura do milho foi semeada no dia 18 março de 2015, utilizando-se o híbrido simples Impacto Viptera 3, com uma população de 70 mil plantas por ha⁻¹, e simultaneamente à semeadura da braquiária com uma densidade de 5 kg ha⁻¹ de sementes, com taxa de 80% de germinação e pureza de 99%. As sementes da forrageira foram misturadas ao fertilizante, utilizando-se uma betoneira, uma hora antes da semeadura do milho, em seguida adicionadas ao compartimento do fertilizante da semeadora e depositadas abaixo das sementes do milho, a 0,08 m de profundidade juntamente com o fertilizante.

Na adubação de base foi utilizado 400 Kg ha⁻¹ da formulação 08-28-16 (N-P₂O₅-K₂O). Para o controle de plantas daninhas foi utilizado 6-chloro-N²-ethyl-N 4-isopropyl-1,3,5-triazine-2,4-diamine (Atrazina), na dose 4 L ha⁻¹ (p.c), em 10/04/2015. Em 17 de abril de 2015 foi realizada a adubação de cobertura, aplicando 130 kg ha⁻¹ de N, na forma de uréia, e 60 kg ha⁻¹ de K₂O, na forma de cloreto de potássio, aplicados, superficialmente e sem incorporação, na entrelinha da cultura. Para o controle de doenças foliares foi realizada aplicação de Azoxistrobina e Ciproconazol (Priori Xtra), na dose 300 mL ha⁻¹ (p.c), em 26/05/2015. Aos 144 dias após a semeadura, em 11 de agosto de 2015, foi realizada a colheita de forma manual, na área útil de amostragem.

3.3.3 Cultivo da soja - safra 2015/2016

A dessecação da braquiária foi realizada em 08 de outubro de 2015 utilizando o herbicida glifosato (Roundup WG) na dose 2,0 kg ha⁻¹ (p.c). Posteriormente, em 15 de outubro 2015, foi realizada a semeadura da soja, as sementes inoculadas com bactérias do gênero Bradyrhizobium, na dose de 2 mL kg⁻¹ de semente. Foi realizada adubação no sulco de semeadura, na dose 400 kg ha⁻¹ do formulado 8-28-16 (N-P₂O₅-K₂O).

Aos 33 dias após a emergência, em 17/11/2015, foi realizado o controle químico de plantas daninhas com o herbicida glifosato, na dose 2 kg ha⁻¹ (p.c). Foram realizadas 3 aplicações de fungicidas ao longo do ciclo, sendo Azoxistrobina e Ciproconazol (Priori Xtra) na dose 300 mL ha⁻¹ (p.c), em 16/12/2015 e 27/01/2016 e Piraclostrobina e Epoxiconazol (Opera) na dose 500

mL ha⁻¹ (p.c), em 12/01/2016. O controle de percevejos foi realizado utilizando Acefato (Orthene 50 BR) na dose 0,5 kg ha⁻¹ (p.c), em 26/11/2015 e 12/01/2016 e Tiametaxam (Engeo Pleno) na dose 200 mL ha⁻¹ (p.c), em 16/12/2015 e 02/01/2016, em um total de 4 aplicações. Aos 115 dias após a semeadura, em 3 de fevereiro de 2015, foi realizada a colheita de forma manual, na área útil de amostragem.

3.4 Avaliações realizadas

3.4.1 Matéria seca e teor de carbono de raízes de soja e de milho

A amostragem de raiz, na cultura da soja, foi realizada no estágio fenológico de R6 (FEHR et al., 1971), no dia 26/01/2015 na primeira safra 2014/2015, e em 22/12/2015 na segunda safra 2015/2016. Na cultura do milho, a amostragem de raiz foi realizada no estágio fenológico de R1, em 21/05/2015 na entressafra de 2015. Foram amostrados três pontos na linha e três pontos na entrelinha de semeadura, formando uma amostra composta. Foi utilizada uma sonda de aço com 45 mm de diâmetro, sendo amostradas as camadas de 0-0,60 m. Após a coleta, as amostras foram armazenadas em freezer a temperatura de -15 °C para evitar perdas de carbono pela deterioração das raízes até o processamento das amostras. Para a separação das raízes do solo, as amostras foram colocadas em bacias para realizar o descongelamento, em seguida foram peneiradas em peneira de malha de 1 mm. Separou-se as raízes dos demais materiais, como pedras e resíduos vegetais em decomposição, com auxílio de pinça. Posteriormente, as raízes foram alocadas em sacos de papel e secas em estufa com circulação forçada de ar a 60 °C por 48 h. Após a secagem, foi estimada a massa de matéria seca em Kg/ha⁻¹ e determinado o teor de carbono total em Kg/ha⁻¹, por meio de analisador elementar automático, Modelo TruSpec™ CHNS, da LECO® (SWIFT, 1996).

3.4.2 Matéria seca da palhada presente na superfície do solo

A quantificação da palhada presente na superfície do solo foi realizada no final do ciclo de cada cultura, com o auxílio de um quadro de aço com 0,25 m² de área (0,25 x 0,25), em três repetições por parcela. As amostras foram secas em estufa de aeração forçada, à temperatura de 65 °C por 72 horas. Em seguida, as amostras foram pesadas para determinação da massa de matéria seca e estimada a produção em toneladas por hectare (t ha⁻¹). Posteriormente, foram tomadas sub-amostras de 40 g para análise de C-total e N-total, por meio de analisador elementar automático, Modelo TruSpec™ CHNS, da LECO® (SWIFT, 1996), e o restante da amostra foi devolvida para suas respectivas parcelas no campo. As sub-amostras foram moídas em moinho tipo "Willey", peneiradas em peneira com malha de 1,0 mm, acondicionadas em sacos de papel e armazenadas para posterior análise.

A primeira amostragem de palhada no campo foi realizada na cultura do milho consorciado com braquiária no dia 22 de outubro de 2014, essas culturas estavam sendo cultivadas na entressafra de 2014, antes do início do presente trabalho. Em seguida, foi coletada a palhada da soja, nos dias 10 março de 2015 e 14 março de 2016, após a colheita. A coleta da palhada do milho consorciado com braquiária ocorreu no dia 15 de outubro de 2015, após a colheita do milho.

3.4.3 Carbono total no solo

As avaliações do teor de C-total do solo foram realizadas durante a condução dos experimentos, nas safras 2014/2015 e 2015/2016, 22 e 11 de novembro, respectivamente. As amostragens foram realizadas nas profundidades de 0-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m, antes da semeadura da soja, sendo coletado três pontos por parcela para formar uma amostras composta. As amostras foram secas ao ar, destorroadas e peneiradas em peneira de malha de 2 mm. Em seguida, foram moídas em moinho de bolas, para posteriores determinação dos teores de C-total por meio de analisador elementar automático Modelo TruSpec™ CHNS, da LECO® (SWIFT, 1996). A partir dos teores de C-total do solo e da densidade (dados não apresentados) foi calculado o estoque de C nas diferentes camadas avaliadas no perfil do solo.

3.4.4 Fluxo de CO₂ do solo

A emissão de gases do efeito estufa é maior nos primeiros dias após as atividades de manejo que envolvem mobilização do solo, como o preparo do solo e semeadura, principalmente para o CO₂ (LA SCALA JR et al., 2009; TEIXEIRA et al., 2010a). Entretanto, segundo Cruvinel et al. (2011), nos demais períodos de desenvolvimento das culturas, as medições de CO₂ podem ser realizadas mensalmente, porém foram intensificadas quando houve interferência na área (manejo de adubação). Dessa forma, as amostragens de CO₂ provenientes do solo foram geralmente realizadas 1, 3, 5, 7, 15 e 30 dias após a semeadura da cultura da soja e milho safrinha consorciado com braquiária, sendo mensal a partir daí.

O fluxo de CO₂ foi mensurado com o auxílio de um equipamento portátil que analisa o fluxo de gás por ondas de infravermelho (IRGA – *Infrared Gas Analyzer*) da marca LI-COR, modelo LI-8100A. O equipamento estava conectado a uma câmara de fechamento automático de 20 cm de diâmetro, sendo realizadas 2 amostras por unidade experimental na linha e 2 na entrelinha de semeadura. A câmara foi acoplada a um cilindro de PVC com 20 cm de diâmetro. Os cilindros de 10 cm de altura foram fixados no solo, a 3 cm de profundidade e 7 cm acima da superfície do solo. A perturbação do solo causada pela instalação dos cilindros de PVC promove um pico de emissão de gases, portanto, as amostragens de CO₂ tiveram início somente 24 horas após a instalação. Posteriormente, as emissões acumuladas do fluxo de CO₂ do solo para a atmosfera, foram estimadas pelo método da área abaixo das curvas de emissão, durante todo o período do presente estudo, utilizando o SOFTWARE Origin.

As avaliações do efluxo de CO₂ se iniciaram na primeira safra 2014/2015 da cultura da soja, em 21/11/2014, sendo realizado um total de 8 avaliações durante o ciclo da cultura (dias 21/11, 23/11, 25/11, 01/12, 15/12 de 2014, 02/01, 08/02 e 20/03 de 2015), em um período de 119 dias.

Após a colheita da cultura da soja, foi realizada a semeadura da cultura do milho consorciado com braquiária, em 20 de março de 2015 e as avaliações do

fluxo de CO₂ iniciaram em 21/03/2015, finalizando após a dessecação da braquiária, em 24/09/2015. Foram realizadas 12 medições no total, nos dias 21/03, 24/03, 27/03, 01/04, 08/04, 18/04, 17/05, 18/06, 20/07, 20/08, 24/09, 22/10 de 2015, num período de 211 dias.

Na segunda safra de verão 2015/2016, o início da avaliação ocorreu em 26 de outubro de 2015, após a semeadura da cultura da soja. Entretanto, não foi possível seguir a sequência da primeira avaliação na safra 2014/15, devido ocorrência de chuvas frequentes após a primeira avaliação inviabilizando as medições. Portanto, foram realizadas 7 medições no total, durante um período de 110 dias, nos dias 31/10, 05/11, 08/11, 17/11, 06/12, 18/01, 26/02. Com os resultados do fluxo de CO₂ ao longo do tempo calculou-se a emissão acumulada de C-CO₂ em Kg/ha⁻¹.

3.4.5 Produtividade de grãos

Após a colheita da soja e do milho, foi determinada a massa de grãos com balança eletrônica de precisão (0,01 g) e em seguida sub-amostras foram tomadas e colocadas em estufa de aeração forçada a 105 °C para determinação da umidade. Obtida a umidade dos grãos de cada amostra, o teor foi corrigido para 13% e estimou-se a produtividade de grãos.

3.4.6 Emissão de C-CO₂ em razão da produtividade das culturas

A partir dos valores de emissões acumuladas de CO₂ e a das produtividades das culturas da soja e milho, foi calculada a quantidade de C-CO₂ em razão da produtividade de grãos, para os SSD e SSC.

3.5 Análise dos resultados

Os dados obtidos foram submetidos a teste de homogeneidade de variância (Teste de Levene) e de normalidade (Shapiro-Wilk). Atendidos os pressupostos, foi realizada a análise de variância e as médias foram comparadas

pelo teste t a 5% de probabilidade. Foi utilizado o software SAS, versão 9.4. Cada experimento (SSD e SSC) foi analisado separadamente.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Embora os experimentos em SSD e SSC tenham sido instalados e conduzidos ao mesmo tempo, não foi realizada comparação estatística dos experimentos. Entretanto, os resultados serão discutidos em paralelo, sem comparações diretas.

4.1 Massa de matéria seca do sistema radicular

Não foram observadas diferenças entre as aplicações de corretivos na massa de matéria seca de raízes de soja na safra 2014/15 e 2015/16 ao longo do perfil do solo, tanto para o SSD quanto para o SSC, porém houve diferença quando realizou a aplicação dos corretivos em relação ao controle, verificando maior massa de matéria seca de raízes quando o solo foi corrigido (Tabela 3). A aplicação de corretivos de acidez proporciona melhorias diretas nas condições de desenvolvimento radicular, devido a neutralização do alumínio tóxico (Al^{3+}) e aumentando a disponibilidade de cálcio e magnésio ao longo do perfil do solo (CAIRES; BANZATTO; FONSECA, 2000).

Já para a cultura do milho, houve diferenças na massa de matéria seca de raízes entre os corretivos aplicados no SSD (Tabela 3), sendo que a aplicação de calcário resultou em maior produção de raízes de milho do que a aplicação de silicato e o tratamento controle (sem aplicação de corretivo), porém não foi observada diferença para os tratamentos com silicato e controle. Caires et al. (2001) verificaram que a aplicação de calcário na superfície contribui para melhorar a distribuição relativa de raízes em profundidade na cultura da cevada, principalmente quando se realizou a aplicação de gesso. A aplicação de calcário + gesso e silicato + gesso não resultou em diferença em relação ao tratamento controle, o que pode, talvez, ser consequência das condições climáticas observadas nesse período, caracterizadas por alta precipitação de março a julho de 2015, período de desenvolvimento da cultura do milho (Figura 1). A alta precipitação pode ter amenizado a alta concentração de Al^{3+} e baixos teores de

nutrientes onde não ocorreu a correção do solo no tratamento controle, favorecendo o desenvolvimento de raízes.

Tabela 3 - Produção de massa de matéria seca de raízes na cultura da soja nas safras 2014/15 e 2015/16, e de milho na entressafra de 2015, em função da aplicação de corretivos de acidez (calcário, silicato, calcário + gesso, silicato + gesso) e um tratamento controle sem aplicação, sob sistema semeadura direta e sistema semeadura convencional, em amostras coletadas na profundidade de 0-60 cm.

Tratamentos	Safras			Total
	Soja Safrã 2014/15	Milho Entressafra 2015	Soja Safrã 2015/16	
----- Massa de matéria seca de raízes (kg ha ⁻¹) -----				
--				
Sistema semeadura direta				
Calcário (Ca)	337 a [†]	946 a	356 a	1640 a
Silicato (Si)	309 a	859 b	390 a	1560 a
Ca + Gesso	332 a	899 ab	402 a	1634 a
Si + Gesso	311 a	879 ab	347 a	1563 a
Controle	263 b	850 b	248 b	1362 b
DMS [‡]	61	85	91	172
Sistema semeadura convencional				
Calcário (Ca)	425 a	855 a	356 a	1664 a
Silicato (Si)	447 a	838 a	331 a	1595 a
Ca + Gesso	440 a	877 a	360 a	1678 a
Si + Gesso	435 a	888 a	359 a	1683 a
Controle	335 b	743 b	263 b	1342 b
DMS	58	93	61	149

[†]Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t. [‡]Diferença mínima significativa.

Segundo Caires et al. (2002), na ausência de déficit hídrico, não há restrição de crescimento radicular e da produção de milho na concentração de 10 mmolc dm⁻³ de Al trocável em solo com elevado teor de matéria orgânica, e a calagem na superfície melhora o crescimento do sistema radicular no perfil do solo. Ainda, de acordo com Caires et al. (2008) os efeitos da toxicidade de alumínio no crescimento radicular do milho e soja, são amenizados quando cultivados sem

estresse hídrico e, provavelmente as culturas de soja e milho teriam sido afetadas pela acidez do solo se houvesse estresse hídrico. Mas de acordo com JORIS et al. (2013) em situações desfavoráveis de chuvas ou de umidade do solo, a fitotoxicidade de Al^{3+} ocasionada pela acidez do solo no SSD é intensificada e compromete, seriamente, o crescimento radicular de plantas com pouca tolerância ao Al. A ausência de diferença no solo corrigido para o solo ácido sem correção pode ter influência da complexação do Al pelos resíduos vegetais em SSD que contribuem para reduzir a toxicidade de alumínio através da complexação do Al por ácidos orgânicos (MIYAZAWA et al., 1993; FRANCHINI et al., 1999).

No SSC não houve diferença entre os corretivos, mas foi observada diferença entre os tratamentos com aplicação de corretivos e o tratamento controle (Tabela 3). Rosolem et al. (1994) verificaram que a calagem teve efeito positivo no crescimento radicular do milho em solo sem presença de Al^{3+} . De acordo com Caires et al. (2004) o crescimento radicular e a nutrição das plantas podem ser comprometidos se não houver a correção da acidez do solo adequada. Isso explica a menor massa de matéria seca de raiz encontrada no tratamento controle sem correção da acidez do solo, tanto em SSD quanto em SSC.

A produção total de massa de matéria seca de raízes no acumulado das safras foi maior onde houve a aplicação de corretivos do solo para os dois sistemas de semeadura (Tabela 3). Evidenciando a importância da correção para um maior aporte de carbono pelo sistema radicular das culturas e melhorias na estruturação do solo em semeadura direta.

4.2 Conteúdo de C no sistema radicular

O conteúdo de C no sistema radicular da soja foi maior quando houve a aplicação dos corretivos em comparação ao tratamento controle, tanto para o SSD quanto para o SSC, nas safras 2014/15 e 2015/16 (Tabela 4). Já para a cultura do milho, a aplicação dos corretivos resultou em maior conteúdo de C no sistema radicular, apenas quando cultivado em SSC (Tabela 4). A maior quantidade de carbono no sistema radicular das plantas cultivadas nos

tratamentos com aplicação de corretivos pode resultar em um maior sequestro de carbono em longo prazo.

Tabela 4 - Aporte de carbono pelo sistema radicular na cultura da soja nas safras 2014/15 e 2015/16, e de milho na entressafra de 2015, em função da aplicação de corretivos de acidez (calcário, silicato, calcário + gesso, silicato + gesso) e um tratamento controle sem aplicação, sob sistema semeadura direta e sistema semeadura convencional, em amostras coletadas na profundidade de 0-60 cm.

Tratamentos	Safras			Total Acumulado
	Soja Safra 2014/15	Milho Entressafra 2015	Soja Safra 2015/16	
----- Aporte de C no sistema radicular (kg ha ⁻¹) -----				
--				
Sistema semeadura direta				
Calcário (Ca)	133 a [†]	415 a	164 a	716 ab
Silicato (Si)	141 a	387 a	148 a	677 b
Ca + Gesso	143 a	468 a	168 a	743 a
Si + Gesso	135 a	404 a	141 a	685,9 ab
Controle	105 b	383 a	102 b	598 c
DMS [‡]	12	89	37	65,84
Sistema semeadura convencional				
Calcário (Ca)	175 a	379 a	157 a	724,70 a
Silicato (Si)	187 a	358 a	141 a	675,31 a
Ca + Gesso	177 a	392 a	157 a	728,39 a
Si + Gesso	166 a	368 a	154 a	689,22 a
Controle	133 b	290 b	108 b	532,09 b
DMS	24	68	27	83,4

[†]Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t. [‡]Diferença mínima significativa.

Quanto ao aporte de C pelo sistema radicular acumulado em todas as safras, no SSC foi constatado maior aporte de C total pelo sistema radicular das culturas quando houve aplicação de corretivos (Tabela 4). O mesmo foi observado no SSD, porém, o tratamento calcário + gesso apresentou maior aporte total de carbono pelo sistema radicular em relação ao tratamento silicato. Tanto o conteúdo de C radicular e exsudados orgânicos é proporcional à massa de raiz e, conseqüentemente, a entrada de C no solo aumenta mediante maior

produção de massa radicular total, assim o tratamento com calcário + gesso pode apresentar maior potencial para aportar carbono no sistema de semeadura direta.

Para Nguyen (2003), o aporte de C na rizosfera é um processo complexo, altamente dependente da planta e varia tanto espacialmente quanto temporariamente ao longo das raízes, e pela complexidade desse processo, torna-se difícil mensurar a contribuição dos exsudados radiculares no acúmulo de carbono orgânico do solo (COS). Mas estudos com isótopos de C podem contribuir no entendimento do balanço de C em função da participação dos resíduos vegetais depositados na superfície, da contribuição da massa de matéria seca do sistema radicular, e da deposição de exsudados radiculares (RASSE, 2005).

Assim, a maior distribuição das raízes no perfil do solo é uma estratégia para aumentar a entrada de C do solo e, portanto, aumentar os estoques de C no solo (McNALLY et al.; 2015). O uso de espécies com sistema radicular profundo tem sido sugerido como uma importante estratégia em aumentar o C do solo (DODD et al., 2011; POWLSON et al.; 2011). Ainda, o tempo médio de permanência de C nos solos derivados da raiz é 2,4 vezes maior do que o oriundo dos resíduos vegetais depositados na superfície do solo, isso demonstra a importância do sistema radicular no acúmulo de carbono do solo.

De acordo com Rasse et al. (2005), a maior recalcitrância química dos tecidos radiculares em relação aos tecidos da parte aérea de plantas é responsável por uma menor degradação das raízes. Além da recalcitrância química a interação com os componentes do solo resulta em menor capacidade de degradação das raízes por microrganismos, como a proteção físico-química, especialmente em horizontes mais profundos, e interações químicas com íons metálicos. Devido a esses aspectos, correção da acidez do solo é uma prática interessante para elevar o estoque de C no solo.

A maior produção de massa de matéria seca de raiz pode contribuir para o aumento do estoque de C do solo, comparado ao C dos resíduos vegetais depositados na superfície do solo pelas culturas. Gale e Cambardella (2000), em um experimento de longa duração em casa de vegetação utilizando C¹⁴, determinaram a contribuição do sistema radicular para acumulação de COS e, após 365 dias, 66% do C¹⁴ contido nos resíduos vegetais depositados na

superfície no início do estudo, foi perdido em forma de CO₂, 11% dos resíduos ainda permanecia na superfície do solo e 16% estava no solo. Entretanto, 42% do C¹⁴ derivado do sistema radicular ainda permaneceram no solo, comprovando a importância do sistema radicular no aporte de C no solo.

4.3 Massa de matéria seca da parte aérea e carbono e nitrogênio na palha

Para o milho + braquiária na entressafra 2014 não houve diferença entre os tratamentos para massa de matéria seca da parte aérea e C na palha no SSD (Tabela 5) e SCC (Tabela 6), com exceção ao C na palha no SSC, onde o tratamento com calcário + gesso resultou em aporte superior ao controle. De acordo com Caetano et al. (2013) o cultivo de soja em sucessão ao milho foi capaz de manter inalterado o estoque de carbono no solo ao longo do tempo, evidenciando que o uso do milho como planta de cobertura também é eficiente em evitar perdas de carbono orgânico no solo.

Para a cultura da soja na safra 2014/15 a aplicação de todos os corretivos (calcário, silicato, calcário + gesso e silicato + gesso) proporcionou maior massa de matéria seca da parte aérea, em média 30% para o SSD e 40% no SSC e maior aporte de C na palha, aproximadamente 40% para ambos os sistemas de semeadura (Tabela 5 e Tabela 6, respectivamente), em relação ao tratamento controle. É bem conhecido o efeito positivo do uso do gesso agrícola no aumento da produção de biomassa, na melhoria química do subsolo, na elevação dos teores de Ca e S no perfil do solo, promovendo a movimentação de outros nutrientes, como Mg e K e, conseqüentemente, beneficiando o desenvolvimento radicular das culturas (NORA et al. 2014). Além de todas essas características químicas influenciadas pela aplicação do gesso no solo, Souza et al. (2009) observaram aumento no estoque de carbono orgânico total (COT) em sistemas de integração com gramíneas e soja em SSD. A elevada entrada de biomassa e a ausência de revolvimento do solo são as principais razões para a maior quantidade de C acumulado no solo.

Tabela 5 - Produção de massa de matéria seca da parte aérea, aporte de carbono e nitrogênio na cultura do milho consorciado com braquiária nas entressafras de 2014 e 2015, e na cultura da soja nas safras 2014/15 e 2015/16, em função da aplicação de corretivos de acidez (calcário, silicato, calcário + gesso, silicato + gesso) e um tratamento controle sem aplicação, sob sistema semeadura direta.

Tratamentos	Safras			
	Milheto + braquiária Entressafra 2014	Soja Safra 2014/15	Milho + braquiária Entressafra 2015	Soja Safra 2015/16
----- Massa de matéria seca da parte aérea (Mg ha ⁻¹) -----				
Calcário (Ca)	5,8 a [†]	5,8 a	7,5 bc	4,0 b
Silicato (Si)	5,5 a	5,5 a	7,9 b	4,3 ab
Ca + Gesso	5,3 a	5,4 a	8,7 a	4,8 a
Si + Gesso	6,0 a	5,6 a	7,3 bc	4,9 a
Controle	5,2 a	4,3 b	6,7 c	3,3 c
DMS [‡]	1,4	0,6	0,8	0,7
----- Carbono na palha (Mg ha ⁻¹) -----				
Calcário (Ca)	2,4 a	2,6 a	3,1 c	1,8 b
Silicato (Si)	2,6 a	2,4 a	3,4 ab	1,9 ab
Ca + Gesso	2,6 a	2,4 a	3,6 a	2,2 a
Si + Gesso	2,2 a	2,5 a	3,2 bc	2,2 a
Controle	1,9 a	1,8 b	3,0 c	1,4 c
DMS	0,7	0,3	0,6	0,3
----- Nitrogênio na palha (Mg ha ⁻¹) -----				
Calcário (Ca)	91,4 a	51,35 a	124,7 a	27,8 ab
Silicato (Si)	96,9 a	60,9 a	133,5 a	31,6 ab
Ca + Gesso	102,1 a	63,3 a	144,3 a	37,8 a
Si + Gesso	81,6 a	51,2 a	127,7 a	31,9 ab
Controle	70,3 a	45,3 a	124,0 a	25,2 b
DMS	33,2	29,4	21,4	10,3

[†]Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t. [‡]Diferença mínima significativa.

Já para o milho + braquiária da entressafra de 2015 no SSD (Tabela 5) a aplicação de calcário + gesso e silicato resultaram em maior massa da matéria seca da parte aérea comparados ao controle, assim como o aporte de C na palha. Isso pode ser resultado de uma melhor nutrição com Ca e Mg das plantas, pela aplicação dos corretivos, assim como relatado por Castro et al. (2012).

Tabela 6 - Produção de massa de matéria seca da parte aérea, aporte de carbono e nitrogênio na cultura do milho consorciado com braquiária nas entressafras de 2014 e 2015, e na cultura da soja nas safras 2014/15 e 2015/16, em função da aplicação de corretivos de acidez (calcário, silicato, calcário + gesso, silicato + gesso) e um tratamento controle sem aplicação, sob sistema semeadura convencional.

Tratamentos	Safras			
	Milheto + braquiária Entressafra 2014	Soja Safra 2014/15	Milho + braquiária Entressafra 2015	Soja Safra 2015/16
----- Massa de matéria seca da parte aérea (Mg ha ⁻¹) -----				
Calcário (Ca)	5,9 a [†]	6,0 a	7,4 a	4,5 ab
Silicato (Si)	6,3 a	5,3 a	6,8 a	4,1 bc
Ca + Gesso	6,6 a	5,5 a	7,3 a	5,0 a
Si + Gesso	5,4 a	5,6 a	6,9 a	5,3 a
Controle	5,0 a	4,0 b	5,5 b	3,6 c
DMS	1,7	0,9	1,1	0,8
----- Carbono na palha (Mg ha ⁻¹) -----				
Calcário (Ca)	2,4 ab	2,6 a	3,0 a	2,1ab
Silicato (Si)	2,5 ab	2,2 a	2,6 a	1,9 bc
Ca + Gesso	2,9 a	2,4 a	2,9 a	2,3ab
Si + Gesso	2,2 ab	2,4 a	2,8 a	2,5a
Controle	1,9 b	1,7 b	2,1 b	1,6 c
DMS [‡]	0,9	0,4	0,3	0,3
----- Nitrogênio na palha (kg ha ⁻¹) -----				
Calcário (Ca)	90,0 a	40,9 a	102,5 ab	34,8 a
Silicato (Si)	90,0 a	44,5 a	98,5 ab	26,3 b
Ca + Gesso	91,7 a	37,4 a	121,2 a	35,5 a
Si + Gesso	74,0 a	47,5 a	105,2 ab	32,5 ab
Controle	75,0 a	21,0 b	77,0 b	27,8 ab
DMS	30	16	29,5	7,9

[†]Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t. [‡]Diferença mínima significativa.

Brambilla et al. (2009) relataram que o cultivo de milho de segunda safra consorciado com braquiária *ruziensis* na entrelinha proporciona maior produção de massa seca vegetal, favorecendo a cobertura do solo e garantindo, assim, a sustentabilidade do SSD para a safra seguinte. Borghi et al. (2013) constataram que a utilização do milho em consórcio com braquiária *brizantha* proporcionou alta produção de matéria seca, e segundo estes autores quando não há nenhum

problema com água e disponibilidade de nutrientes este consórcio fornece grandes quantidade de biomassa para o SSD.

De acordo com Bayer et al. (2000) e Campos (2006), a adição de resíduos vegetais na superfície do solo ao longo do tempo, proporciona incremento de C orgânico e N total no solo. No SSC a massa de matéria seca da parte aérea e aporte de C na palha dos tratamentos onde se realizou a correção da acidez do solo foram relativamente superiores ao controle (Tabela 6). A correção da acidez do solo favorece a produção de fitomassa das culturas, tanto de raízes como da parte aérea, proporcionando, conseqüentemente, maior adição de material orgânico no solo (CONDRON et al., 1993).

Rossi et al. (2011), estudando frações lábeis da matéria orgânica em sistema de cultivo com resíduos de braquiária e sorgo, observaram que a introdução de braquiária no cultivo da soja em SSD proporciona maior acúmulo de COS. O potencial para sequestrar carbono no solo pode ser intensificado quando combinado o sistema de cultivo e a cultura adequada (BAYER et al. 2006). A maior produção de matéria vegetal é importante para aumentar o sequestro de C da atmosfera, mas também contribui com a ciclagem de nutrientes no sistema, disponibilizando nutrientes para as culturas subsequentes. A introdução de gramíneas no sistema de manejo aumenta a eficiência no acúmulo de C, devido ao maior crescimento do sistema radicular e exploração de maior volume de solo (D'ANDRÉA et al. 2004).

Na safra de soja 2015/16 sob SSD e SSC (Tabela 5 e Tabela 6, respectivamente) foi observado comportamento similar à safra de soja do ano anterior, somente o tratamento com aplicação silicato em SSC não apresentou uma maior quantidade de massa de matéria seca e aporte de carbono em relação ao tratamento controle, o restante dos corretivos aplicados aumentaram tanto a massa de matéria seca da parte aérea quanto o aporte de C na palha em relação ao controle, com destaque para os tratamentos com calcário + gesso e silicato + gesso que proporcionaram os melhores resultados. O uso do gesso associado aos corretivos calcário e silicato resulta em maior desenvolvimento da parte aérea e radicular das culturas ocasionando maior acréscimo de resíduos vegetais no solo, contribuindo para maior sequestro de CO₂ da atmosfera, em SSD e SSC. De acordo com Lal (2004) a associação de sistemas de rotação de culturas com

grande aporte de resíduos em SSD favorece o acúmulo de grande quantidade de carbono orgânico, resultando em maiores taxas de acréscimo de matéria orgânica no solo.

Segundo Briedis et al. (2012b) a prática de correção de acidez do solo em SSD, em longo período, promove acréscimo nos teores de COT e em outros compartimentos da MOS, como polissacarídeos totais e lábeis e carbono extraído em água quente. Estes autores também observaram que o aumento proporcional de COT ocorre na fração lábil da MOS, a qual está amplamente relacionada aos resíduos culturais. Desse modo, a correção da acidez do solo, em longo período, promove maior retorno de C ao sistema via culturas, o que aumenta o COT no solo.

Os maiores estoques de C com o uso de calcário + gesso na entressafra do milho + braquiária em SSD (Tabela 5), são decorrentes do maior aporte de resíduos vegetais produzidos por estas espécies, provavelmente em razão das melhorias nas propriedades químicas do solo com a utilização dos corretivos. De maneira geral, em sistemas em que há associação de culturas com grande aporte de resíduos em SSD ocorre o acúmulo de grande quantidade de carbono orgânico, resultando em menores taxas de perdas e maiores taxas de adição de matéria orgânica no solo (LAL, 2004). Da mesma forma no SSC, observou-se maior acúmulo de C na superfície do solo quando foi realizada a correção da acidez do solo (Tabela 6). De acordo com Paustian et al. (2000) o uso de gramíneas forrageiras possui alta capacidade de aumentar o estoque e distribuir o C na subsuperfície do solo.

Em relação ao aporte de N na palha não houve efeito dos tratamentos no SSD (Tabela 5), com exceção à soja na safra 2015/16, onde o tratamento com calcário + gesso resultou em maior acúmulo de N na palha quando comparado ao tratamento controle, sendo decorrente das menores quantidades de resíduos acumulados sobre a superfície no tratamento controle (sem correção da acidez do solo).

Já no SSC (Tabela 6), no cultivo de milheto + braquiária na entressafra 2014 não apresentou diferença entre os tratamentos para aporte de N na palha, entretanto na soja cultivada na safra 2014/15 a aplicação de todos os tratamentos (calcário, silicato, calcário + gesso e silicato + gesso) resultou em maior aporte de

N na palha. Para a cultura do milho + braquiária em 2015 a aplicação de calcário + gesso favoreceu o acúmulo de N na palha sob a superfície do solo, em comparação ao tratamento controle (sem correção da acidez do solo). Contudo na safra seguinte com a cultura da soja em 2015/16 foi observado comportamento diferente, tendo o tratamento com silicato apresentado o menor aporte de N na superfície do solo em comparação ao tratamento calcário + gesso.

4.4 Carbono no solo

O estoque de C na camada de 0-0,60 m apresentou diferença significativa aos 28 meses após aplicação de silicato + gesso em relação ao tratamento controle, em SSD (Tabela 7). Já aos 40 meses após aplicação dos tratamentos não houve diferença significativa entre os tratamentos para a camada 0-0,60 m. Mas mesmo sem observar diferença significativa estatisticamente, fica evidente o maior conteúdo de carbono nos tratamentos com aplicação de gesso associado ao calcário e silicato (Tabela 7).

O maior aporte de C no solo foi observado com aplicação de gesso associado aos corretivos no SSD (Tabela 7), e pode ser explicado pela estabilização da MOS e dos agregados em função da elevação dos teores de Ca no solo, pois a disponibilidade de Ca^{2+} e Mg^{+} na solução do solo favorece a associação entre os minerais de argila e a fração húmica do solo. De acordo com Briedis et al. (2012c), há alta correlação entre o C orgânico do solo e o conteúdo de Ca^{2+} . A formação de ligações entre o Ca^{2+} , as argilas, e a MOS, por meio de pontes catiônicas, é importante para estabilização da MOS (BRONICK; LAL, 2005; PETERSON, 1947; SIX et al., 2004). Essa formação de complexos entre a argila e MOS constituem a proteção química dos compostos orgânicos, impedindo sua decomposição (PAUL; CLARK, 1989). A proteção química do carbono do solo e compostos orgânicos como polissacarídeos representa aproximadamente 50% do estoque de carbono no solo (BRIEDIS et al., 2012c). De acordo com Baldock et al. (2000), o processo de formação de pontes de Ca, é resultado do efeito à longo prazo da adição de Ca^{2+} sobre a estabilidade estrutural do solo.

Tabela 7 - Estoque de carbono no solo nas camadas de 0-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m de profundidade, e acumulado de 0-0,60 m, em 2014 e 2015, em função da aplicação de corretivos de acidez (calcário, silicato, calcário + gesso, silicato + gesso) e um tratamento controle sem aplicação, sob sistema semeadura direta.

Tratamentos	Profundidade				
	0-0,10 m	0,10-0,20 m	0,20-0,40 m	0,40-0,60 m	0-0,60 m
2014 (28 meses)					
----- Estoque de carbono (Mg ha ⁻¹) -----					
Calcário (Ca)	21,0 a	15,5 ab	23,8 a	22,5 b	82,8 ab
Silicato (Si)	19,2 ab	14,8 b	26,2 a	24,7 ab	84,8 b
Ca + Gesso	21,6 a	15,3 ab	25,0 a	25,1 ab	86,9 ab
Si + Gesso	20,9 a	16,7 a	25,6 a	27,7 a	90,9 a
Controle	16,9 b	15,6 ab	24,9 a	23,8 ab	81,2 b
DMS	2,5	1,6	2,60	3,9	6,8
----- Estoque de nitrogênio (Mg ha ⁻¹) -----					
Calcário (Ca)	2,60 a	1,01 a	0,81 a	0,74 a	5,12 a
Silicato (Si)	2,62 a	0,95 a	0,83 a	0,65 a	5,05 a
Ca + Gesso	2,70 a	0,87 a	0,81 a	0,79 a	5,17 a
Si + Gesso	2,86 a	1,04 a	0,63 a	0,81 a	5,15 a
Controle	2,47 a	0,71 a	0,80 a	0,58 a	4,75 a
DMS	0,66	1,55	0,31	0,21	0,91
2015 (40 meses)					
----- Estoque de carbono (Mg ha ⁻¹) -----					
Calcário (Ca)	21,0 a	16,8 a	24,0 b	24,1 a	85,9 a
Silicato (Si)	21,0 a	15,4 a	25,3 ab	25,9 a	87,5 a
Ca + Gesso	21,3 a	16,5 a	27,5 a	26,9 a	92,2 a
Si + Gesso	20,3 a	17,2 a	25,0 ab	28,1 a	90,5 a
Controle	17,7 b	15,95 a	26,6 ab	24,0 a	84,1 a
DMS	2,4	2,5	2,8	5,2	9,4
----- Estoque de nitrogênio (Mg ha ⁻¹) -----					
Calcário (Ca)	1,59 a	1,30 a	1,90 a	1,70 a	6,46 a
Silicato (Si)	1,70 a	1,06 b	1,82 a	1,52 a	6,10 a
Ca + Gesso	1,46 a	1,15 ab	2,08 a	1,78 a	6,47 a
Si + Gesso	1,44 a	1,12 ab	2,00 a	1,81 a	6,37 a
Controle	1,37 a	1,03 b	1,86 a	1,44 a	5,70 a
DMS	0,52	0,19	0,46	0,52	1,22

†Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t. ‡Diferença mínima significativa.

É importante ressaltar que a aplicação de silicato e calcário isoladamente também resultou em uma maior entrada de C parcialmente no solo em relação ao controle sem correção do solo, na camada 0,0-0,60 m, no SSD (Tabela 7). Caires et al. (2008) relataram o efeito positivo após 9 anos da aplicação superficial de calcário, e sua reaplicação após dois anos, respectivamente, em função do aumento do pH do solo e aumento dos teores de Ca^{2+} trocável, até a profundidade de 0,6 m. Concomitantemente, os incrementos no conteúdo de C pode ter acompanhado o aumento de Ca^{2+} , indicando um aumento no sequestro de carbono no solo com adição de calcário, em SSD.

Na camada 0-0,10 m, a aplicação dos corretivos resultou em diferença em relação ao tratamento controle para estoque de C no solo sob SSD, após 30 meses da aplicação dos tratamentos, exceto para o tratamento com aplicação de silicato. Já aos 42 meses após a aplicação dos tratamentos, em 2015, calcário, silicato, calcário + gesso, silicato + gesso, resultaram em um estoque de C superior ao controle (Tabela 7). Os resultados aqui apresentados estão de acordo com os resultados observados por Briedis et al. (2012a), que também observaram um aumento no teor de C até a profundidade 0,20 m do solo pelo uso do carbonato de cálcio em superfície. Segundo o autor o incremento de COT no solo em SSD é promovido pela constante adição de resíduos na superfície do solo aliado ao não revolvimento do solo. Castro et al. (2015), relataram aumento no COT na camada de 0 a 0,05 m do solo em função da aplicação dos corretivos da acidez do solo, silicato e calcário, com aproximadamente 60 meses após a realização da calagem.

Apesar das diferenças observadas no estoque de C em SSD nas amostras coletadas nas profundidades 0,10-0,20 e 0,40-0,60 m, após 30 meses da aplicação dos tratamentos, em 2014, não houve diferença aos 42 meses, em 2015 (Tabela 7). Já para a camada 0,20-0,40 m, não ocorreu diferenças após a realização da calagem aos 30 meses após a aplicação dos tratamentos, em 2014, mas sim aos 42 meses, em 2015, em SSD. Ainda, podem ser relacionadas as melhores condições das propriedades químicas do solo devido a realização da calagem, o que acarreta em maior adição de resíduos vegetais na superfície do solo (Tabela 5), e conseqüentemente pela imobilização do solo no SSD. A aplicação de corretivos da acidez do solo promoveu maior produção de massa de

matéria seca da parte aérea das culturas, conforme observado por Briedis et al. (2012b) e Castro et al. (2015).

Para o conteúdo de nitrogênio (N) no solo não houve diferença significativa aos 28 meses após a aplicação dos tratamentos para todas as profundidades avaliadas em SDD. Entretanto aos 40 meses após a aplicação de calcário, houve um maior estoque de N em relação ao tratamento controle (sem correção) e silicato na profundidade de 0-0,10 e 0,10-0,20 em SSD (Tabela 7).

No SSC não foi observada diferença entre os tratamentos, e não houve maior estoque de carbono com a utilização de silicato + gesso ou calcário + gesso (

Tabela 8) como observado no SSD. Foi observado, até a profundidade de 0–0,10 m aos 28 meses após a aplicação dos tratamentos, maior estoque de C no tratamento calcário + gesso comparado ao tratamento controle. Contudo, aos 40 meses após a aplicação dos tratamentos, não foi observado o mesmo resultado no estoque de carbono do solo, houve apenas diferença entre os tratamentos com aplicação de silicato em relação ao tratamento controle, sendo maior o estoque de C no tratamento com a aplicação de silicato.

Provavelmente, as mudanças de comportamento no estoque de C do solo e o maior conteúdo de carbono encontrado na camada 0–0,10 m no SSC (

Tabela 8), para os tratamentos silicato + gesso e calcário + gesso, pode ser explicado pelo revolvimento do solo, homogeneizando as camadas superficiais, principalmente pela operação de gradagem, que é sempre realizada antes da semeadura e contribui para ocorrência desse efeito. Maiores valores de COS na camada superficial do solo cultivado em SSC, também foi relatado por Bayer et al. (2000) e Souza e Melo (2003).

Ainda, a incorporação dos resíduos pela prática de preparo do solo torna-se uma fonte de energia facilmente disponível para os microrganismos do solo (BAYER et al. 2000), ocasionando perdas de matéria orgânica pela decomposição microbiana. De acordo com Reicosky e Lindstrom (1993) no período de 19 dias após o preparo do solo, a perda de C para a atmosfera por meio da emissão de CO₂ foi superior à quantidade de C adicionada na superfície do solo pela cultura anterior, indicando uma grande oxidação de material orgânico em SSC.

Tabela 8 - Estoque de carbono no solo nas camadas de 0-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m, e acumulado de 0-0,60 m, em 2014 e 2015, em função da aplicação de corretivos de acidez (calcário, silicato, calcário + gesso, silicato + gesso) e um tratamento controle sem aplicação, sob sistema semeadura convencional.

Tratamentos	Profundidade				
	0-0,10 m	0,10-0,20 m	0,20-0,40 m	0,40-0,60 m	0-0,60 m
2014 (28 meses)					
----- Estoque carbono (Mg ha ⁻¹) -----					
Calcário (Ca)	13,5 abc	11,6 ab	20,5 a	18,8 a	64,2 a
Silicato (Si)	14,6 ab	11,3 ab	18,9 a	18,4 a	63,1 a
Ca + Gesso	14,7 a	11,5 ab	19,5 a	18,7 a	64,3 a
Si + Gesso	13,2 c	12,0 a	20,3 a	18,7 a	64,1 a
Controle	13,3 bc	10,2 b	18,7 a	17,5 a	59,5 a
DMS	1,4	1,6	2,4	3,4	5,5
----- Estoque nitrogênio (Mg ha ⁻¹) -----					
Calcário (Ca)	1,38 a	1,24 a	2,00 a	1,21 a	5,86 a
Silicato (Si)	1,41 a	1,17 a	1,90 a	1,42 a	5,92 a
Ca + Gesso	1,33 a	0,83 a	1,80 a	1,50 a	5,46 a
Si + Gesso	1,32 a	1,08 a	1,98 a	1,65 a	6,05 a
Controle	1,28 a	1,25 a	1,97 a	1,25 a	5,75 a
DMS	0,23	0,57	0,31	0,57	5,68
2015 (40 meses)					
----- Estoque carbono (Mg ha ⁻¹) -----					
Calcário (Ca)	14,2 ab	11,5 a	18,5 a	18,7 a	63,2 a
Silicato (Si)	15,3 a	11,4 a	18,9 a	19,1 a	64,9 a
Ca + Gesso	14,2 ab	11,3 a	19,1 a	19,1 a	63,9 a
Si + Gesso	13,9 ab	10,5 ab	19,7 a	19,4 a	63,7 a
Controle	13,3 b	9,9 b	18,7 a	17,8 a	59,9 a
DMS	1,5	1,3	2,6	2,8	5,7
----- Estoque nitrogênio (Mg ha ⁻¹) -----					
Calcário (Ca)	1,38 a	1,23 a	2,01 a	1,67 a	5,86 a
Silicato (Si)	1,40 a	1,17 a	1,90 a	1,42 a	5,92 a
Ca + Gesso	1,33 a	1,10 a	1,80 a	1,49 a	5,46 a
Si + Gesso	1,32 a	1,08 a	1,98 a	1,65 a	6,04 a
Controle	1,20 a	1,25 a	1,97 a	1,62 a	5,75 a
DMS	0,23	0,33	0,31	0,38	0,85

†Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t. ‡Diferença mínima significativa.

No SSC o revolvimento do solo e o cultivo da soja no verão e de milho consorciado com braquiária na entressafra pode aumentar o conteúdo de C e de

substâncias húmicas no solo. O ácido fúlvico possui uma alta mobilidade no solo e constitui, aproximadamente, 40% de substâncias húmicas. Em SSC, ocorre a formação de uma camada compactada que interfere na movimentação de ácido fúlvico, resultando no acúmulo destes em camadas mais superficiais (SOUZA; MELO, 2003) e, segundo os mesmos autores, o sistema de rotação de milho e soja favoreceu a concentração de carbono em substâncias húmicas nas camadas superficiais do solo. Sendo assim, é possível que as diferenças observadas até a profundidade de 0,20 m tenham ocorrido em função da provável formação de uma camada compactada no SSC.

Para a profundidade de 0,10-0,20 m após 28 meses da aplicação dos tratamentos no SSC, a aplicação de silicato + gesso resultou em diferença significativa quando comparado ao tratamento controle, mas esse efeito não foi observado aos 40 meses após a aplicação, sendo que somente os tratamentos com calcário + gesso, calcário, e silicato, apresentaram diferença em relação ao controle (

Tabela 8). Possivelmente ocorreu maior oxidação da matéria orgânica, por ocorrer um maior contato solo-resíduo pela prática de preparo do solo contribuindo para a decomposição da MOS e, conseqüentemente, para emissão de CO₂ na atmosfera.

4.5 Emissão acumulada de CO₂

A integração das emissões ao longo de cada safra e ao longo dos 16 meses de avaliação estão apresentados na Tabela 9 para SSD e SSC. Em SSD, houve maior emissão de CO₂ na safra 2014/15, quando foi aplicado calcário + gesso e calcário + silício, comparados ao tratamento controle, mas nas safras seguintes e no total acumulado não houve diferença entre os tratamentos com aplicação de corretivo e o controle. Isto indica que a correção da acidez do solo não foi determinante para o aumento da emissão de CO₂ na atmosfera. Outros fatores atuam diretamente na emissão de CO₂, como a respiração do sistema radicular e da microbiota, decomposição dos resíduos vegetais, além da oxidação

da fração lábil da matéria orgânica do solo (BRONICK; LAL, 2005; REICOSKY et al., 2005).

Tabela 9 - Emissão acumulada de C-CO₂ do solo em diferentes safras, em função da aplicação de corretivos de acidez (calcário, silicato, calcário + gesso, silicato + gesso) e um tratamento controle sem aplicação, sob sistema semeadura direta e sistema semeadura convencional.

Tratamentos	Safras			Total
	Soja	Milho + braquiária	Soja	
	Safra 2014/15	Entressafra 2015	Safra 2015/16	
----- ∑ Emissão C-CO ₂ (Mg ha ⁻¹) -----				
Sistema semeadura direta				
Calcário (Ca)	9,02 ab	5,85 b	7,83 a	22,71 a
Silicato (Si)	8,23 b	6,75 ab	5,97 b	20,96 a
Ca + gesso	9,65 a	6,80 a	6,72 ab	23,18 a
Si + gesso	9,71 a	6,53 ab	6,95 ab	23,20 a
Controle	8,39 b [†]	6,20 ab	7,02 ab	21,63 a
DMS [‡]	0,95	0,92	1,54	2,64
Sistema semeadura convencional				
Calcário (Ca)	8,28 a	5,38 a	7,41 ab	21,08 ab
Silicato (Si)	8,06 a	5,22 a	7,30 ab	20,58 ab
Ca + gesso	8,10 a	5,40 a	8,47 a	21,97 a
Si + gesso	8,01 a	5,31 a	7,07 ab	20,41 ab
Controle	7,78 a	5,15 a	6,41 b	19,35 b
DMS	0,93	0,77	1,68	2,49

[†]Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t. [‡]Diferença mínima significativa.

Em relação ao SSC (Tabela 9) foi observada diferença na emissão acumulada de CO₂ entre o tratamento controle quando comparado à aplicação de calcário + gesso, sendo observada maior emissão de CO₂ para o último tratamento. A maior emissão de CO₂ quando houve aplicação de calcário + gesso pode ter sido causada pela maior quantidade de carbono observada nos primeiros 0,20 m do perfil do solo (

Tabela 8) e, possivelmente, relacionado à maior massa de matéria seca de raízes (Tabela 3) provocando maior respiração do sistema radicular causando maiores emissões de CO₂. Além de que o cultivo ao longo de todo o ano ocasiona uma constante adição de resíduos vegetais na superfície do solo, que potencializa

a atividade microbiológica (FABRIZZI et al., 2008; TAVARES et al., 2015), elevando as emissões de CO₂ do solo (BAGGS et al., 2003; LIU et al., 2006, 2007; YAMULKI; JARVIS, 2002).

As razões para estas emissões mais elevadas após a aplicação de calcário + gesso em SSC podem estar relacionadas às operações de preparo, que causam a ruptura dos agregados do solo e expõem a matéria orgânica ao ataque microbiano, além de que as operações de preparo promovem a mineralização da matéria orgânica do solo por meio da incorporação dos resíduos das culturas no solo e aumento da aeração.

Neste estudo a emissão de CO₂ foi diferente de acordo com as safras de verão e a entressafra, este fato pode ser explicado pela variação temporal da umidade e temperatura durante cada safra. De acordo com Siqueira Neto et al. (2011) a emissão de CO₂ em áreas sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado (pastagem, SSC, SSD e mata nativa) varia devido à sazonalidade climática, com maior emissão no verão em relação ao inverno. Segundo os autores, a umidade do solo é um fator determinante no fluxo dos gases.

4.6 Produtividade das culturas

Os resultados de produtividade das culturas, tanto em SSC quanto em SSD, estão apresentados na Tabela 10. A produtividade dos grãos de milho safrinha em SSD foi influenciada pelos tratamentos, onde todos os corretivos proporcionaram incremento, em média, de 67% quando comparados ao controle, porém não houve diferença significativa entre os corretivos.

Caires et al. (2011) observou aumento de 11% no rendimento de grãos de milho verão após aplicação de gesso em superfície. A porcentagem maior observada no presente trabalho pode estar relacionada com a época de semeadura, pois na estação de cultivo de milho safrinha as condições de chuvas são desfavoráveis e a toxicidade de alumínio compromete severamente a produtividade.

No SSC a aplicação de calcário, silicato e calcário + gesso aumentaram a produtividade de grãos do milho em 26%, 42% e 38%, respectivamente, quando

comparados ao controle (sem correção de acidez do solo) (Tabela 10). De acordo com Raij et al. (1998) a aplicação de calcário e gesso incorporados com grade ate 0,25 m aproximadamente, promove um efeito positivo na redução dos teores de Al^{3+} e aumento de sulfato em subsuperfície e, conseqüentemente, melhores condições para o desenvolvimento radicular e maior produtividade da cultura do milho. Contudo o tratamento silicato + gesso apresentou incremento apenas de 7% na produção de grãos de milho em relação ao controle (sem correção do solo), não ocorrendo diferença ao nível de 5% de probabilidade (Tabela 10). Este efeito pode ser explicado pela maior solubilidade do silicato associado ao gesso, que pode ter acarretado em maior lixiviação de magnésio.

Tabela 10 - Produtividade de grãos de soja nas safras 2014/15 e 2015/16, e de milho na entressafra de 2015, em função da aplicação de corretivos de acidez (calcário, silicato, calcário + gesso, silicato + gesso) e um tratamento controle sem aplicação, sob sistema semeadura direta e sistema semeadura convencional.

Tratamentos	Safras		
	Soja Safr 2014/15	Milho Entressafra 2015	Soja Safr 2015/16
----- Produtividade de grãos (kg ha ⁻¹) -----			
Sistema semeadura direta			
Calcário (Ca)	3260 a [†]	8315 a	4223 b
Silicato (Si)	3325 a	8610 a	4863 a
Ca + Gesso	3400 a	8535 a	4768 a
Si + Gesso	3414 a	8835 a	4578 ab
Controle	3042 a	5130 b	3399 c
DMS [‡]	594,9	819	374,5
Sistema semeadura convencional			
Calcário (Ca)	3450 a	10275 a	4750 ab
Silicato (Si)	3625 a	11520 a	4300 b
Ca + Gesso	3375 a	11210 a	5015 a
Si + Gesso	3520 a	8688,0 b	4965 a
Controle	3010 a	8130,0 b	3630 c
DMS	620	1260,0	455

[†]Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t. [‡]Diferença mínima significativa.

Para a cultura da soja na safra 2014/15 (Tabela 10), tanto em SSD quanto em SSC, os tratamentos com corretivos não proporcionaram incremento na produtividade de grãos em relação ao tratamento controle, o que pode ter ocorrido devido a um intenso ataque de lagarta falsa-medideira (*Chrysodeixis includens*) à cultura, mesmo realizando várias aplicações de inseticidas, detalhado no item 3.3.1, fato este que pode ter limitado os possíveis efeitos positivos da aplicação dos corretivos.

Já na safra 2015/16 houve diferença entre os tratamentos na produtividade de grãos da cultura da soja nos dois sistemas de cultivo (Tabela 10). Em SSD os tratamentos com silicato e calcário + gesso obtiveram as maiores produtividades, seguido do silicato + gesso e da aplicação de calcário, com incremento de 43%, 40%, 35% e 24%, respectivamente, em relação ao tratamento controle.

Em relação à aplicação de gesso ainda não são claras as respostas da cultura da soja. Caires et al. (2011) não observaram aumento no rendimento de grãos da cultura da soja após a aplicação de gesso em superfície. Porém, no presente trabalho a aplicação de calcário + gesso incrementou a produtividade de grãos na ordem de 13% em comparação ao calcário aplicado isoladamente. Este efeito pode estar associado ao aumento de enxofre no solo, proporcionando maior absorção pelas plantas, já que o elemento atua como constituinte de aminoácidos essenciais e de várias coenzimas (MARSCHNER, 2012). Zandoná et al. (2015) observaram aumento na produção de milho e soja após a aplicação de gesso, com resposta até a dose de 2000 kg ha⁻¹, mesma dose utilizada no presente trabalho, com incremento na produtividade de, aproximadamente, 9,5% para o milho e 11,5% para a soja. Tais resultados sugerem que a aplicação de calcário associado ao gesso em superfície proporciona aumento na produtividade das culturas, evidenciando ser uma prática viável em SSD.

Apesar da aplicação de calcário proporcionar menor incremento na produtividade de grãos de soja comparada à aplicação de calcário + gesso, a aplicação de calcário isoladamente aumenta a produção da soja em 24% quando comparado ao tratamento controle (sem correção da acidez do solo). O efeito positivo na produtividade de grãos da soja pela calagem superficial em SSD já foram relatados na literatura. De acordo com Fageria (2001), em Latossolo Vermelho-Escuro distrófico (Oxissolo), no município de Santo Antônio de Goiás,

Go, a aplicação de calcário promoveu aumento de 31% para a produção de soja. Caires, Banzatto e Fonseca (2000), também observaram aumento na produção acumulada de grãos de culturas após a aplicação de calcário na superfície.

Em SSC a aplicação de calcário + gesso e silicato + gesso proporcionaram as maiores produtividades de grãos de soja, seguido do calcário e do silicato, na ordem de 38%, 37%, 31% e 18%, respectivamente, em relação ao controle (Tabela 10). Estes resultados podem ser explicados, pela redução do Al_3+ trocável, além do aumento dos teores de cálcio, magnésio e enxofre em subsuperfície, levando à melhoria das condições de crescimento das plantas e, assim, elevando a produtividade (SERAFIM et al., 2012; RAMPIM et al., 2011). A resposta da soja à calagem é bastante conhecida na literatura quando se trata de cultivo convencional, havendo relatos de aumentos consideráveis da produtividade de grãos decorrentes da calagem (QUAGGIO et al., 1982, 1993).

4.7 Emissão de C-CO₂ em razão da produtividade das culturas

A emissão de C-CO₂ em razão da produtividade de grãos, tanto em SSD quanto em SSC, está apresentada na Tabela 11. O maior valor em SSD foi observado para o tratamento controle (sem correção da acidez), na ordem de 1,89 kg⁻¹ de emissão de C para produção de 1 kg de grãos, sendo significativamente superior aos tratamentos calcário + gesso, silicato + gesso, calcário e silicato.

Nota-se que, após a aplicação dos corretivos do solo, a emissão de CO₂ em escala de rendimento foi menor em comparação tratamento controle, indicando que a emissão de C-CO₂ em escala de rendimento é menor quando é realizada a correção da acidez do solo. No SSC (Tabela 11), os tratamentos com calcário + gesso, calcário e silicato também apresentaram menor emissão de C por kg⁻¹ de grãos produzidos, em relação ao tratamento controle. Entretanto para o tratamento com silicato + gesso não foi observada diferença significativa em relação ao tratamento controle. Linqvist et al. (2012), testando a hipótese de que a emissão de CO₂ em razão da produtividade é similar entre as culturas, encontrou para as culturas de arroz, trigo e milho valores semelhantes aos

obtidos neste estudo, na faixa de 0,66 a 1,85 kg de C-CO₂ para a produção de 1 kg de grãos, porém descartou a hipótese da semelhança entre as culturas e concluiu que o arroz emitiu 3,75 vezes mais CO₂ para produzir a mesma quantidade de grãos comparado ao trigo e milho. No presente trabalho, a aplicação de corretivos do solo foi eficiente para ambos os sistemas semeadura, para diminuir as emissões de C-CO₂ em escala de rendimento.

Tabela 11 - Emissão de C-CO₂ equivalente para produção de 1 kg de grão de soja e milho em função da aplicação de calcário, silicato, calcário + gesso, silicato + gesso e controle sem aplicação, sob sistema semeadura direta e sistema semeadura convencional.

Tratamentos	Sistema de produção	
	Sistema semeadura direta	Sistema semeadura convencional
	----- Relação C emitido / C incorporado nos grãos -----	
Calcário (Ca)	1,44 b [†]	1,15 bc
Silicato (Si)	1,25 b	1,06 c
Ca + Gesso	1,39 b	1,04 c
Si + Gesso	1,38 b	1,28 ab
Controle	1,89 a	1,31 a
DMS [‡]	0,23	0,15

[†]Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t. [‡]Diferença mínima significativa.

De acordo com Godfray et al. (2011) a intensificação da agricultura e a busca de produtividades mais elevadas, aliadas à sustentabilidade da produção agrícola com minimização dos danos ao meio ambiente, são necessários para atingir as metas de proteger os recursos naturais, assegurando a segurança alimentar mundial.

5 CONCLUSÕES

A aplicação de corretivos de acidez promove maior produção de matéria seca de raízes das culturas, aporte de C no sistema radicular, acúmulo de matéria seca da parte aérea dos cultivos e aporte de C na palha, tanto em SSD quanto em SSC. Contudo, o estoque de C no solo é pouco afetado pela aplicação de corretivos de acidez em SSD, e definitivamente não é afetado em SSC.

A realização da correção da acidez do solo não resulta em aumento da emissão de CO₂ para a atmosfera em SSD. Já em SSC, há maior emissão de CO₂ em longo prazo após aplicação de calcário + gesso, justamente devido ao maior aporte de C proporcionado pela maior produção de matéria seca das culturas, que é largamente oxidado após as operações de preparo do solo.

A aplicação de corretivos de acidez resulta em maior produtividade de grãos e, conseqüentemente, resulta em menor emissão de CO₂ por quantidade de grãos produzidos.

REFERÊNCIAS

- ADAMS, F.; RAWAJFIH, Z. Basaluminiteandalunite: A possible cause of sulfate retention by acid soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.41, p.686-692, 1977.
- 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. (Eds). **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. p.97-117.
- AMADO, T.J.C.; BAYER, C.; ELTZ, F.L.F.; BRUM, A.C.R. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.189-197, 2001.
- AMARAL, A.S.; DEFELIPO, B.V.; COSTA, L.M.; FONTES, M.P.F. Liberação de Zn, Fe, Mn e Cd de quatro corretivos da acidez e absorção por alface em dois solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.29, n.9, p.1351-1358, 1994.
- BAGGS, E.M.; STEVENSON, M.; PIHLATIE, M.; REGAR, A.; COOK, H.; CADISCH, G. Nitrous oxide emissions following application of residues and fertiliser under zero and conventional tillage. **Plant and Soil**, 254, p. 361–370, 2003.
- BALDOCK, J.A.; SKJEMSTAD, J.O. Role of the soil matrix and minerals in protecting natural organic materials against biological attack. **Organic geochemistry**, v.31, n.7, p.697-710, 2000.
- BARBOSA, D.S.; CAMARGO, M.S.; RAMOS, L.A.; RESENDE, R.H.; ARRUDA, D.; KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S. Comparação entre silicato e calcário na correção do solo e no fornecimento de silício em profundidade. In: **29º Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, Ribeirão Preto. Anais... Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. CD-ROM.
- BAYER, C.; MARTIN NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.7, p.677-683, jul. 2004.
- BAYER, C.; MARTIN NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A.; DIECKOW, J. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 86, p. 237-245, 2006.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; AMADO, T.J.C.; MARTINNETO, L.; FERNANDES, S.V. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, v.54, p.101-109, 2000.

BORGHI, E.; CRUSCIOL, C.A.C.; NASCENTE, A.S.; MATEUS, G.P.; MARTINS, P.O.; COSTA, C. Effects of row spacing and intercrop on maize grain yield and forage production of palisade grass. **Crop and Pasture Science**, Victoria, v.63, n.12, p.1106-1113, 2013.

BRAMBILLA, J.A.; LANGE, A.; BUCHELT, A.C.; MASSAROTO, J.A. Produtividade de milho safrinha no sistema de integração lavoura-pecuária, na região de Sorriso, Mato Grosso. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.8, n.3, p.263-274, 2009.

BRIEDIS, C.; SÁ, J.C.M.; CAIRES, E.F.; NAVARRO, J.F.; INAGAKI, T.M.; BOER, A.; SANTOS, J.B. Changes in organic matter pools and increases in carbon sequestration in response to surface liming in an Oxisol under long-term no-till. **Soil Science Society of America Journal**, v.76, n.1, p.151-160, 2012b .

BRIEDIS, C.; SÁ, J.C.M.; CAIRES, E.F.; NAVARRO, J.F.; INAGAKI, T.M.; BOER, A.; SANTOS, J.B. Soil organic matter pools and carbon-protection mechanisms in aggregate classes influenced by surface liming in a no-till system. **Geoderma**, v.170, p.80-88, 2012c.

BRIEDIS, C.; SÁ, J.C.M.; CAIRES, E.F.; NAVARRO, J.F.; INAGAKI, T.M.; FERREIRA, A.O. Carbono do solo e atributos de fertilidade em resposta à calagem superficial em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.47, n.7, p.1009-1016, 2012a.

BRONICK, C.J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, Amsterdam, v.124, p.3-22, 2005.

BRUCE, J. P.; FROME.; HAITES, E.; JANZEN, H.; LAL, R. Carbon sequestration in soils. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 54, p. 382-389, 1999.

CAETANO, J.O.; BENITES, V.M.; SILVA, G.P.; SILVA, I.R.; ASSIS, R.L.; CARGNELUTTI FILHO, A. Dinâmica da matéria orgânica de um Neossolo Quartzarênico de cerrado convertido para cultivo em sucessão de soja e milheto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p.1245-55, 2013.

CAIRES, E.F.; BANZATTO, D.A; FONSECA A.F. Calagem na Superfície em Sistema de Plantio Direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.24, p.161-169, 2000.

- CAIRES, E. F.; BLUM, J.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; KUSMAN, M. T. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.2, p.275-286, abr. 2003.
- CAIRES, E.F.; CHUERI, W.A.; MADRUGA, E.F.; FIGUEIREDO, A. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, p.27-34, 1998.
- CAIRES, E. F.; CHURKA, S.; GARBUIO, F. J.; FERRARI, R. A.; MORGANO, M. A. Soybean yield and quality as a function of lime and gypsum applications. **Scientia Agricola**, v.63, n.4, p.370-379, 2006.
- CAIRES, E.F.; BARTH, G.; GARBUIO, F.J.; KUSMAN, M.T. Correção da acidez do solo, crescimento radicular e nutrição do milho de acordo com a calagem na superfície em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v.26, n.4, p.1011-1022, 2002.
- CAIRES, E.F.; FONSECA, A.F.; FELDHAUS, I.C.; BLUM, J. Crescimento radicular e nutrição da soja cultivada no sistema plantio direto em resposta ao calcário e gesso na superfície. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v.25, p.1029-1040, 2001.
- CAIRES, 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 plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, n.1, p.315–327, 1999.
- CAIRES, E.F.; GARBUIO, F.J.; CHURKA, S.; BARTH, G.; CORRÊA, J.C.L. Effects of soil acidity amelioration by surface liming on no-till corn, soybean, and wheat root growth and yield. **European Journal of Agronomy**, v.28, p.57-64, 2008.
- CAIRES, E.F.; JORIS, H.A.W.; CHURKA, S. Long-term effects of lime and gypsum additions on no-till corn and soybean yield and soil chemical properties in southern Brazil. **Soil use and management**, v.27, n.1, p.45-53, 2011
- CAIRES, E. F.; KUSMAN, M. T.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; PADILHA, J. M. Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 1, p. 125–136, 2004.
- CAMPOS, B.H.C.D.; AMADO, T.J.C.; BAYER, C.; NICOLOSO, R.D.S.; FIORIN, J.E. Carbon stock and its compartments in a subtropical oxisol under long-term tillage and crop rotation systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n.3, p.805-817, 2011.

CAMPOS, B.C. Dinâmica do carbono em Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo de solo e de culturas. 2006. 188 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

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, 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. p.135. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2009.

CASTRO, G.S.A.; CRUSCIOL, C.A.C.; CALONEGO, J.C.; ROSOLEM, C.A. Management impacts on soil organic matter of tropical soils. **Vadose Zone Journal**, v.14, n.1, 2015.

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, 2013a.

CASTRO, G.S.A.; CRUSCIOL, C.A.C.; MENEGALE, M.L.C. Calagem e silicatagem superficiais e a disponibilidade de cátions hidrossolúveis em culturas anuais e braquiária. **Revista Ciência Agrônômica**, p.740-748, 2012.

CASTRO, G.S.A.; CRUSCIOL, C.A.C. Yield and mineral nutrition of soybean, maize, and Congo signal grass as affected by limestone and slag. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.48, p.673-681, 2013b.

CERRI, C.C. et al. Greenhouse gas mitigation options in Brazil for land-use change, livestock and agriculture. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.67, n.1, p.102-116. 2010.

CERRI, C.E.P.; SPAROVEK, G.; BERNOUX, M.; EASTERLING, W.E.; MELILLO, J.M.; CERRI, C.C. Tropical agriculture and global warming: Impacts and mitigation options. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.64, p.83-99, 2007.

CHAVES, J.C. et al. Especificação química da solução do solo para interpretação da absorção de cálcio e alumínio por raízes de cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.26, p.447-453, 1991.

CHAVEZ, L. F.; AMADO, T. J. D.; BAYER, C.; LA SCALA JÚNIOR., ESCOBAR, L. F.; FIORIN, J.; CAMPOS, B. H. C. Carbon dioxide efflux in a Rhodic Hapludox as affected by tillage systems in Southern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 325-334, 2009.

CONCEIÇÃO, P. C.; DIECKOW, J.; BAYER, C. Combined role of no-tillage and cropping systems in soil carbon stocks and stabilization, **Soil & Tillage Research**. v. 129, p. 40-47, 2013.

- CONDON, L. M. et al. Effects of liming on organic matter decomposition and phosphorus extractability in an acid humic Ranker soil from northwest Spain. **Biology and Fertility of Soils**, Amsterdam, v.15, n.4, p.279-284, 1993.
- CORAZZA, E.J.; SILVA, J.E.; RESCK, D.V.S.; GOMES, A.C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 23: 425-432, 1999.
- CORRÊA, J. C.; BÜLL, L. T.; CRUSCIOL, C. A. C.; MARCELINO, R. Correção da acidez e mobilidade de íons em Latossolo com aplicação superficial de escória, lama cal, lodos de esgoto e calcário. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.9, p.1307-1317, 2007.
- COSTA, A.; ROSOLEM, C.A. Liming in the transition to no-till under a wheat-soybean rotation. **Soil and Tillage Research**, v.97, n.2, p.207–217, 2007.
- COSTA, C. H. M. **Efeito residual da aplicação superficial de calcário e gesso nas culturas de soja, aveia-preta e sorgo granífero**. 2011. Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, 2011.
- CRUVINEL, E.B.; BUSTAMANTE, M.M.C.; KOZOVITS, A.R.; ZEPP, R.G. Soil emissions of NO, N₂O and CO₂ from croplands in the savanna region of central Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.144, p.29-40, Nov. 2011.
- D'ANDRÉA, A.F.; SILVA, M.L.N.; CURTI, N.; GUILHERME, L.R.G. .Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.2, p.179-186, 2004.
- DODD, M.B.; CRUSH, J.R.; MACKAY, A.D.; BARKER, D.J. The “root” to more soil carbon under pastures. **Proc N Z Grassl Assoc.**, v.73, p.43-50, 2011.
- DUMALE Jr., W.A.; MIYAZAKI, T.; HIRAI, K.; NISHIMURA, T. SOC Turnover and Lime-CO₂ Evolution during Liming of an Acid Andisol and Ultisol. **Open Journal of Soil Science**, v.1,n.2, p. 49-53, 2011.
- EKENLER, M.; TABATABAI, M.A. Tillage and residue management effects on beta-glucosaminidase activity in soils. **Soil Biol. Biochem.**, v.35, p.871-874, 2003.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Sistema brasileiro de classificação de solos**: 4.ed. Brasília: Embrapa Produção da Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412p.
- EMBRAPA/CNPMA. **Primeiro inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa: emissões de óxido nitroso proveniente de solos agrícolas**. Ministério da Ciência e Tecnologia, Brasília, 2006.

FABRIZZI, K.; RICE, C.; FIORIN, J.E.; BARBAGELATA, P.; MELCHIORI, R. Soil organic matter and microbial ecology of Mollisols, Vertisols and Oxisols: Effect of native and agroecosystems. **Biogeochemistry**, 2008.

FAGERIA, N.K. Efeito da calagem na produção de arroz, feijão, milho e soja em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, n.11, p.1419-1424, 2001.

FEHR, W.R. et al. Stage of development descriptions for soybeans, *Glycine max* (L.) Merrill. **Crop Science**, Madison, v.11, n.6, p.929-931, 1971.

FERREIRA, A.O.; MORAES SÁ, J.C.; HARMS, M.G.; MIARA, S.; BRIEDIS, C.; NETTO, C.Q.; SANTOS, J.B.; CANALLI, L.B. Carbon balance and crop residue management in dynamic equilibrium under a no-till system in Campos Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.1583-1590, 2012.

FOLLETT, R. F. Soil Management concepts and carbon sequestration in cropland soils. **Soil and Tillage Research**, v.61, n.1, p.77-92, 2001.

FORTIN, M. C.; ROCHETTE, P.; PATTEY, E. Soil carbon dioxide fluxes from conventional and no-tillage small-grain cropping systems. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.60, n. 5, p. 1541-1547, 1996.

FRANCHINI, J.C.; MALAVOLTA, E.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. Alterações químicas em solos ácidos após a aplicação de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.533-542, 1999.

FRAZÃO, L.A.; SANTANA, I.K.S.; CAMPOS, D.V.B.; FEIGL, B.J.; CERRI, C.C. Estoques de carbono e nitrogênio e fração leve da matéria orgânica em Neossolo Quartzarênicosob uso agrícola. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, p.1198-1204, 2010.

GALE, W.J.; CAMBARDELLA, C.A. Carbon dynamics of surface residue—and root-derived organic matter under simulated no-till. **Soil Science Society of America Journal**, v.64, n.1, p.190-195, 2000.

GARCIA, R.A.; ROSOLEM, C.A.; LI, Y. Soil organic matter and physical attributes affected by crop rotation under no-till. **Soil Science Society of America**, v.77, p.1724-1731, set. 2013.

GODFRAY, H.C.J.; PRETTY, J.; THOMAS, S.M.; WARHAM, E.J.; BEDDINGTON, J.R. Linking policy on climate and food. **Science**, v.331, n.6020, p.1013-1014, 2011.

GONÇALVES, C.N.; CERETTA, C.A. Plantas de cobertura de solo antecedendo o milho e seu efeito sobre o carbono orgânico do solo, sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.307-313, 1999.

HATI, K.M.; SWARUP, A.; MISHRA, B.; MANNA, M.C.; WANJARI, R.H.; MANDAL, K.G.; MISRA, A.K. Impact of long-term application of fertilizer, manure and lime under intensive cropping on physical properties and organic carbon content of an Alfisol. **Geoderma**, Amsterdam, v.148, p.173-179, 2008.

HAYNES, R.J. Lime and phosphate in the soil-plant system. **Adv. Agron.**, v.37, p.249-315, 1984.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. **Climate change 2013: the physical science basis**. In STOCKER, T.F.; QIN, G.-K. PLATTNER; M. TIGNOR; S.K. ALLEN; J. BOSCHUNG; A. NAUELS; Y. . . XIA; V. BEX MIDGLEY, P.M. (Ed). Contribution of working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2013.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. **Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. EDENHOFER, O.R. ;PICHES-MADRUGA, Y.; SOKONA, E. ;FARAHANI, S.; KADNER, K. ;SEYBOTH, A.;ADLER, A. ;BAUM, S. ;BRUNNER, P.; EICKEMEIER, B.; KRIEMANN, J. ;SAVOLAINEN, S. ;SCHLOMER, C.; VON STECHOW, T. ;ZWICKEL, A.; MINX, J.C. (Ed.). Cambridge, United: Cambridge University Press, Kingdom; New York, NY, USA, 2014. 1435p.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. **The physical Science basis: Contribution on working group I to the fourth assessment report of the intergovernment Panel on Climate Change**. In: SALOMÃO, S.; QIN, D.; MANNING, M.; CHEN, Z.; MARQUIS M.; AVERYT, K.B.; TIGNOR, M.; MILLER, H.L. (Eds.). Cambridge, UK: Cambridge University Press, p.996, 2007.

KORNDÖRFER, C.M.; KORNDÖRFER, G.H.; LANA, R.M.Q.; CORRÊA, G.F. & JUNQUEIRA NETO, AA. Correção da acidez do solo com silicato de cálcio e o papel do silício na recuperação de pastagem degradada de *Brachiaria decumbens*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 28., Londrina, 2001. **Anais**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.144-144, 2001.

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

LA SCALA JR, N.; LOPES, A.; MARQUES JR, J.; PEREIRA, G.T. Carbon dioxide emissions after application of tillage systems for a dark red latosol in southern Brasil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 62, n. 3-4, p. 163-166, 2001.

LA SCALA JR., N.; LOPES, A.; SPOKAS, K.; ARCHER, D.W.; REICOSKY, D. First-order decay models to describe soil C-CO₂ loss after rotary tillage. **Scientia Agrícola**, v.66, p.650-657. 2009.

LAL, R. Agricultural activities and the global carbon cycle. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.70, n.2, p.103-116, 2004.

LEITE, L. F. C.; GALVÃO, S. R. S.; HOLANDA NETO, M. R.; ARAÚJO, F. S.; IWATA, B. F. Atributos químicos e estoques de carbono em Latossolo sob plantio direto no Cerrado do Piauí. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.1273-1280, 2010.

LINQUIST, B.; GROENIGEN, K.J.; BORBE, M.A.A.; PITTELKOW, C.; KESSEL, C. Na agronomic assessment of greenhouse gas emissions from major cereal crops. **Global Change Biology**, Oxford, v.18, p.194-209, 2012.

LISBOA, C.C.; CERRI, C.C.; CERRI, C.E.P.; CONANT, R. T.; FEIGL, B.E. Emissão de CO₂ de solos submetidos a um aumento de temperatura. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 16., 2006, Aracaju. **Anais...**, 2006.1 CD-ROM.

LIU, X.J.; MOSIER, A.R.; HALVORSON, A.D.; REULE, C.A.; ZHANG, F.S. Dinitrogen and N₂O emissions in arable soils: Effect of tillage, N source and soil moisture. **Soil Biology & Biochemistry**, v.39, p.2362-2370, 2007.

LIU, X.J.; MOSIER, A.R.; HALVORSON, A.D.; ZHANG, F.S. The impact of nitrogen placement and tillage on NO, N₂O, CH₄ and CO₂ fluxes from a clay loam soil. **Plant and Soil**, 280, p.177-188, 2006.

MAIA, S.M.F.; OGLE, S.M.; CERRI, C.C. CERRI, C.E.P. Changes in soil organic carbon storage under different agricultural management systems in the Southwest Amazon Region of Brazil. **Soil & Tillage Research**, v.106, p. 177-184, 2010.

MANN, L.; TOLBERT, V.; CUSHMAN, J. Potential environmental effects of corn (*Zea mays* L.) stove removal with emphasis on soil organic matter and erosion. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.89, p.149-166, 2002.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. London: Academic Press, 2012. 651p.

McCORMICK, L.H.; BORDEN, F.Y. Phosphate fixation by aluminum in plant roots. **Proceedings Soil Science Society American**, v.36, n.5, p.709-802, 1972.

McNALLY, S.R.; LAUGHLIN, D.C.; RUTLEDGE, S.; DODD, M.B.; SIX, J.; SCHIPPER, L.A. Root carbon inputs under moderately diverse sward and conventional ryegrass-clover pasture: implications for soil carbon sequestration. **Plant and Soil**, v.392, n.1-2, p.289-299, 2015.

MIJANGOS, I.; ALBIZU, I.; EPELDE, L.; AMEZAGA, I.; MENDARTE, S.; GARBISU, C. Effects of liming on soil properties and plant performance of temperate mountainous grasslands. **J. Environ. Manage**, v.91, p.2066-2074, 2010.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A.; CALEGARI, A. Efeito de material vegetal na acidez do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.17, n.3, p.411-416, 1993.

MOREIRA, A.; FAGERIA, N.K. Liming influence on soil chemical properties, nutritional status and yield of alfalfa grown in acid soil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.1231-1239, 2010.

NGUYEN, C. Rhizodeposition of organic C by plants: mechanisms and controls. **Agronomie**, v.23, p.375-396, 2003.

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.

NORA, D.D.; AMADO, T.J.C.; BORTOLOTTI, R.P.; FERREIRA, A.O.; REICHARDT, K.; SANTI, A.L. Subsoil chemical amelioration and crop yields under continuous long-term no-till in a subtropical Oxisol. **Afr. J. Agric. Res.**, n.9, p.3338-3349, 2014.

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

PALMEIRAS, P.R.T.; PAULETTO, E.A.; TEIXEIRA, C.F.A.; GOMES, A.S.; SILVA, J. B. Agregação de um planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, p.189-195, 1999.

PAUL, B.K.; VANLAUWE, B.; AYUKE, F.; GASSNER, A.; HOOGMOED, M.; HURISSO, T.T.; KOALA, S.; LELEI, D.; NDABAMENYE, T.; SIX, J.; PULLEMAN, M.M. Medium-term impact of tillage and residue management on soil aggregate stability, soil carbon and crop productivity. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.164, p.14-22, 2013.

PAUL, E.A.; CLARK, F.E. **Soil microbiology and biochemistry**. San Diego: Academic Press, 1989.

PAUSTIAN, K.; SIX, J.; ELLIOTT, E.T.; HUNT, H.W. Management options for reducing CO₂ emissions from agricultural soils. **Biogeochemistry**, v.48, n.1, p.147-163, 2000

PAVAN, M. A.; BINGHAM, F. T.; PRATT, P. F. Redistribution of exchangeable calcium, magnesium, and aluminum following lime and gypsum applications to a Brazilian Oxisol. **Soil Science Society of America Journal**, v. 48, p. 33–38, 1984.

PAVAN, M. A.; BINGHAM, F. T.; PRATT, P. F. Toxicity of aluminum to coffee in ultisols and oxisols amended with CaCO₃, MgCO₃, and CaSO₄ .2H₂O. **Soil Science Society of America Journal**, v.46, p.1201-1207, 1982.

PEREIRA, J. E. **Solubilidade de alguns calcários e escórias de alto forno.** 1978. 84 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)–Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1978.

PETERSON, J.B. Calcium linkage, a mechanism in soil granulation. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.** v.12, p.29-34, 1947.

POWLSON, D.S.; WHITMORE, A.P.; GOULDING, K.W.T. Soil carbon sequestration to mitigate climate change: a critical re-examination to identify the true and the false. **European Journal of Soil Science**, v.62, n.1, p.42-55, 2011.

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.

PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M. Escória de siderurgia e calcário na correção da acidez do solo cultivado com cana-de-açúcar em vaso. **Scientia Agrícola**, v.57, n.4, p.739-744, 2000.

PULZ, A.L. et al. 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. **Acidez e calagem em solos tropicais.** Campinas: Instituto Agrônômico, 2000.

QUAGGIO, J.A.; MASCARENHAS, H.A.; BATAGLIA, O.C. Resposta da soja à aplicação de doses crescentes de calcário em Latossolo Roxo distrófico de cerrado. II – Efeito residual. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 6:113-118, 1982.

QUAGGIO, J.A.; VAN RAIJ, B.; GALLO, P.B.; MASCARENHAS, H.A.A. Respostas da soja à aplicação de calcário e gesso e lixiviação de íons no perfil do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.28, n.3, p.375-383, 1993.

RAIJ, B. V; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo.** Boletim Técnico IAC, Campinas, n.100, ed.2, p.285, 1997.

RAIJ, B.V.; FURLANI, P.R.; QUAGGIO, J.A.; PETTINELLI JUNIOR, A. Gesso na produção de cultivares de milho com tolerância diferencial a alumínio em três níveis de calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.101-108, 1998.

RAIJ, B. V. Reações de gesso em solos ácidos. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DO GESSO NA AGRICULTURA, 2, 1992. **Anais...** Uberaba:Ibrafos, p.105-120, 1992.

- RAMPIM, L.; LANA, M.C.; FRANDOLOSO, J.F.; FONTANIVA, S. Atributos químicos de solo e resposta do trigo e da soja ao gesso em sistema semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.1687-1698, 2011.
- RAPHAEL, J.P.; CALONEGO, J.C.; MILORI, D.M.B.; ROSOLEM, C.A. Soil organic matter in crop rotations under no-till. **Soil and Tillage Research**, v.155, p.45-53, 2016.
- RASSE, D.P.; RUMPEL, C.; DIGNAC, M.F. Is soil carbon mostly root carbon? Mechanisms for a specific stabilisation. *Plant and Soil*, v.269, p.341-356, 2005.
- REEVE, N.G.; SUMNER, M.E. Amelioration of subsoil acidity in Natal Oxisols by leaching of surface-applied amendments. **Agrochemophysica**, v.4, p.1-6, 1972.
- REICOSKY, D. C.; DUGAS, W. A.; TORBERT, H. A. Tillage-induced soil carbon dioxide loss from different cropping systems. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.41, n.1-2, p.105-118, 1997.
- REICOSKY, D.C.; LINDSTROM, M. J. Fall tillage method: effect on short-term carbon dioxide flux from soil. **Agronomy Journal**, v.85, n.6, p.1237-1243, 1993.
- REICOSKY, D. C.; LINDSTROM, M. J.; SCHUMACHER, T. E. Tillage-induced CO₂ loss across an eroded landscape. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, p.183-194, 2005.
- REIS, C.E.S.; DICK, D.P.; CALDAS, J.S.; BAYER, C. Carbon sequestration in clay and silt fractions of Brazilian soils under conventional and no-tillage systems. **Scientia Agricola**, v.71, p.292-301, 2014. DOI: 10.1590/0103-9016-2013-0234.
- RETH, S.; MARKUS, R.; FALGE, E. The effect of soil water content, soil temperature, soil pH value and the root mass on soil CO₂ efflux - A modified model. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.268, n.1-2, p.21-33, 2005.
- 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**, v.24, p.797-805, 2000.
- RIDLEY, A.M.; SLATTERY, W.J.; HELYAR, K.R.; COWLING, A. The importance of the carbon cycle to acidification of a grazed annual pasture. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v.30, p.529-537, 1990.
- RITCHEY, K.D.; SILVA, S.E.; COSTA, V.F. Calcium deficiency in clayey B horizons of savanna Oxisols. **Soil Science**, v.133, p.378-382, 1982.
- ROCHA, A.T.; OLIVEIRA, A.C.; RODRIGUES, A.N.; JÚNIOR, M.A.L.; FREIRE, F.J. Emprego do gesso do Araripe na melhoria do ambiente radicular da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.3, n.4, p.307-312, 2008.

- ROSCOE, R. et al. **Sistemas de manejo e matéria orgânica do solo**. In: ROSCOE, R. et al. (Ed.). Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. p.17-42.
- ROSOLEM, C.A.; VALE, L.S.R.; GRASSI FILHO, H.; MORAES, M.H. Sistema radicular e nutrição do milho em função da calagem e da compactação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.18, p.491-497, 1994.
- ROSSI, C.Q.; PEREIRA, M.G.; GIÁCOMO, S.G.; BETTA, M.; POLIDORO, J. C. Frações lábeis da matéria orgânica em sistema de cultivo com palha de braquiária e sorgo. **Revista Ciência Agronômica**, v.43, n.1, p.38-46, 2011.
- RYAN, M.G.; LAW, B.E. Interpreting, measuring and modeling soil respiration. **Biogeochemistry**, v.73, p.3-27, 2005.
- SALTON, J.C.; MERCANTE, F.M.; TOMAZI, M.; ZANATTA, J.A.; CONCENÇO, G.; SILVA, W.M.; RETORE, M. Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: Toward a sustainable production system. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.190, p.70-79, 2014.
- SANTI, A.; AMADO, T.J.C.; COSTA, J.A.A. Adubação nitrogenada na aveia preta: influência na produção de matéria seca e ciclagem de nutrientes sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.6, p.1.075-1.083, 2003.
- SANTOS et al. Forages, cover crops and related shoot and root additions in no-till rotation to C sequestration in a subtropical Ferralsol. **Soil & Tillage Research**, v.111, p.208-218, 2011.
- SERAFIM, M.E.; LIMA, J.M.; LIMA, V.M.P.; ZEVIANI, W.M.; PESSONI, P.T. Alterações físico-químicas e movimentação de íons em Latossolo gibbsítico sob doses de gesso. **Bragantia**, v.71, n.1, p.75-81, 2012.
- SILVA, A.A.; VALE, F.R.; FERNANDES, L.A.; FURTINI NETO, A.E.; MUNIZ, J.A. Efeitos de relações $\text{CaSO}_4/\text{CaCO}_3$ na mobilidade de nutrientes no solo e no crescimento do algodoeiro. **Revista brasileira de ciência do solo**, v.22, p.451-457, 1998.
- SILVA, I.R.; MENDONÇA, E.S. Matéria Orgânica do Solo. Coord. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Editores). **Fertilidade do Solo** – Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa-MG, p.275-375, 2007.
- SILVA-OLAYA, A.M.; CERRI, C.E.P.; LA SCALA, N.; DIAS, C.T.S.; CERRI, C.C. Carbon dioxide emissions under different soil tillage systems in mechanically harvested sugarcane. **Environmental Research Letters**, Baltimore, v.8, n.1, p.1-8, 2013.

SIQUEIRA NETO, M.; PICCOLO, M.C.; COSTA JR., C.; CERRI, C.C.; BERNOUX, M. Emissão de gases do efeito estufa em diferentes usos da terra no bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, p.63-76, 2011.

SISTI, C.P.J.; SANTOS, H.P.; KOHHANN, R.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v.76, p.39-58, 2004.

SIX, J.; CONANT, R.T.; PAUL, E.A.; PAUSTIAN, K. Stabilization mechanisms of soil organic matter: implications for C saturation of soils. **Plant and soil**, v.241, p.155-176, 2002.

SIX, J.; BOSSUYT, H.; DEGRYZE, S.; DENEFF, K. A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. **Soil Till. Res.** v.79, p.7-31, 2004.

SIX, J.; FREY, S.D.; THIET, R.K.; BATTEN, K.M. Bacterial and fungal contribution to carbon sequestration in agroecosystems. **Soil Science Society of America Journal**, v.70, p.555-569, 2006.

SIX, J.; ELLIOTT, E.T.; PAUSTIAN, K. Aggregate and soil organic matter dynamics under conventional and no-tillage systems. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.63, p.1.350-1.358, 1999.

SLEUTEL, S.; NEVES, S.; HOFMAN, G. Estimates of carbon stock changes in Belgian cropland. **Soil Use and Management**, v.19, p.166-171, 2003.

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

SORATTO, R.P.; CRUSCIOL, C.A.C. Dolomite and phosphogypsum surface application effects on annual crops nutrition and yield. **Agronomy Journal**, v.100, n.2, p.261-270, 2008b

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. **Cerrado: Correção do solo e adubação**. Brasília, DF: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2004.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E.; REIN, T.A. **O uso do gesso nos solos do Cerrado**. Planaltina, DF. Embrapa Cerrados, ed. 32, p.18, 2005.

SOUZA, E.D.; COSTA, S.E.V.G.A.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P.C. F.; ANDRIGHETTI, M.; CAO, E. Estoques de carbono orgânico e de nitrogênio no solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.33, n.6 (nov./dez. 2009), p.1829-1836, 2009.

SOUZA, W.J.O.; MELO, W.J. Matéria orgânica em um Latossolo submetido a diferentes sistemas de produção de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.6, p.1113-1122, 2003.

STAVI, I.; LAL, R.. Agriculture and greenhouse gases, a common tragedy. A review. **Agronomy for sustainable development**, v.33, n.2, p.275-289, 2013.

SWIFT, R.S. Organic matter characterization. In: SPARKS, D., eds. **Methods of soil analysis: Chemical methods**. Madison, **Soil Science Society America**, p.1018-1020, 1996.

TAVARES, R. L. M. FARHATE, C .V. V., SOUZA, Z. M.; LA SCALA JÚNIOR, N.; TORRES, J. L. R.; CAMPOS, M. C. C. Emission of CO₂ and soil microbial activity in sugarcane management systems. **African Journal of Agricultural Research**, Olabisi, v.10, p.975-982, 2015.

TEIXEIRA, L.G.; LA SCALA, N.; LOPES, A. Fluxo de CO₂ do solo após aração e escarificação em diferentes configurações. **HOLOS Environment**, Rio Claro, v.10, p.1-11, 2010a.

TEIXEIRA, L.G.; LOPES, A.; LA SCALA JR, N. Temporal variability of soil CO₂ emission after conventional and reduced tillage described by an exponential decay in time model. **Eng. Agríc.**, v.30, p.224-231, 2010b.

WEST, T.O.; POST, W.M.: Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.66, p.1930-1946, 2002.

YAMULKI, S.; JARVIS, S.C. Short-term effects of tillage and compaction on nitrous oxide, nitric oxide, nitrogen dioxide, methane and carbon dioxide fluxes from grassland. **Biology and Fertility of Soils**, v.36, p.224-231, 2002.

YAO, H.; BOWMAN, D.; RUFTY, T.; SHI, W. Interactions between N fertilization, grass clipping addition and pH in turf ecosystems: Implications for soil enzyme activities and organic matter decomposition. **Soil Biology and Biochemistry**, v.41, n.7, p.1425-1432, jul. 2009.

ZANDONÁ, R.R.; BEUTLER, A.N.; BURG, G.M.; BARRETO, C.F.; SCHMIDT, M.R. Gesso e calcário aumentam a produtividade e amenizam o efeito do déficit hídrico em milho e soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical (Agricultural Research in the Tropics)**, v.45, n.2, 2015.

ZINN, Y.L.; LAL, R.; RESCK, D.V.S. Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brazil. **Soil & Tillage Research**, v.84, p.28-40, 2005.

ZINN, Y.L.; RESCK, D.V.S.; SILVA, J.E. Soil organic carbon as affected by afforestation with Eucalyptus and Pinus in the Cerrado region of Brazil. **Forest Ecology and Management**, v.166, p.285-294, 2002.