

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS

CÂMPUS DE BOTUCATU

**EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA E ESTOQUE DE
CARBONO NO SOLO EM FUNÇÃO DO MANEJO E CORREÇÃO DE
ACIDEZ**

MONIKI CAMPOS JANEGITZ

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP – Câmpus de
Botucatu, para a obtenção do título de
Doutora em Agronomia (Agricultura).

BOTUCATU-SP

Fevereiro - 2016

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS

CÂMPUS DE BOTUCATU

**EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA E ESTOQUE DE
CARBONO NO SOLO EM FUNÇÃO DO MANEJO E CORREÇÃO DE
ACIDEZ**

MONIKI CAMPOS JANEGITZ

Orientador: Prof. Dr. Ciro Antonio Rosolem

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP – Câmpus de
Botucatu, para a obtenção do título de
Doutora em Agronomia (Agricultura).

BOTUCATU-SP

Fevereiro – 2016

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

J33e Janegitz, Moniki Campos, 1987-
Emissão de gases de efeito estufa e estoque de carbono no solo em função do manejo e correção de acidez / Moniki Campos Janegitz. - Botucatu : [s.n.], 2016
xiii, 113 f. : grafs. color., ils. color., tabs.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2016
Orientador: Ciro Antonio Rosolem
Inclui bibliografia

1. Calagem dos solos. 2. Dióxido de carbono. 3. Gesso. 4. Aquecimento global. 5. Química do solo. I. Rosolem, Ciro Antonio. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônomicas. III. Título.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Botucatu



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO


TÍTULO: "EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA E ESTOQUE DE CARBONO NO SOLO EM FUNÇÃO DO MANEJO E CORREÇÃO DA ACIDEZ"


AUTORA: MONIKI CAMPOS JANEGITZ

ORIENTADOR: CIRO ANTONIO ROSOLEM

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


Prof. Dr. CIRO ANTONIO ROSOLEM
Dep de Produção e Melhoramento Vegetal / Faculdade de Ciências Agrômicas de Botucatu


Prof. Dr. CARLOS ALEXANDRE COSTA CRUSCIOL
DEPARTAMENTO DE PRODUÇÃO E MELHORAMENTO VEGETAL / Faculdade de Ciências Agrômicas de Botucatu


Prof. Dr. ADÔNIS MOREIRA
EMBRAPA SOJA


Prof. Dr. DIRCEU MAXIMINO FERNANDES
Dep de Solos e Recursos Ambientais / Faculdade de Ciências Agrômicas de Botucatu


Prof. Dr. CRISTIANO ALBERTO DE ANDRADE
EMBRAPA MEIO AMBIENTE

Botucatu, 12 de fevereiro de 2016.

**O TEMPO amadurece
todas as coisas. Nenhum
homem nasce SÁBIO...**

Cervantes

**Se soubéssemos o que estávamos
fazendo, não seria chamado de
pesquisa.**

A. Einstein

**Sem grandes metas não é
possível concretizar grandes
sonhos.**

Autor desconhecido

*Para meus pais e a todos aos quais
seja útil este trabalho,
dedico.*

Agradecimentos

Primeiramente a Deus e Nossa Senhora Aparecida, por tudo e todas as conquistas alcançadas.

Aos meus pais, Milton Janegitz e Maria Aparecida de Campos Janegitz, pela educação, carinho, compreensão e “alicerce de vida” que sempre me ofereceram, e ao meu irmão Bruno Campos Janegitz, pelos conselhos nas horas em que mais precisei.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Em especial ao meu orientador, Ciro Antonio Rosolem, pelos valiosos ensinamentos, paciência e compreensão, para que este trabalho fosse desenvolvido, e aos membros da banca e professores do Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal, Juliano Calonego, Rogério Peres Soratto, Edvaldo Aparecido Amaral da Silva.

À CAPES, pela bolsa PDSE, e ao Departamento de Biosistemas e Ciências do Solo da University of Tennessee e USDA, pela oportunidade de conhecer novas tecnologias e aprimoramento de técnicas, e aos mestres Sean Scheefer (orientador), Virginia Jin (USDA), John Stier (pelo convite para desenvolver pesquisa no exterior) e a todos os que me ajudaram no período do “sanduíche”.

Aos funcionários de campo do Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal (DPMV), que contribuíram na condução do experimento em nível de campo, principalmente ao Célio Mariano e Aparecido (Cido).

Aos funcionários da Secretaria do Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal, Eliana e Vera Lúcia, e ao técnico do laboratório Relação Solo-Planta, Dorival Pires, pelos importantes auxílios e sugestões nas análises realizadas (“Muitas horas trabalhadas”).

Aos amigos e colegas Elialdo Alves de Souza, Natália Rodrigues Ferreira, Taty Mioni, Gabriela Raddi, Adriana Carla Oliveira, Stefani Thaís (Mukeka), Daniele de Souza, Marcela Corrêa, João Paulo Rigon, Lidong Li, Elisângela Miranda, Mirela Pereira, que, de alguma forma, cooperaram para este trabalho, fica aqui o meu indispensável “obrigada”.

Aos estagiários Camila da Silva Grassmann (Pedreira), Flávia Santos (Tijuro) e Gustavo Bacco (Gambit).

Ao Professor Dr. Rony Farto Pereira, pelo auxílio proporcionado.

Enfim, a todos os que colaboraram direta e indiretamente na execução deste trabalho,

Meus sinceros agradecimentos.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS.....	VIII
LISTA DE FIGURAS.....	XI
1 RESUMO.....	01
2 SUMMARY.....	03
3 INTRODUÇÃO.....	05
4 REVISÃO DE LITERATURA.....	08
4.1 Utilização de gesso na agricultura.....	08
4.2 Utilização de silicatos como corretivos da acidez dos solos.....	09
4.3 Aplicação de calagem em solos ácidos.....	10
4.4 Dinâmica da matéria orgânica do solo.....	11
4.5 Sequestro de carbono e emissão de gases de efeito estufa na agricultura.....	13
5. MATERIAL E MÉTODOS.....	17
5.1 Caracterização do solo.....	17
5.2 Caracterização climática.....	19
5.3 Tratamentos e delineamento experimental.....	22
5.4 Instalação e condução do experimento.....	22
5.5 Semeadura e cultivo da soja.....	23
5.6 Semeadura e cultivo do milho + braquiária e milho + braquiária.....	24
5.7 Coleta, preparo e análise das amostras.....	25
5.7.1 Solo.....	25
5.7.2 Planta.....	26
5.7.3 Gases - CH ₄ , CO ₂ e N ₂ O.....	27
5.8 Balanço de carbono no sistema.....	29

	Página
5.9 Análise estatística.....	30
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
6.1 Fertilidade do solo.....	31
6.2 Aportes de C e N no sistema em função do manejo e aplicação de corretivos.....	51
6.3 Diagnose foliar e produtividade das culturas de soja e milho e aplicação de corretivos no solo.....	53
6.4 Emissão de gases de efeito estufa até 35 dias após a correção de acidez do solo.....	60
6.4.1 Emissão de CO ₂	60
6.4.2 Emissão de CH ₄ e N ₂ O	64
6.5 Emissões acumuladas de gases de efeito estufa em 22 meses e a capacidade dos sistemas de manejo em conservar C no solo	69
6.5.1 Os fluxos e emissão acumulada de CO ₂	72
6.5.2 Emissão acumulada de N ₂ O e CH ₄	78
6.6 Carbono no solo.....	80
6.7 Índice de conservação de carbono no sistema.....	88
7. CONCLUSÕES.....	90
8. REFERÊNCIAS.....	91

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1: Características químicas do solo da área experimental do sistema de semeadura direta e sistema convencional, antes da instalação dos tratamentos (julho, 2012).....	18
Tabela 2: Teores de micronutrientes no solo da área experimental do sistema de semeadura direta e sistema convencional, antes da instalação dos tratamentos (julho, 2012).....	18
Tabela 3: Carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP) e carbono orgânico associado aos minerais (COAms) no solo, antes da aplicação dos tratamentos (julho, 2012).....	19
Tabela 4: Características físicas, granulométricas, relação C/N e estoque de carbono e nitrogênio no solo da área experimental do sistema de semeadura direta e sistema convencional (julho, 2012).....	20
Tabela 5: Composição dos corretivos e gesso agrícola utilizado no experimento.....	22
Tabela 6: Massa de matéria seca e quantidades de carbono, nitrogênio e relação C/N antes da instalação do experimento na palhada da superfície do solo (julho, 2012).....	23
Tabela 7: Aporte de carbono pelas culturas através da biomassa da parte aérea em superfície no solo, radicular (0-0,6 m de profundidade) e carbono total (raiz+parte aérea) no período de novembro, 2012 – julho, 2014, em função da aplicação dos tratamentos e do sistema de manejo direto (SD) e convencional (SC) de solo.....	51
Tabela 8: Aporte de nitrogênio pelas culturas através da biomassa da parte aérea em superfície no solo e radicular no sistema (0-0,6 m de profundidade) e carbono total (raiz+parte aérea) no período de novembro, 2012 – julho, 2014, em função da aplicação dos tratamentos e do sistema de manejo direto (SD) e convencional (SC) de solo.....	52
Tabela 9: Valores médios de nutrientes nas folhas de soja coletadas em pleno estágio de florescimento da cultura (janeiro, 2013).....	54
Tabela 10: Valores médios de nutrientes nas folhas de milho coletadas em pleno estágio de florescimento da cultura (junho, 2013).....	55
Tabela 11: Valores médios de nutrientes nas folhas de soja coletadas em pleno estágio de florescimento da cultura (janeiro, 2014).....	56

Página

Tabela 12: Produtividade de grãos da soja, em função da aplicação dos tratamentos e do sistema de manejo direto (SD) e convencional (SC) de solo, nos dois anos agrícolas (março, 2013 e 2014).....	57
Tabela 13: Produtividade milho, em função da aplicação dos tratamentos e do sistema de manejo direto (SD) e convencional (SC) de solo (agosto, 2013).....	58
Tabela 14: Carbono e nitrogênio exportado pelas culturas através da produção de grãos no período de novembro, 2012 – julho, 2014 em função da aplicação dos tratamentos e do sistema de manejo direto (SD) e convencional (SC) de solo.....	59
Tabela 15: Emissão relativa e emissão acumulada de C-CO ₂ em função da aplicação dos tratamentos e sistemas de manejo após 35 dias da aplicação dos corretivos.....	61
Tabela 16: Emissão relativa e emissão acumulada de N- N ₂ O, em função da aplicação dos tratamentos e sistemas de manejo após 35 dias da aplicação dos corretivos.....	66
Tabela 17: Emissão relativa e emissão acumulada de C-CH ₄ , em função da aplicação dos tratamentos e sistemas de manejo após 35 dias da aplicação dos corretivos.....	68
Tabela 18: Frequência e distribuição dos resultados obtidos de gases, umidade e temperatura do solo, em função da aplicação dos corretivos no sistema de semeadura direta, no período de outubro, 2012 – julho, 2014.....	70
Tabela 19: Frequência e distribuição dos resultados obtidos de gases, umidade e temperatura do solo, em função da aplicação dos corretivos no sistema convencional de cultivo, no período de outubro, 2012 – julho, 2014.....	71
Tabela 20: Emissão relativa e emissão acumulada de C-CO ₂ do solo, no período de 22 meses e anual, em função da aplicação dos tratamentos e sistemas de manejo	76
Tabela 21: Emissão de C-CO ₂ do solo dentro de cada evento, em função da aplicação dos tratamentos e sistemas de manejo.....	78
Tabela 22: Emissão relativa e emissão acumulada de N-N ₂ O do solo, no período de 22 meses e anual, em função da aplicação dos tratamentos e sistemas de manejo.....	79

Página

Tabela 23: Emissão relativa e emissão acumulada de C-CH ₄ do solo, no período de 22 meses e anual, em função da aplicação dos tratamentos e sistemas de manejo.....	80
Tabela 24: Carbono orgânico particulado (COP), carbono associado aos minerais (COAms), carbono orgânico total (COT) no solo nas profundidades de 0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,4 e 0,40-0,60m, em função da aplicação dos tratamentos e do sistema de manejo direto e convencional de solo (novembro, 2012).....	82
Tabela 25: Carbono orgânico particulado (COP), carbono associado aos minerais (COAms), carbono orgânico total (COT) e labilidade de carbono (LB) no solo nas profundidades de 0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,4 e 0,40-0,60m, em função da aplicação dos tratamentos e do sistema de manejo direto e convencional de solo (novembro, 2013).....	84
Tabela 26: Estoque de carbono no solo (Mg ha ⁻¹) nas profundidades de 0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,4, 0,4-0,6, 0,6-0,8 e 0,8-1m, em função da aplicação dos tratamentos e do sistema de manejo direto e convencional de solo (novembro, 2013).....	86
Tabela 27: Valores médios de estoque de carbono e nitrogênio no solo de 0-1m em função da aplicação dos tratamentos e do sistema de manejo direto (SD) e convencional (SC) de solo (novembro, 2013).....	87
Tabela 28: Estoque de carbono no solo após um ano da aplicação dos tratamentos e índice de conservação de carbono (ICC), considerando 1m de profundidade nos sistemas direto e convencional de cultivo.....	88

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1: Temperatura média, mínima, máxima e precipitação mensal referente ao primeiro e segundo ano do ensaio (julho/2012 a julho/2014).....	21
Figura 2: Esquema de montagem das câmaras estáticas para coleta das amostras de gases do efeito estufa. Fonte: Rigon, (2013).....	28
Figura 3: Valores médios de pH (CaCl ₂) no solo nas profundidades de 0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,4, 0,4-0,6m, em função da aplicação dos tratamentos após 30 dias e 12 meses e do sistema de manejo direto (SD) e convencional (SC) – novembro de 2012 e 2013 (** 1%, * 5% e ns – não significativo pelo teste t (LSD)).....	32
Figura 4: Valores médios de hidrogênio+ alumínio (mmol _c dm ⁻³) no solo nas profundidades de 0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,4, 0,4-0,6m, em função da aplicação dos tratamentos após 30 dias e 12 meses e do sistema de manejo direto (SD) e convencional (SC) – novembro de 2012 e 2013. (** 1%, * 5% e ns – não significativo pelo teste t (LSD)).....	34
Figura 5: Valores médios de matéria orgânica (g kg ⁻¹) no solo nas profundidades de 0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,4, 0,4-0,6m, em função da aplicação dos tratamentos após 30 dias e 12 meses e do sistema de manejo direto (SD) e convencional (SC) – novembro, 2012 e 2013 (** 1%, * 5% e ns – não significativo pelo teste t (LSD)).....	35
Figura 6: Valores médios de cálcio (mmol _c dm ⁻³) no solo nas profundidades de 0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,4, 0,4-0,6m, em função da aplicação dos tratamentos após 30 dias e 12 meses e do sistema de manejo direto (SD) e convencional (SC) – novembro, 2012 e 2013 (** 1%, * 5% e ns – não significativo pelo teste t (LSD)).....	37
Figura 7: Valores médios de magnésio (mmol _c dm ⁻³) no solo nas profundidades de 0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,4, 0,4-0,6m, em função da aplicação dos tratamentos após 30 dias e 12 meses e do sistema de manejo direto (SD) e convencional (SC) – novembro, 2012 e 2013 (** 1%, * 5% e ns – não significativo pelo teste t (LSD)).....	39
Figura 8: Valores médios de potássio (mmol _c dm ⁻³) no solo nas profundidades de 0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,4, 0,4-0,6m, em função da aplicação dos tratamentos após 30 dias e 12 meses e do sistema de manejo direto (SD) e convencional (SC) - novembro, 2012 e 2013 (** 1%, * 5% e ns – não significativo pelo teste t (LSD)).....	40
Figura 9: Valores médios de saturação por bases (%) no solo nas profundidades de 0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,4, 0,4-0,6m, em função da aplicação dos tratamentos após 30 dias e 12 meses e do sistema de manejo direto (SD) e convencional (SC) – novembro, 2012 e 2013 (** 1%, * 5% e ns – não significativo pelo teste t (LSD)).....	41

Página

- Figura 10: Valores médios de capacidade de troca catiônica (mmolc dm⁻³) no solo nas profundidades de 0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,4, 0,4-0,6m, em função da aplicação dos tratamentos após 30 dias e 12 meses e do sistema de manejo direto (SD) e convencional (SC) – novembro, 2012 e 2013 (** 1%, * 5% e ns – não significativo pelo teste t (LSD)).....42
- Figura 11: Valores médios de fósforo (mg dm⁻³) no solo nas profundidades de 0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,4, 0,4-0,6m, em função da aplicação dos tratamentos e do sistema de manejo direto (SD) e convencional de solo (SC) – novembro, 2012 e 2013 (** 1%, * 5% e ns – não significativo pelo teste t (LSD)).....45
- Figura 12: Valores médios de manganês (mg dm⁻³) no solo nas profundidades de 0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,4, 0,4-0,6m, em função da aplicação dos tratamentos após 30 dias e 12 meses e do sistema de manejo direto (SD) e convencional (SC) – novembro, 2012 e 2013 (** 1%, * 5% e ns – não significativo pelo teste t (LSD)).....47
- Figura 13: Valores médios de cobre (mg dm⁻³) no solo nas profundidades de 0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,4, 0,4-0,6m, em função da aplicação dos tratamentos após 30 dias e 12 meses e do sistema de manejo direto (SD) e convencional (SC) – novembro, 2012 e 2013 (** 1%, * 5% e ns – não significativo pelo teste t (LSD)).....48
- Figura 14: Valores médios de zinco (mg dm⁻³) no solo nas profundidades de 0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,4, 0,4-0,6m, em função da aplicação dos tratamentos após 30 dias e 12 meses e do sistema de manejo direto (SD) e convencional (SC) – novembro, 2012 e 2013 (** 1%, * 5% e ns – não significativo pelo teste t (LSD)).....49
- Figura 15: Valores médios de ferro (mg dm⁻³) no solo nas profundidades de 0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,4, 0,4-0,6m, em função da aplicação dos tratamentos após 30 dias e 12 meses e do sistema de manejo direto (SD) e convencional (SC) – novembro, 2012 e 2013 (** 1%, * 5% e ns – não significativo pelo teste t (LSD)).....50
- Figura 16: Evolução do fluxo de CO₂ (mg m⁻² h⁻¹) do solo e dos tratamentos em consequência da precipitação e temperatura do solo no período da amostragem nos sistemas de manejo convencional e direto (período de 03/10/2012 a 06/11/2012). (** 1%, * 5% e ns – não significativo pelo teste t (LSD)).....62
- Figura 17: Correlação de Pearson entre o fluxo de CO₂ (mg m⁻² h⁻¹) e a temperatura do solo (oC) e umidade do solo (m⁻³ m⁻³) no sistema direto (a) e sistema convencional (b) de cultivo de solo. Média dos 35 dias após a aplicação dos tratamentos. *P<0,05, **P<0.01, ns (não significativo).63

Página

- Figura 18: Evolução do fluxo de N_2O ($ug\ m^{-2}\ h^{-1}$) do solo e dos tratamentos em consequência da precipitação e temperatura do solo no período da amostragem nos sistemas de manejo convencional e direto (período de 03/10/2012 a 06/11/2012). (** 1%, * 5% e ns – não significativo pelo teste t (LSD)).....65
- Figura 19: Correlação de Pearson entre o fluxo de N_2O ($ug\ m^{-2}\ h^{-1}$) e a temperatura do solo (oC) e umidade do solo ($m^{-3}\ m^{-3}$) no sistema direto (a) e sistema convencional (b) de cultivo de solo. Média dos 35 dias após a aplicação dos tratamentos. * $P<0,05$, ** $P<0.01$, ns (não significativo).....67
- Figura 20: Evolução do fluxo de CH_4 ($mg\ m^{-2}\ h^{-1}$) do solo e dos tratamentos em consequência da precipitação e temperatura do solo no período da amostragem nos sistemas de manejo convencional e direto (período de 03/10/2012 a 06/11/2012). (** 1%, * 5% e ns – não significativo pelo teste t (LSD)).....68
- Figura 21: Fluxo de CO_2 ($mg\ m^{-2}\ h^{-1}$), em função dos 80 períodos avaliados durante 666 dias após a aplicação dos tratamentos em sistema direto de cultivo (outubro, 2012 – julho, 2014).....72
- Figura 22: Fluxo de CO_2 ($mg\ m^{-2}\ h^{-1}$), em função dos 80 períodos avaliados durante 666 dias após a aplicação dos tratamentos em sistema convencional de cultivo (outubro, 2012 - julho, 2014).....73
- Figura 23: Correlação de Person a partir do fluxo de CO_2 ($mg\ m^{-2}\ h^{-1}$) com a temperatura e umidade do solo, em função dos 80 períodos avaliados durante 666 dias após a aplicação dos tratamentos em sistema direto de cultivo (outubro, 2012 - julho, 2014).....74
- Figura 24: Correlação de Person a partir do fluxo de CO_2 ($mg\ m^{-2}\ h^{-1}$) com a temperatura e umidade do solo, em função dos 80 períodos avaliados durante 666 dias após a aplicação dos tratamentos em sistema convencional de cultivo (outubro, 2012 – julho, 2014).....75

1. RESUMO

Uma opção viável para mitigação de gases de efeito estufa, na agricultura, é aumentar o aporte orgânico no sistema, através de plantas. A prática da calagem em solos ácidos é indispensável para a melhoria da acidez e contribui para o aumento de produção de grãos e biomassa; por outro lado, resulta em emissão de carbono para a atmosfera. O uso do calcário ou silicato associado ao gesso pode ser eficiente em melhorar o balanço de carbono no sistema, quando comparado apenas com a aplicação isolada desses corretivos, por proporcionar maior crescimento radicular. Assim, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a emissão de gases de efeito estufa, bem como alterações no estoque de carbono no perfil do solo, em função da correção da acidez. O experimento foi conduzido em Botucatu, SP, na Fazenda Experimental Lageado, em duas áreas pareadas, uma em semeadura direta e outra em sistema convencional de cultivo, tendo como cultura de verão a soja, seguida de safrinha com milho + braquiária (*Urochloa ruziziensis* cv. Comum), no primeiro ano, e milheto + braquiária, no segundo ano. Os tratamentos foram: testemunha, calcário, silicato, gesso + calcário, gesso + silicato. Amostras de solo deformadas e indeformadas foram coletadas até 1m de profundidade antes da aplicação dos tratamentos e na semeadura da soja, em novembro, para o cálculo de balanço de carbono no sistema. No primeiro ano, o solo foi coletado apenas de 0 - 0,6m. Foi determinada a fertilidade do solo, teor de carbono e fracionamento físico da matéria orgânica e densidade do solo. O aporte e a persistência de palha sobre o solo foram avaliados periodicamente. Foi realizada diagnose foliar, quantificação radicular, produção de grãos e teor de carbono nos grãos e raiz. As amostragens de gases para a determinação dos fluxos do CO₂, N₂O e CH₄ provenientes do solo foram realizadas após a aplicação dos tratamentos, no primeiro ano, após a semeadura da soja, nas duas safras, e em março do segundo (após semeadura do milho + braquiária) e terceiro anos (após a semeadura do milheto + braquiária) totalizando 80 amostragens, em 22 meses de experimentação. A partir dos dados de estoques de carbono (via aporte de resíduos e solo) e emissão de C-CO₂, foi calculado o índice de conservação de carbono. Os dados de N₂O e CH₄ foram

transformados em C-CO₂ equivalente segundo o IPCC. A emissão média anual de C-CO₂ foi de 7,8 Mg ha⁻¹. Os corretivos foram igualmente eficientes na correção de acidez do solo. Os sistemas de cultivo influenciaram a fertilidade do solo, estoque de carbono, frações de carbono no solo e emissão de gases de efeito estufa. A semeadura direta colaborou para a melhoria do ambiente solo-planta. O uso do calcário, associado ou não ao gesso, aumentou a emissão inicial de CO₂ do solo, enquanto a emissão de N₂O foi diminuída, na presença de silicato. Para o CH₄, ocorreu influxo do gás no solo, sem diferença entre tratamentos para ambos os sistemas de manejo de cultivo, aos 35 dias após a aplicação dos corretivos, sem presença de planta. Conclui-se que o uso de corretivos de acidez do solo não aumenta a emissão de CO₂ da biosfera para a atmosfera em relação à testemunha, na avaliação final dos 22 meses de experimentação. A emissão de gases em função da correção de acidez do solo é inicial, e se estabiliza ao longo do tempo, mostrando que o uso do calcário, ainda que possa emitir CO₂ para a atmosfera, através de sua reação, causa efeito *priming* no solo. A emissão acumulada de C-CO₂ foi similar nos dois sistemas de cultivo (convencional e direto). O estudo a partir de emissões de gases de efeito estufa, apenas, não permite analisar o sistema de manejo de solo. A adoção da semeadura direta ainda é a principal prática de manejo conservacionista a ser considerada com efeitos diretos no aumento de carbono no sistema. Por outro lado, além da semeadura direta, o uso de calcário associado ao gesso melhora positivamente o índice de conservação de carbono no solo. O uso de gesso melhora as propriedades químicas, aumenta o aporte de C, o estoque de carbono no solo e, conseqüentemente, pode ser uma prática promissora, favorecendo a mitigação de C da atmosfera para a biosfera, além de promover aumentos de produtividade da soja.

Palavras-chave: Calagem. Estoque de carbono. Emissão de CO₂. Gesso. Aquecimento global.

GREENHOUSE GAS EMISSION AND SOIL CARBON STOCK AS EFECTED BY SOIL ACIDITY AMELIORATION AND MANAGEMENT SYSTEM

Botucatu, 2016.113 fl. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: MONIKI CAMPOS JANEGITZ

Adviser: CIRO ANTONIO ROSOLEM

2. SUMMARY

Economically viable options to mitigate emissions of greenhouse gases include increasing the stocks of croplands. The use of liming acid soils is essential to correct soil acidity and contributes to high production resulting in carbon emission in the atmosphere. The use of lime or silicate application with gypsum may improve the balance of soil carbon through increased root growth compared to the use of lime only. The main objective of this work is to study changes in the carbon storage in the soil profile as well as changes in carbon emission affected by soil acidity amelioration. The experiment was carried out in an Oxisol in Botucatu, São Paulo at the Lageado Experimental Farm under no tillage and another in a conventional system area. Crop cultivation was soybean in the summer and corn+*Urochloa* in the winter in the first year, and millet+*Urochloa* in second year cultivation. The experimental design was a randomized block with five treatments and four replications. The treatments were: control, lime, silicate, gypsum+ lime and gypsum+ silicate. Deformed and under formed soil samples of both experimental areas were taken at a depth of one meter before treatment applications and in soybean sown in November. In the first year, soil samples were collected at depths from 0 to 0.6 m. Soil fertility, carbon content, organic matter physical fractionation and bulk density were evaluated. Contribution and the persistence of the amount of straw produced in each crop and input of carbon was also evaluated. Leaf analysis, root quantification, grain yield and carbon content in the grains and roots were also analyzed. CO₂, CH₄ and N₂O fluxes were determined from the soil using static chambers and were measured after the treatment applications, soybean planting in the summer and winter crops, in March 2013 and 2014 under corn+*Urochloa* and millet+*Urochloa*. Gas fluxes were measured for 22 months, totaling 80 sampling periods. We evaluated the CO₂-C/[residue-C+soil-C]; the carbon emission quotient was proposed as C retention index (CRI), in which low values indicate a high capacity of the management system to store C in the soil. According to the IPCC in CO₂- equivalent factors, nitrogen oxide and the methane emission should be adjusted. The annual average emission was 7,8 Mg ha⁻¹ of C-CO₂- equivalent. Soil amendments were equally efficient in soil acidity amelioration. Cultivation systems influenced the soil fertility, carbon stock, carbon fractions in soil and greenhouse gases. Conservation systems, such as no till,

contributed to the improvement of the soil-plant environment compared to the conventional system. The lime use associated or not with gypsum increased the initial CO₂ emission, while N₂O emission was decreased in the presence of silicate. For CH₄ inflow into the ground, no difference between treatments was observed after 35 days of treatment applications, with no plants in the soil. However, we concluded that soil acidity amelioration did not increase the C-CO₂ equivalent emission from biosphere to atmosphere compared to the treatment control after 22 months of trial. Data on lime-contributed to atmospheric CO₂ and the effect stabilized over time. Limed treatments increased soil organic carbon confirming priming effect of liming. Accumulated C-CO₂ emission was similar by the both soil management systems. It is not possible to analyze the soil tillage system with a study on greenhouse gas emissions only. Regarding adopting no-till, it is still the main conservation management practice having direct effects on the carbon mitigation in the system. Chemical soil characteristics were influenced with gypsum use as soil carbon stock and soybean yields also increased with this treatment.

Keywords: Liming. Carbon stock. CO₂ emission. Gypsum. Global warming.

3. INTRODUÇÃO

Há estimativas de que a agricultura seria responsável por 15% do total de emissões por meio de ações antrópicas globais de GEEs (IPCC, 2007). No Brasil, calcula-se que a agricultura responda por 75% do CO₂ e 90% da emissão anual de CH₄ e N₂O (EMBRAPA-CNPMA, 2006). Ainda que esses números não sejam recentes, não houve grandes alterações no cenário atual (FAO, 2014). Todavia, sistemas de manejo conservacionistas, como a Semeadura Direta (SD), apresentam potencial para mitigar a emissão de CO₂, uma vez que a rotação de culturas e a manutenção dos resíduos culturais na superfície do solo proporcionam a decomposição lenta e gradual do material orgânico, que, associado com a fração mineral do solo, favorece o acúmulo e a proteção da matéria orgânica (MOS). Essa alteração no ciclo de C no sistema solo-atmosfera reflete no aumento dos estoques de C orgânico no solo (BAYER; MIELNICZUK, 1997).

Como determinado por Chaves et al. (2009), diferenças entre sistemas de preparo do solo quanto à emissão de C-CO₂ foram verificadas somente em curto prazo; na semeadura direta, maiores emissões foram relatadas em relação ao cultivo convencional, no início, e menores, no final do período. Por outro lado, maiores teores de carbono orgânico no solo no SSD foram observados em comparação ao sistema convencional, na camada de 0-0,2 m, com cultivo de nabo forrageiro e milho, no outono (BAYER et al., 2004). Já a introdução de espécies com alta capacidade de produção de fitomassa, como o milheto, aumentou o estoque de carbono no solo no SD, ou seja, quanto maior a capacidade da planta em explorar o solo, possivelmente maior será o estoque de carbono orgânico (GARCIA; ROSOLEM et al., 2012). Dessa forma, Bayer et al. (2006)

apontam a adoção do SD como forma de contribuir com o sequestro de carbono atmosférico, auxiliando na atenuação das alterações climáticas globais.

A utilização da calagem em solos ácidos é essencial para a correção da acidez do solo, especialmente os de regiões de clima tropical, condições predominantes de baixos valores de pH, bases trocáveis, P e teores elevados de H+Al (PEIXOTO et al., 1997). Entretanto, essa prática colabora para a emissão de CO₂ (DUMALE JUNIOR et al., 2011). Por outro lado, ainda que trabalhos reportem o papel da calagem para a emissão de gases de efeito estufa, os resultados gerados não foram quantificados, porém, estimados através de cálculos a partir de fatores gerados pelo IPCC (BERNOUX et al., 2003; CERRI et al., 2006). Em outros estudos, as emissões foram quantificadas, mas foram poucas amostragens, o que pode levar a menor confiabilidade nos resultados, além de os sistemas de manejo se comportarem de maneira diferenciada, a cada situação (COSTA et al. 2008; SILVA et al. 2014).

Conforme Dumale Junior et al. (2011), a calagem, além de resultar na emissão de seu próprio carbono para a atmosfera, apresenta efeito *priming* no solo, ou seja, a quantidade de carbono emitida é originada também do carbono orgânico estável e lábil do solo. Todavia, aumentos significativos da mineralização do carbono orgânico do solo após a calagem não tinham sido anteriormente identificados. Considera-se ainda que esse efeito *priming* possa cooperar significativamente para as concentrações de CO₂ na atmosfera, em áreas de solos ácidos que necessitam da correção da acidez, pois menores estoques de carbono orgânico no solo podem alterar significativamente a presença de CO₂ na atmosfera.

O estudo apenas de emissão de gases, sem estar relacionada a outros fatores, como solo e planta, não é um método eficiente de analisar a prática e o índice de conservação de carbono no sistema, segundo ressaltam Costa et al. (2008).

Diferentemente do produto de formação da reação do calcário no solo, que é o CO₂, os silicatos podem ser empregados como corretivos de solo, e sua reação permite liberação de íons OH⁻, neutralizando o Al⁺³ fitotóxico (CASTRO, 2009). A substituição do calcário pelo silicato pode ser uma alternativa promissora, resultando em menor liberação de carbono na atmosfera e maior sequestro de C nos perfis dos solos. Por outro lado, aplicações de calcário e de gesso agrícola, assim como de silicatos, promovem modificações químicas no perfil, as quais 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 Al trocável, possibilitando maior crescimento das raízes (MCCORMICK; BORDEN, 1972). O maior crescimento radicular em profundidade pode aumentar a matéria orgânica do solo e, com a presença constante do ciclo de crescimento e morte de raízes, aumentar o estoque de carbono orgânico no solo (SANTOS et al., 2011). Já foi observada alta complexação do carbono orgânico dissolvido no solo com os cátions Ca e Mg, com o uso do gesso (ZAMBROSI et al., 2007).

A partir dessas premissas, levanta-se a hipótese de que a aplicação de silicato ou calcário junto ao gesso, em sistema de produção agrícola, possa ser eficiente em melhorar o balanço de carbono em relação ao uso somente de calcário. Com o aumento do pH do solo, ocorre aumento da mineralização do N, aumentando a concentração de nitrato e, no processo de nitrificação/desnitrificação, pode haver produção de N₂O. Além disso, o fluxo de CH₄ no solo está relacionado com os processos microbianos ocorridos em situação de aerobiose ou anaerobiose, no ciclo do C.

Por conseguinte, o trabalho tem como objetivo avaliar a emissão de gases de efeito estufa do solo para a atmosfera, bem como alterações no estoque de carbono no perfil do solo, em função da correção de acidez em sistema de semeadura direta e convencional.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1. Utilização de gesso na agricultura

O gesso é o principal insumo para a correção de solos sódicos ou alcalinos. Porém, é importante salientar que não há substituição do gesso pelo calcário e vice-versa (RAIJ, 2008). Ainda de acordo com o mesmo autor, a aplicação do gesso é baseada no teor de argila do solo e sua solubilidade no solo é superior ao calcário, podendo chegar a 150 vezes maior.

É possível ocorrer confusão quanto à dinâmica do calcário e gesso, na correção do solo, no entanto, deve ficar claro que os dois produtos são muito diferentes. Para Raij (2007), o calcário atua na camada mais superficial do solo e o gesso em profundidade, de maneira que o efeito da calagem é, normalmente, três vezes superior à gessagem, sendo a calagem sempre mais importante.

A possibilidade de o gesso alterar a constituição da solução do solo é, sobretudo, consequência dos incrementos dos teores de Ca e de $S-SO_4^{2-}$, por serem os elementos presentes em maiores proporções nesse produto (32,6% de CaO e 18,7% de S) (RAIJ, 1992).

Conforme Zambrosi et al. (2007), existe alta complexação do carbono orgânico dissolvido no solo com os cátions (Mg^{2+} e Ca^{2+}), quando na utilização de gesso agrícola, mas em maior magnitude para o Ca, refletindo importante participação dos ânions orgânicos na dinâmica desses nutrientes. No que concerne ao sulfato, apesar da

formação dos pares iônicos com Ca, Mg e Al (CaSO_4 , MgSO_4 e AlSO_4^{4+}), houve a predominância da forma livre S-SO_4^{2-} .

Com a aplicação de gesso, a despeito da movimentação de cátions para a subsuperfície e o aumento nos teores de cálcio e de magnésio, ocorre a redução no teor de alumínio tóxico e melhor ambiente do solo para as raízes se desenvolverem principalmente em profundidade (RAIJ, 2008). O aumento da produção via radicular das plantas, através do uso do gesso, favorece o aumento do estoque de C no solo, já que a contribuição do aporte de C pela biomassa da parte aérea à superfície do solo pelas culturas é pequena, se cotejada àquele adicionado pelas raízes (BALESDENT; BALABANE, 1992).

Os efeitos do gesso no solo podem ser observados no ano agrícola de aplicação do gesso (SOUSA; LOBATO, 2004), ocasionando maior aproveitamento nutricional e hídrico e, conseqüentemente, maior produtividade, visto que alguns benefícios do gesso são bem difundidos, porém, ainda há carência de informações quanto à sua utilização junto à calagem, nos processos de liberação de carbono na atmosfera.

Há carências e divergências nos estudos de uso de gesso e produtividade das culturas. Alguns reportam a eficiência do gesso no aumento de produtividade apenas em condições de veranicos (NUERNBERG et al., 2005, CAIRES et al., 2008), enquanto Zadona et al. (2015) identificaram aumentos de produção de soja e milho em períodos regulares de distribuição de chuva, além de melhorias nas propriedades químicas do solo.

4.2 Utilização de silicatos como corretivos da acidez dos solos

De acordo com Prado et al. (2001), as fontes de Si mais indicadas para a agricultura são as escórias siderúrgicas, as quais têm sido usadas em alguns países como Japão e Estados Unidos. No Brasil, as siderúrgicas estão localizadas, em maior proporção, na Região Sudeste, que coincide com a região de maior produção de grãos, portanto, a utilização da escória na agricultura não aumenta significativamente os custos, quando comparada ao calcário, apesar de este ser mais bem distribuído no país.

Essas escórias são constituídas, basicamente, de silicato de cálcio e de magnésio (AMARAL et al., 1994), o que lhes confere propriedade corretiva da acidez do solo semelhante à do calcário (PRADO et al., 2001). Embora o calcário seja

considerado um eficiente corretivo de acidez, sua ação neutralizante não ultrapassa o pH em CaCl_2 de 6,5, devido à redução de sua solubilidade nesse nível de pH, sendo menor que a dos silicatos, sua base (CO_3^{2-}) é mais fraca ($K_{b1} = 2,2 \times 10^{-4}$) que a base dos silicatos (SiO_3^{2-} - ($K_{b1} = 1,6 \times 10^{-3}$), ou seja, apresenta uma liberação mais lenta de hidroxilas para o meio (ALCARDE; RODELLA, 2003).

Conforme observado por Ramos et al. (2006), os silicatos (silicato de Ca, silicato de Ca e Mg e termofosfato) promovem a correção da acidez do solo com maior eficiência que o calcário, até à camada de 0–15cm de profundidade na dose de 500kg ha^{-1} de Ca. A aplicação de silicatos ao solo pode liberar Ca e/ou Mg em solução e ânions (SiO_3^{2-}) (NOLLA, 2004).

O mecanismo de correção da acidez pela escória resulta na formação de SiO_3^{2-} , que reage com a água e libera íons OH^- , os quais neutralizam o Al^{3+} fitotóxico, conforme Alcarde e Rodella (2003). De modo geral, a capacidade corretiva da acidez do solo das escórias é semelhante à do calcário. Entretanto, esses dois tipos de corretivos diferem quanto à superfície específica (área de contato) e quanto ao poder de neutralização (PN).

O poder corretivo das escórias pode ser superior ao do calcário, conforme a maior superfície específica de suas partículas. Quando se aplicam calcário e escória com granulometrias semelhantes (mesma reatividade - Re), no entanto, as escórias são menos eficientes na elevação do pH do solo. Essas pequenas diferenças de eficiência são atribuídas ao valor neutralizante mais baixo da escória (LOUZADA, 1987; PRADO et al., 2001).

Melhorias nos atributos químicos do solo sob utilização do silicato já foram estudados por alguns autores (MELO, 2005; KORNDORFER et al., 2010; SARTO et al., 2014). Além de melhorias nas propriedades químicas do solo, como aumento do pH e dos teores de Ca e Mg, o ânion silicato ainda pode ocupar os sítios de adsorção de fosfatos, favorecendo a disponibilidade de fósforo na solução do solo (LEITE, 1997).

4.3 Aplicação de calagem em solos ácidos

Os solos de regiões tropicais e subtropicais são normalmente ácidos e apresentam altos teores de Al trocável. A aplicação de calagem ainda é a prática mais

adotada para a correção de solos ácidos na agricultura, proporcionando melhorias nas características químicas do solo e ocasionando aumentos de produtividade (ANJOS, 2011).

O carbonato de cálcio do calcário é um sal de baixíssima solubilidade, mas a pequena dissolução que ocorre, liberando gás carbônico, é suficiente para desencadear uma série de reações que resultam na neutralização da acidez do solo (RAIJ, 1991). Por outro lado, a hidrólise do carbonato no solo na presença de umidade é passível de emissão de CO₂ da biosfera para a atmosfera, além da intensificação da atividade microbiana, caracterizada pelo aumento da respiração do solo (FUENTES et al., 2006).

Segundo Mendonça e Rowell (1994), um dos efeitos da calagem e da incorporação de resíduos vegetais é a elevação da atividade biológica no solo, atribuída ao aumento do pH e à disponibilidade de nutrientes e de substratos orgânicos, com consequente aumento da taxa de decomposição da matéria orgânica (MO) nativa ou adicionada. Todavia, sua influência nos estoques de matéria orgânica do solo será dependente do balanço do seu efeito na oxidação microbiana do C orgânico do solo e na adição de resíduos vegetais pelas culturas (BAYER; MIELNICZUK, 1999).

Diferentemente do plantio convencional, no sistema SD, o calcário não pode ser misturado ao solo e sua aplicação é feita na superfície, sem incorporação. Isso cria uma frente de correção da acidez do solo em profundidade proporcional à dose e ao tempo (CASSOL, 1995). Contudo, os aspectos relacionados com a fertilidade do solo, no sistema de semeadura direta, nem sempre são os mesmos aplicados para o sistema convencional de manejo, conforme citado por Wiethölter (1997).

No SSD, devido ao fato de as aplicações dos corretivos serem nas camadas superficiais, o período de máxima reação do calcário nas distintas camadas tende a ser diferente. Todavia, a calagem superficial feita num latossolo de textura média, na região de Ponta Grossa-PR, proporcionou aumentos no pH, Ca, Mg trocáveis, saturação por bases e redução nos teores de H+Al, em todas as profundidades estudadas, inclusive nas camadas de 20-40 e 40-60cm (CAIRES et al., 2000).

A interação entre o alumínio (Al) e a matéria orgânica (MO) envolve reações que influenciam nas propriedades dos solos ácidos (URRUTIA et al., 1995). Desse modo, o aumento dos teores de MO no SSD resultante da imobilização do solo em comparação ao preparo convencional (LOVATO et al., 2004) e a quantidade de Al complexado (Al-MO) tornam-se de acentuada importância, de sorte que a ausência de

resposta das culturas à calagem, nesse caso, tem sido comum (CAIRES et al., 1998, 2006; ALLEONI et al., 2005). Porém, a capacidade de neutralização da acidez do solo por resíduos vegetais depende dos seus teores de cátions e carbono orgânico solúvel em água que, normalmente, são menores nos restos de culturas comerciais, como milho, soja e trigo (ALTMANN, 2010).

4.4 Dinâmica da matéria orgânica do solo

O carbono nada mais é que parte da matéria orgânica decomposta. Dois fatores afetam o estoque de carbono orgânico no solo: a taxa de perdas por erosão e oxidação microbiana e a taxa de adição que depende do manejo e condições edafoclimáticas. Ao se tratar de solos de vegetação natural, o estoque de carbono orgânico é determinado pelas condições climáticas, pois afetam naturalmente as perdas (BALESDENT et al., 2000). Entretanto, a contribuição do aumento de CO₂ na atmosfera tem intensificado o chamado efeito estufa.

Dependendo do uso e manejo, o solo pode atuar como um emissor de CO₂ para a atmosfera ou como dreno pelo acúmulo de carbono na forma de MO. Contudo, o efeito diferenciado do manejo nos estoques de matéria orgânica em solos com diferente textura e mineralogia decorre da sua influência na agregação. Sistemas de manejo visando à adição de resíduos e estoque de carbono no solo colaboram para a mitigação do aquecimento global, enquanto práticas aliadas à mobilização do solo aumentam a emissão de CO₂ (SÁ et al., 2001; COSTA et al., 2008). A adição de C e N ao sistema, desconsiderando o preparo do solo, é influenciada por todos os fatores determinantes da produtividade das culturas.

As transformações de carbono do solo compreendem essencialmente duas fases: fase de fixação de CO₂ e fase de regeneração. A fase de fixação é realizada por organismos fotossintéticos, plantas, algas, bactérias autotóxicas e, conseqüentemente, compostos de carbono são retornados ao solo na forma de resíduos. A fase de regeneração se refere às diferentes etapas de decomposição/mineralização das substâncias (ROSCOE et al., 2006).

Acrescentam os mesmos autores que as diferentes frações de carbono orgânico total do solo (COT) apresentam características químicas, físicas e morfológicas distintas, e sua distribuição pode indicar a qualidade da matéria orgânica. O

acúmulo de frações lábeis contribui relativamente mais para a atividade biológica, fornecimento de nutrientes e macroagregação. Por outro lado, o acúmulo de frações estáveis (não lábeis) determina efeitos positivos, principalmente em propriedades físico-químicas do solo, como, por exemplo, capacidade de troca de cátions e ponto de carga zero.

O carbono na biomassa microbiana e a análise de fracionamento físico são empregados para examinar os diferentes manejos de solo. Em algumas situações, a análise apenas de COT pode ser um indicador sensível para a diferenciação entre os sistemas de manejo (SILVA et al., 2011)

De acordo com Balota et al. (1998), a biomassa microbiana do solo é considerada a parte viva e mais ativa da MOS, representando em média 2-5% do C orgânico, além de ser tida como fonte e dreno de nutrientes. Portanto, a qualidade e a quantidade de resíduos adicionados ao sistema têm relação direta com essa variável. Esta controla a decomposição e o acúmulo de MO no ambiente e é afetada por condições edafoclimáticas.

Grande parte dos estudos observa apenas o COT, de maneira que, em espaço relativamente estreito de adoção do manejo, se torna difícil detectar a influência do sistema em estudo. A fração lábil obtida no fracionamento físico visa ao C desprotegido no solo e são disponibilizadas às plantas, na forma de nutrientes, podendo ser correlacionada com a maior emissão de CO₂, enquanto o aumento do carbono na fração não lábil (protegida pelos minerais) é importante no sequestro de C-atmosférico (SILVA; MENDONÇA, 2007).

Práticas de manejos que objetivam o acúmulo de matéria orgânica no solo, como as de sistemas conservacionistas, são extremamente importantes para minimizar a emissão de CO₂ para a atmosfera, entre outros efeitos (MIELNICZUK, 1999).

4.5 Sequestro de carbono e emissão de gases de efeito estufa na agricultura

O solo é um sistema aberto, com permanente troca de matéria e energia com o meio (ADDISCOTT, 1995), e complexo, em virtude de uma ampla rede de relações entre os subsistemas que o compõem, representados pelos vegetais, organismos (macro e microrganismos) e matéria mineral. Os vegetais são os principais responsáveis pela adição ao solo de compostos orgânicos primários sintetizados no processo de

fotossíntese, utilizando energia solar, CO₂ do ar, água e nutrientes do solo (VEZZANI, 2001).

Estima-se que a agricultura seja responsável por 23% das emissões de GEE de origem antrópica, oriundas de práticas agrícolas (15%) e de mudança do uso das terras (8%) (IPCC, 2007). No Brasil, calcula-se que a agricultura responda por 75% do CO₂ e 90% da emissão anual de CH₄ e N₂O (EMBRAPA - CNPMA, 2006).

O sequestro de C pelo solo permite a formação de um novo estado de equilíbrio, e é determinado por: (i) microclima, (ii) propriedades físico-químicas, (iii) propriedades biológicas, (iv) uso do solo e (v) práticas de manejo predominantes. Esse novo equilíbrio pode ser similar, menor ou maior que o equilíbrio pré-distúrbio (USSIRI; LAL, 2005; SU et al., 2010).

De acordo com Cerri et al. (2007), uma parte considerável do C orgânico total no solo encontra-se na forma de matéria orgânica. Contudo, o material orgânico no solo é facilmente decomposto, quando se realizam práticas de manejo com revolvimento de solo, causando agravamento no efeito estufa, devido à liberação de GEEs, como CO₂, CH₄ e N₂O.

Com o acúmulo de matéria orgânica no solo, há ativação de diversos processos que atuam na agregação do solo, no aumento da capacidade de retenção de cátions, no estoque de nutrientes, na adsorção e complexação de compostos, na ciclagem de elementos químicos, no sequestro de carbono atmosférico e na atividade biológica do solo (MIELNICZUK et al., 2003; MARTORANO et al, 2009; CARVALHO et al., 2010). Os organismos, por exemplo, com destaque aos microrganismos heterotróficos, obtêm energia para o seu desenvolvimento pela decomposição de resíduos vegetais e da matéria orgânica do solo, liberando CO₂ para atmosfera, nutrientes e uma gama de compostos orgânicos secundários oriundos do metabolismo microbiano, os quais passam a compor a matéria orgânica do solo (VEZZANI, 2001).

No entanto, o fluxo de N₂O e CH₄ no solo está relacionado com os processos microbianos ocorridos em situação de aerobiose ou anaerobiose no ciclo do C (WUEBBLER; HAYHOE, 2002). O aumento da concentração de CO₂ nos espaços porosos do solo pode ocasionar a formação de microssítios anaeróbios, os quais modificam as condições edáficas para o desenvolvimento dos microrganismos. De acordo com Glastel e Stahr (2001), para que ocorra a emissão de CH₄ no solo, não é necessário ambiente anaeróbio em todo o solo, mas apenas em pequenos sítios, como nos espaços livres entre

os agregados. Com isso, as condições de aeração do solo em diferentes sistemas de preparo e uso podem exercer grande influência para o solo ser fonte ou dreno de CH_4 para a atmosfera. Já as emissões de $\text{N-N}_2\text{O}$ acontecem em condições de anaerobiose, em que o N mineralizado por desnitrificação é reduzido (CARMO et al., 2005).

A atividade agrícola vem sendo cada vez mais intensificada, devido à crescente demanda mundial de alimentos, tornando-se necessária a aplicação da calagem, com a finalidade de neutralizar a acidificação dos solos produtivos (FISHER et al., 2003). A liberação química de CO_2 pela prática da calagem tem sido reconhecida por contribuir significativamente para o efeito estufa (ROBERTSON et al., 2001). Por outro lado, o uso do calcário pode fornecer uma opção para a mitigação das emissões de N_2O dos solos agrícolas, quando o teor de umidade do solo é mantido na capacidade de campo, uma vez que o pH do solo tem um efeito potencial sobre as vias de produção de N_2O e a redução de N_2O para N_2 , conforme citado por Fageria e Baligar (2008).

As emissões de N_2O são, geralmente, maiores em solos manejados sob semeadura direta em relação aos manejados sob preparo convencional (PAVEI, 2005; GOMES, 2006), em face sobretudo da maior densidade do solo, reduzindo a difusão de O_2 e estando associada diretamente com a fertilização nitrogenada. Enquanto uma maior emissão de CH_4 foi observada em lavouras de arroz irrigado em sistema de preparo convencional de solo, quando comparado ao sistema de semeadura direta (COSTA et al., 2007), este é dependente da atividade de organismos metanogênicos (GARRITY et al., 2007), que, em condições restritas de oxigenação, reduzem compostos orgânicos, usando o C como acceptor de elétrons.

Para o IPCC (2007), as mudanças climáticas devido ao aumento da emissão de gases pelas atividades antrópicas causam modificações no regime hídrico e na temperatura global, influenciando diretamente a produtividade das culturas. Simulações sugerem que, nas regiões de clima tropical, haverá reduções mais acentuadas na produção agrícola. No entanto, algumas pesquisas têm mostrado que o aumento da concentração de CO_2 na atmosfera não é totalmente nocivo para algumas plantas cultivadas (SIQUEIRA et al., 2001; STRECK, 2005). Simulações indicam que um aumento médio na temperatura de 3 a 5°C e na precipitação pluvial de 11 % pode resultar em redução na ordem de 30 e 16 % sobre as produções de trigo e de milho, respectivamente. Por outro lado, quando se avaliou a cultura da soja, foi observado aumento de 21 % na produção (SIQUEIRA et al., 2001).

Dependendo da magnitude do fluxo de carbono propiciado pelo subsistema vegetal, ocorrerá maior ou menor atividade biológica, produção de compostos orgânicos secundários, agregação do solo e aparecimento de outras propriedades emergentes do sistema solo. No geral, as propriedades emergentes do ciclo do C no solo (teor de matéria orgânica, agregação, porosidade, infiltração de água, retenção de água, aeração, CTC, balanço de N, dentre outras) melhoram a qualidade do solo (BREEMER, 1993; VEZZANI, 2001).

A sucessão tremoço azul/milho destaca-se pela capacidade de promover acúmulo de carbono orgânico no solo. A quantidade de carbono orgânico acumulado no solo depende fundamentalmente da quantidade de massa seca produzida pelos sistemas de culturas (GONÇALVEZ; CERETTA, 1999). Já o SSD aumenta o COS (carbono orgânico do solo) em 1,08 vezes, quando comparado à vegetação nativa, entretanto, o cultivo convencional tem efeito negativo no estoque de C, quando comparado à semeadura direta (MAIA et al., 2010).

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Caracterização do solo

O solo das áreas experimentais é classificado como Latossolo Vermelho distroférrico (EMBRAPA, 1999), de textura média-argilosa, com relevo suave a ondulado e drenagem regular. A área experimental se encontrava em pousio desde 2002, e foi anteriormente cultivada sem preparo do solo, por isto o baixo valor de pH, conforme a tabela 1.

Antes da aplicação dos tratamentos, foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,4, 0,4-0,6, 0,6-0,8 e 0,8-1 m em vinte pontos aleatórios dentro de cada área experimental, compondo uma amostra. As determinações laboratoriais seguiram a metodologia de Raij et al. (2001), EMBRAPA (1997), Swift, (1996) e Cambardella e Elliot (1992) para as respectivas análises de fertilidade, físicas (densidade, porosidade total, macroporosidade e microporosidade), granulométricas e fracionamento da matéria orgânica (Tabelas 1, 2, 3 e 4).

Tabela 1: Características químicas do solo da área experimental do sistema de semeadura direta e sistema convencional, antes da instalação dos tratamentos (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 direto										
0-0,1	3,7	43	14	12	3,4	1,8	85	17,3	102	19
0,1-0,2	3,2	31	13	3	0,6	1,1	123	4,1	127	3
0,2-0,4	3,1	28	11	3	0,6	1,0	144	4,7	149	3
0,4-0,6	3,5	29	10	8	1,0	0,5	142	9,7	152	8
0,6-0,8	3,4	31	10	14	1,1	0,3	123	12,7	136	12
0,8-1,0	3,4	31	11	17	1,0	0,2	153	18,1	191	11
Sistema convencional										
0-0,1	3,8	37	14	12	3,8	1,6	71	16,9	88	20
0,1-0,2	3,5	29	10	6	1,4	0,6	95	8,1	103	3
0,2-0,4	3,1	24	5	3	0,3	0,4	82	4,1	86	5
0,4-0,6	3,0	23	4	8	0,3	0,7	127	9,5	137	6
0,6-0,8	3,2	25	4	4	0,4	0,3	135	4,4	139	3
0,8-1,0	3,0	26	4	4	0,6	0,2	125	5,1	131	4

Tabela 2: Teores de micronutrientes no solo da área experimental do sistema de semeadura direta e sistema convencional, antes da instalação dos tratamentos (julho, 2012).

Profundidade	Cu	Zn	Mn	Fe
m	mg dm ⁻³			
Sistema direto				
0-0,1	5,6	2,2	4,0	44
0,1-0,2	6,0	1,8	3,2	26
0,2-0,4	6,4	1,8	2,9	17
0,4-0,6	6,2	1,8	2,1	16
0,6-0,8	5,6	1,8	1,8	14
0,8-1,0	5,2	1,8	1,7	13
Sistema convencional				
0-0,1	5,0	1,7	4,4	31
0,1-0,2	5,5	1,7	3,6	23
0,2-0,4	5,5	1,7	3,9	15
0,4-0,6	5,7	1,7	3,3	11
0,6-0,8	5,3	1,7	2,9	13
0,8-1,0	4,9	1,6	2,5	11

Tabela 3: Carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP) e carbono orgânico associado aos minerais (COAm) no solo, antes da aplicação dos tratamentos (julho, 2012).

Profundidade m	COT -----	COP g kg ⁻¹ -----	COAm
Sistema direto			
0-0,1	25,0	4,5	20,5
0,1-0,2	18,2	1,9	16,4
0,2-0,4	16,3	1,5	14,8
0,4-0,6	16,9	1,5	15,4
0,6-0,8	18,1	1,9	16,2
0,8-1,0	18,1	1,7	16,4
Sistema convencional			
0-0,1	24,6	4,4	20,3
0,1-0,2	17,1	1,7	15,4
0,2-0,4	14,2	1,5	12,7
0,4-0,6	13,9	1,4	12,4
0,6-0,8	15,0	1,9	13,1
0,8-1,0	15,2	2,1	13,2

5.2 Caracterização climática

O experimento foi localizado à latitude de 22°51' S, longitude de 48°26' W Grw e altitude de 740m, em um clima que, baseado no sistema de classificação de Wilhelm Koppen, é do tipo Cwa. No primeiro ano do ensaio, a temperatura média do mês mais quente foi superior a 29,9°C e a do mês mais frio, inferior a 12,0°C, com precipitação pluvial anual de 1898 mm. Já no segundo ano, a temperatura média do mês mais quente foi superior a 31,0°C e a do mês mais frio, inferior a 12,0°C, com precipitação pluvial anual de 796 mm. Os dados referentes ao clima da região do primeiro e segundo ano (Figura 1) foram obtidos junto à Estação Meteorológica da Faculdade de Ciências Agronômicas, a 3 km da área experimental, e se encontram relacionados ao período de condução do ensaio (julho de 2012 a julho de 2014).

Tabela 4: Características físicas, granulométricas, relação C/N e estoque de carbono e nitrogênio no solo da área experimental do sistema de semeadura direta e sistema convencional (julho, 2012).

Profundidade m	Densidade kg dm ⁻³	Estoque de C Mg ha ⁻¹	Estoque de N Mg ha ⁻¹	Relação C/N	Macro %	Micro %	Porosidade total %
Sistema direto							
0-0,1	1,3	31,7	2,7	11,5	21,1	27,4	48,4
0,1-0,2	1,4	25,3	2,1	12,2	17,2	28,7	45,9
0,2-0,4	1,3	22,0	1,7	12,6	15,0	31,2	46,3
0,4-0,6	1,2	20,1	1,3	15,3	21,0	29,1	50,1
0,6-0,8	1,2	22,1	1,5	15,0	18,0	32,6	50,6
0,8-1,0	1,2	21,5	1,4	15,6	16,7	32,8	49,3
Sistema Convencional							
0-0,1	1,2	30,0	2,3	11,2	25,2	26,3	51,5
0,1-0,2	1,4	24,3	2,1	11,3	12,1	31,2	43,3
0,2-0,4	1,5	20,7	1,7	11,9	12,7	27,8	40,5
0,4-0,6	1,3	18,0	1,6	11,3	12,3	34,5	46,7
0,6-0,8	1,3	19,4	1,6	12,1	14,3	33,7	48,1
0,8-1,0	1,3	19,2	1,5	12,9	11,9	32,9	44,8
Características granulométricas							
Profundidade m	Areia		Silte		Argila	Textura	
			g kg ⁻¹				
0-0,1	578		92		330	Méd Arg.	
0,1-0,2	587		78		335	Méd Arg.	
0,2-0,4	584		47		369	Méd Arg.	
0,4-0,6	531		58		411	Méd Arg.	
0,6-0,8	568		52		380	Méd Arg.	
0,8-1,0	537		58		405	Méd Arg.	

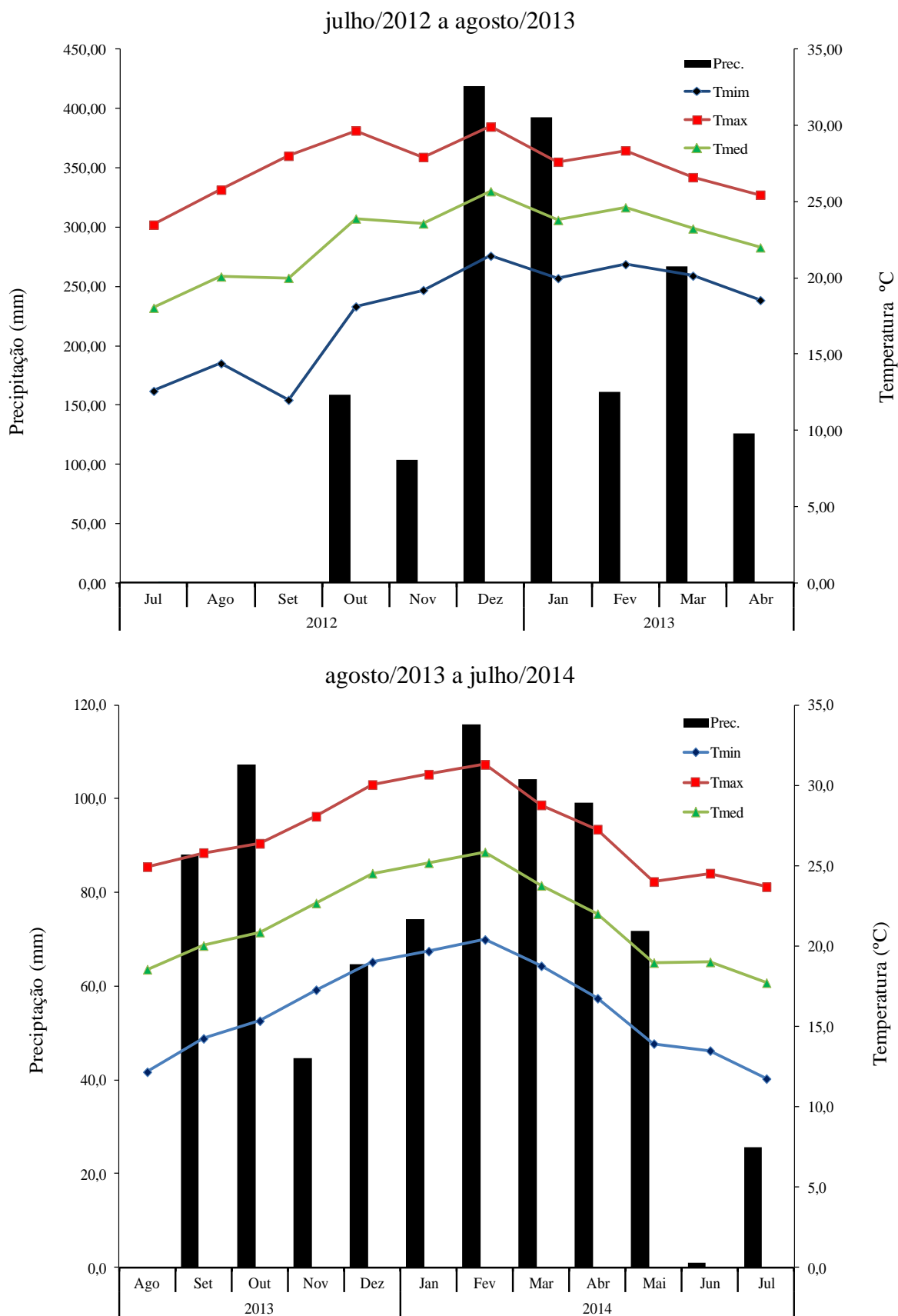


Figura 1: Temperatura média, mínima, máxima e precipitação mensal referente ao primeiro e segundo ano do ensaio (julho/2012 a julho/2014).

5.3 Tratamentos e delineamento experimental

Foram conduzidos dois experimentos pareados, um em semeadura direta e outro em sistema convencional, tendo como cultura de verão a soja e safrinha, com consórcio milho + braquiária, no primeiro ano, e milheto + braquiária, no segundo ano. Os tratamentos culturais foram realizados conforme a necessidade das culturas. Os tratamentos constituíram-se de testemunha, aplicação de calcário, silicato, gesso + silicato e gesso + calcário. As doses de corretivos foram calculadas para elevar a saturação por bases a 70%, e, para o gesso, foi considerado o teor de argila do solo multiplicado por 6 (RAIJ et al., 1997), tendo como base de recomendação o resultado da análise de solo de 0 a 20 cm. Foram aplicadas as doses de 3,7 Mg ha⁻¹ de calcário, 6,7 Mg ha⁻¹ de silicato e 2,0 Mg ha⁻¹ de gesso agrícola. Os resultados das análises do gesso e dos corretivos de acidez utilizados se encontram na Tabela 5. Cada experimento foi avaliado separadamente. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com quatro repetições.

Tabela 5: Composição dos corretivos e gesso agrícola utilizado no experimento.

Produtos	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	S	Na	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Si
	g kg ⁻¹											
Calcário	0,0	1,0	251	178	6,5	0,5	0,04	0,4	1,3	0,3	0,01	21
Silicato	6,0	3,0	233	36	1,0	0,6	0,02	0,0	116	7,1	0,05	68
Gesso	8,5	0,7	189	10	140	0,2	0,02	0,1	2,0	0,2	0,02	21
	% Passante					%						
	Pen10	Pen20	Pen50	CaO	MgO	RE	PN	PRNT				
Calcário	100,0	100,0	100,0	35,1	29,5	100,0	109	109				
Silicato	99,8	84,3	60,9	32,7	6,0	78,0	77	60				

5.4 Instalação e condução do experimento

No experimento em semeadura direta, os corretivos foram aplicados na superfície, sobre a palha, e no experimento em sistema convencional, os corretivos foram aplicados e incorporados com grade intermediária, até aproximadamente 20 cm de profundidade. Ressalta-se que houve emprego da grade intermediária em julho (2012), na aplicação dos tratamentos (outubro de 2012), repetindo-se no segundo ano, em outubro, antes da semeadura da soja (2013). Para estimativa de massa de matéria seca e quantidades de carbono e nitrogênio, antes do preparo da área (julho 2012), foram

coletadas amostras de palha presentes na superfície do solo em 10 pontos aleatórios, com o auxílio de um quadrado 0,5 m x 0,5 m (Tabela 6).

Os corretivos foram aplicados 30 dias antes da semeadura da primeira safra de soja. Cada unidade experimental foi composta por 7,0 m de comprimento e 2,25 m de largura, com 5 linhas das respectivas culturas. Como áreas úteis, foram usadas as três linhas centrais, tanto da soja como do milho, espaçadas a 0,45 m, sendo eliminado, a título de bordadura, 1 m de cada extremidade.

Tabela 6: Massa de matéria seca e quantidades de carbono, nitrogênio e relação C/N antes da instalação do experimento na palhada da superfície do solo (julho, 2012).

Carbono	Nitrogênio	Relação C/N kg ha ⁻¹	Massa de matéria seca
		Sistema direto	
284,59	9,5	29,9	7623,7
		Sistema convencional	
271,59	9,4	28,9	6805,5

5.5 Semeadura e cultivo da soja

No dia 13 de novembro de 2012, foi semeada a cultivar de soja com hábito de crescimento indeterminado, Monsoy M7211 RR, e no dia 13 de novembro de 2013, a Brasmax BMX POTÊNCIA RR, com semeadura - adubadora Semeato® (Personale-Drill) de fluxo contínuo, no espaçamento de 0,45 m, com população de semeadura de 380 mil sementes ha⁻¹. As sementes foram tratadas com fungicida Carboxin+Thiran, inoculante Bradyrhizobium SP e COMO (cobalto e molibdenio) conforme dose comercial recomendada, e semeadas a 3 cm de profundidade. Para a adubação de semeadura, utilizaram-se 375 kg ha⁻¹ do formulado 02-20-20 por ano.

Na safra 2012/2013, aos 35 dias após a emergência (DAE), em 18/12/2012, foi realizado o controle de plantas daninhas com o herbicida Glyphosate. Foram feitas 5 aplicações por meio dos inseticidas Tiamexotam, Metamidofós e Acefato, nos dias 18/12/2012, 14/01/2013, 15/02/2013, 21/02/2013, 27/02/2013. Em três dessas aplicações, foram empregados fungicidas Pyraclostrobin + Epoxiconazol, Azoxystrobin + Cyproconazol e Pyraclostrobin + Epoxiconazol, respectivamente. A colheita se deu em 25/03/2013. As amostras foram trilhadas mecanicamente. O teor de umidade foi ajustado para 13% e os valores convertidos em kg ha⁻¹.

Já na safra 2013/2014, a aplicação de herbicida Glyphosate para controle de plantas daninhas aconteceu aos 50 dias após a emergência. Foram realizadas 6 aplicações, por meio dos inseticidas Tiamexotam, Metamidofós e Acefato, nos dias 09/01/2014, 22/01/2014, 05/02/2014, 21/02/2014, 05/03/2014, 19/03/2014. Em cinco dessas aplicações, utilizaram-se fungicidas Pyraclostrobin + Epoxiconazol, Azoxystrobin + Cyproconazol e Pyraclostrobin + Epoxiconazol, respectivamente. A colheita foi feita em 27/03/2014 no estágio R₈, referente à de maturação plena das vagens. As amostras foram trilhadas mecanicamente. O teor de umidade foi ajustado para 13% e os valores convertidos em kg ha⁻¹.

5.6 Semeadura e cultivo do milho + braquiária e milheto + braquiária

A semeadura de milho + braquiária como alternativa de cultivo de segunda safra, visando à produção de grãos e palhada no sistema, foi feita em 05/04/2013, junto à adubação com 290 kg ha⁻¹ da fórmula 8-28-16. As sementes de milho cv. 2B655HX foram tratadas com TIAMETOXAN e CARBOXINA+TIRAM, de acordo com as respectivas doses comerciais e semeadas a 3 cm de profundidade, espaçadas a 0,45 m, em uma população de 5 pl/m. A *Urochloa ruziziensis* foi implantada na forma consorciada e semeada juntamente com o milho, porém, na caixa de fertilizante da semeadora misturada ao mesmo. A densidade de semeadura foi de 6 kg ha⁻¹ (VC = 80%), com o objetivo de semear 4,8 kg de sementes puras viáveis por hectare, na profundidade de 5cm, no mesmo espaçamento da cultura do milho - 0,45 m.

Houve aplicação de 100 kg ha⁻¹ de nitrogênio, como cobertura, na linha de semeadura do milho, na forma de ureia, em 05/05/2013.

Aos 35 dias após a semeadura, foi feita aplicação de herbicida ATRAZINA e inseticida TIAMETOXAN. Aos 06/06/2013, a fim de controlar o desenvolvimento da braquiária, aplicou-se NICOSULFUROM em uma dosagem de 5g i.a por hectare. Devido às condições de umidade e temperatura consideradas razoavelmente satisfatórias à braquiária, esta se desenvolveu muito rápido, tornando-se competitiva com a cultura do milho.

A colheita foi realizada em 23/08/2013. O teor de umidade foi ajustado para 13% e os valores convertidos em kg ha⁻¹.

Em função de a colheita do cultivo da cultura principal ter ocorrido em abril de 2014, época considerada tardia para a semeadura do milho, e o milho ter apresentado baixo desempenho produtivo, no primeiro ano (2013), optou-se, para a produção de biomassa no sistema, pelo cultivo de milho + braquiária na safrinha (2014), junto à adubação de semeadura com 290 kg ha⁻¹ da fórmula 8-28-16. A cultura foi conduzida até a maturação fisiológica. No final da maturação fisiológica (julho, 2014), foi determinada a massa de matéria seca na área e teor de carbono e nitrogênio. Não houve utilização de produtos químicos.

5.7 Coleta, preparo e análise das amostras

5.7.1 Solo

Amostras deformadas e indeformadas de solo das duas áreas experimentais foram coletadas nas camadas de 0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,4 e 0,4-0,6 m, logo antes da semeadura da soja, nos anos 2012 e 2013 (novembro). Ressalta-se que, no ano de 2013, amostras de solo deformadas e indeformadas foram coletadas até 1m de profundidade, para a estimativa do estoque de carbono. Consideraram-se 4 subamostras por parcela, aleatoriamente, para compor uma amostra deformada e 2 anéis por profundidade para compor uma amostra indeformada. As amostras deformadas foram coletadas com trado tipo caneca, secadas em estufa a 40°C, passadas em peneira de 2 mm e condicionadas em sacos de papel, para posterior análise.

As amostras de solo foram analisadas conforme metodologia proposta por Rajj et al. (2001), para fins de fertilidade. O carbono orgânico total do solo foi determinado por meio de analisador elementar automático (SWIFT, 1996).

Também foi efetuado o fracionamento físico da matéria orgânica (MO) segundo Cambardella e Elliot (1992). Amostras de solo com 10 gramas e 30 mL de solução de hexametáfosfato de sódio (5 g L⁻¹) foram agitadas, durante 15 horas, em agitador horizontal. A seguir, a suspensão foi passada em peneira de 53 µm, com auxílio de jato de água. O material retido na peneira, o qual consiste na MO particulada (COP), foi secado em estufa a 50°C, quantificado em relação a sua massa e moído em gral de porcelana, para posterior análise quanto à quantidade de C orgânico. O estoque de C na MO associada aos minerais (COAms) foi calculado pela diferença entre os estoques de C na MO total e na MO particulada (>53 µm).

A densidade do solo foi determinada mediante a coleta de amostras indeformadas em anéis volumétricos metálicos de 5 cm de altura por 4,8 cm de diâmetro, no solo, nas mesmas profundidades indicadas para coleta de solo com trado. Para coleta destas, foram abertas trincheiras com dimensões aproximadas de 80 cm de largura e 150 cm de comprimento. Os valores de densidade de solo foram usados no cálculo dos estoques de C no solo (Mg ha^{-1}), nas diferentes camadas, onde: $\text{Estoque C} = \text{Teor de C (g kg}^{-1}) \times \text{Densidade do solo (kg cm}^{-3}) \times \text{espessura da camada (cm)}$ (SILVA et al., 2004; MACHADO, 2005; JANZEN, 2005).

Com os resultados de estoque de C iniciais e finais do experimento, foi possível determinar a capacidade dos manejos em sequestrar C na matéria orgânica do solo, em curto período de tempo.

5.7.2 Planta

O aporte de resíduos orgânicos presentes na superfície do solo foi quantificado no final do ciclo de cada cultura, com o auxílio de um quadrado de 0,5 x 0,5 m em quatro repetições por parcela, para determinação de massa de matéria seca e, por fim, estimado o acúmulo de carbono em toneladas por hectare. Após secagem em estufa e obtenção de peso constante da amostra, parte do material foi devolvido a campo e outra parte foi moída em moinhos elétricos tipo “Willey”, com malha de 1mm, sendo analisado o teor de carbono e nitrogênio.

No estágio de florescimento das culturas da soja e milho, foram coletadas 30 folhas para a diagnose foliar. Na cultura da soja, foram coletadas as terceiras folhas completamente desenvolvidas a partir do ápice da haste principal para a base, enquanto, na cultura do milho, foram coletadas folhas abaixo da espiga, aleatoriamente na parcela. Em ambos os períodos de coleta das folhas, estas foram secas em estufa de aeração forçada a 50°C por 72h e moídas para análise química e determinação dos teores de macro e micronutrientes, segundo metodologia de Malavolta et al. (1997).

No estágio de maturação fisiológica das culturas (soja, milho e milheto), foram coletadas, com trado tipo caneca com 5 cm de diâmetro, três subamostras de solo na linha de semeadura da soja e três subamostras na entrelinha, as quais foram combinadas em uma amostra da linha e uma da entrelinha de cada parcela, para a quantificação do sistema radicular nas profundidades de 0-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m. Essas amostras de solo foram peneiradas e separadas das raízes, através de

lavagem com água. As raízes foram secadas, pesadas, moídas e, na sequência, determinados os teores de carbono e nitrogênio.

No final do ciclo de cada cultura, além da determinação de produtividade, também foram analisados, nos grãos, o teor de C e N, para o cálculo da estimativa de estoque e exportação de carbono e nitrogênio do sistema. Ressalta-se que, em todas as análises de nitrogênio e carbono de plantas e solo do projeto, empregou-se o Analisador Elementar Automático (LECOTruSpec® CHNS).

5.7.3 Gases - CH₄, CO₂ e N₂O

As amostragens de gases provenientes do solo foram colhidas após a aplicação dos tratamentos (outubro-2012), aos 1, 3, 5, 7, 14, 17, 21, 28 e 35 dias. Depois de semeada a soja (novembro, 2012), iniciaram-se novamente as amostragens, aos 1, 3, 5, 7, 14, 21, 28 e 35, e a cada 15 dias, até o próximo evento (colheita e semeadura do milho + braquiária). Ressalta-se que, no milho + braquiária, após a aplicação de cobertura de nitrogênio, o ciclo de avaliações começou novamente. O segundo ano do ensaio se iniciou com o preparo da área (outubro, 2013), semeadura da soja (novembro, 2013) e semeadura do milheto (abril, 2014). As avaliações seguiram o mesmo padrão de amostragem do primeiro ano até o final do experimento (julho, 2014).

Para a coleta dos gases, foram utilizadas câmaras (BOWDEN et al., 1990) instaladas em cada parcela, nas duas áreas experimentais, com duas repetições por parcela, sendo uma na linha e outra na entrelinha da cultura em cultivo, a fim de diminuir a variabilidade dos valores das emissões, em um total de 40 câmaras por área.

As câmaras para determinação do fluxo de CO₂, N₂O e CH₄ foram sempre instaladas logo após algum manejo do solo (mesmo dia), enterrando-se a borda inferior a 3cm de profundidade. O modelo esquemático das câmaras se encontra na Figura 2. A perturbação do solo causada pela instalação das câmaras promove um pico de emissão de gases, portanto, as amostragens de gases tiveram início somente 24 horas após instalação. As câmaras permaneceram na área até a última amostragem de cada época de avaliação, sendo manejadas apenas na troca de algum evento.

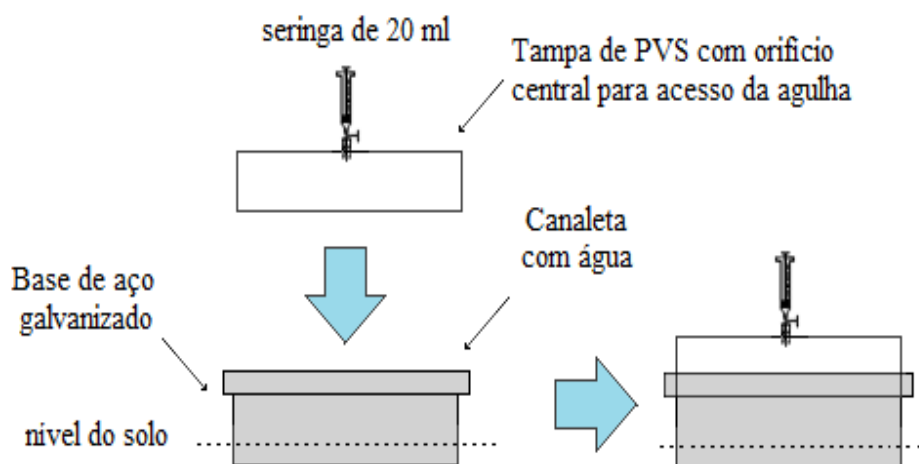


Figura 2: Esquema de montagem das câmaras estáticas para coleta das amostras de gases do efeito estufa. Fonte: Rigon, (2013).

Os gases foram coletados com período de incubação de 0, 10, 20 e 40 minutos após o fechamento das câmaras, com seringas de nylon de 20 mL (BOWDEN et al., 1990) e condicionadas em ambiente “fresco”. Para a coleta, o embolo da seringa de 20ml foi acionado três vezes, a torneira de 3 vias foi fechada e a amostra encaminhada para o laboratório. Em laboratório, as amostras foram posteriormente analisadas por cromatografia gasosa (Shimadzu® - GC 2014, modelo “Greenhouse”, com fonte selada de Ni63.). No decorrer das coletas, foi medida a temperatura do solo, assim como a umidade do solo próximo às câmaras de coleta, na profundidade de 0 a 5 cm, em cada parcela e em cada dia de coleta, por meio do equipamento Procheck Soil Moisture e sensor 5TM (Decagon Devices), visto que esse sensor está calibrado para emitir valores de umidade volumétrica ($m^{-3} m^{-3}$). No total, ocorreram 80 amostragens de gás e 25.600 seringas foram analisadas em 666 dias (aproximadamente 22 meses).

As coletas das amostras de emissão de gases aconteceram sempre no mesmo horário, no período da manhã, entre 7 e 11 horas, com posterior coleta do sistema direto e sistema convencional, sempre nessa ordem. As épocas de amostragens foram referências em função da data de semeadura das culturas, e levaram em consideração os resultados obtidos por La Scala Junior et al. (2009) e Teixeira et al. (2010).

Os fluxos dos gases foram calculados de acordo com Steudler et al. (1989), através dos valores de concentração dos gases em cada tempo de incubação de ar, no interior da câmara, ajustando-se regressões lineares e, em seguida, calculando-se o fluxo de emissão dos gases, pela equação 1, proposta por Jantalia et al. (2008).

$$\text{Equação 1} \quad f = \frac{\Delta C}{\Delta t} \times \frac{v}{a} \times \frac{m}{Vm}$$

onde:

ΔC e Δt correspondem ao coeficiente angular da equação de reta ajustada;

v: volume (0,012716 m³)

a: área da câmara (0,07065 m²).

m: massa molar do gás (CO₂, CH₄, N₂O são: 44,01; 16,042 e 44,0128 g mol⁻¹, respectivamente).

Vm: volume molar. (equação do gás ideal abaixo - Equação 2)

$$\text{Equação 2} \quad f = P \times V = \eta \times R \times T$$

onde:

P e V correspondem à pressão e o volume, respectivamente;

η , R e T correspondem a mols do gás, à constante universal dos gases e à temperatura do ar a 5cm.

A partir dos fluxos de gases, foi determinada a emissão relativa (diária), a qual foi calculada sobre a média das coletas e a emissão acumulada (período). As emissões acumuladas de gases do solo, ao longo dos 35 dias e 22 meses de experimentação, foram calculadas pelo método integrado, por meio da área abaixo das curvas de emissões, utilizando-se o *software* Origin Pro8.

5.8 Balanço de carbono no sistema

O balanço de carbono nos dois sistemas de cultivo foi determinado tendo-se em vista o trabalho de Costa et al. (2008); no final do experimento, os valores das emissões de gases foram transformados em C-CO₂ equivalentes por unidade de C nos resíduos vegetais e no solo e apresentados como índice de conservação de C no solo (ICC), expresso na equação 3.

$$\text{Equação 3} \quad \text{ICC} = \frac{\text{C-CO}_2}{\text{C resíduo} + \text{C solo}}$$

Além disso, a partir dos resultados de estoque de C do início do experimento, menos os resultados da segunda amostragem de solo, foi calculado o aporte líquido de C no solo, dentro de cada sistema, considerando-se até 1 metro de profundidade.

5.9. Análise estatística

A avaliação e a análise dos experimentos foram separadas. Os dados foram manipulados, considerando-se os fatores tratamentos e blocos. Todas as variáveis foram submetidas à análise de variância, para verificar a existência de diferença significativa entre os tratamentos; quando encontrada, foi aplicado o teste t (DMS) a 5% de probabilidade de erro, para diferenciação das médias. Em relação ao solo, foi analisada separadamente cada profundidade amostrada.

Para as variáveis de fluxo de gases, umidade e temperatura do solo, foi aplicada a análise de correlação linear para determinação do grau de relacionamento e a estatística descritiva, a fim de se obter a frequência (média, mediana, desvio-padrão, coeficiente de variação, valor mínimo e máximo) e a distribuição (curtose e assimetria).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Fertilidade do solo

O efeito da aplicação de corretivos nos atributos químicos do solo foi aumentado dos 30 dias até um ano após a aplicação dos tratamentos, dentro de cada sistema de manejo, e estão apresentados nas Figuras de 3 a 15.

Os corretivos foram eficientes no aumento do pH do solo, nos dois sistemas de manejo, diferindo da testemunha na camada de 0-0,1m, exceto aos 30 dias no SD, no qual não houve diferença entre tratamentos (Figura 3). O preparo do solo contribuiu para a reação dos corretivos e neutralização da acidez, fato observado nos maiores valores de pH até 12 meses após a aplicação dos tratamentos, sendo o efeito restrito à camada superficial de solo (Figura 3). A aplicação superficial dos corretivos no SD diminui o contato entre as partículas solo-produto, fazendo com que as reações sejam diminuídas comparativamente ao SC (CASSOL, 1995; CIOTTA et al., 2002).

Ainda conforme a Figura 3, o pH do solo, em ambos os sistemas, foram constantes no perfil, com alterações apenas superficiais em relação a aplicação dos tratamentos. A acidificação em SD de cultivo provavelmente está relacionada com o aumento da concentração eletrolítica, evidenciado pela maior acidez potencial (Figura 4).

O emprego de silicato não resultou em melhor correção da acidez do solo, quando comparado ao calcário dolomítico. Com base nos dados, maiores valores de pH e menores de H^+ Al não foram verificados, o que demonstra efeitos semelhantes dos corretivos quanto à mudança de pH do solo, diferindo dos resultados obtidos por Calonego

et al. (2012), os quais observaram melhores resultados com o uso do silicato em relação ao calcário para o pH do solo.

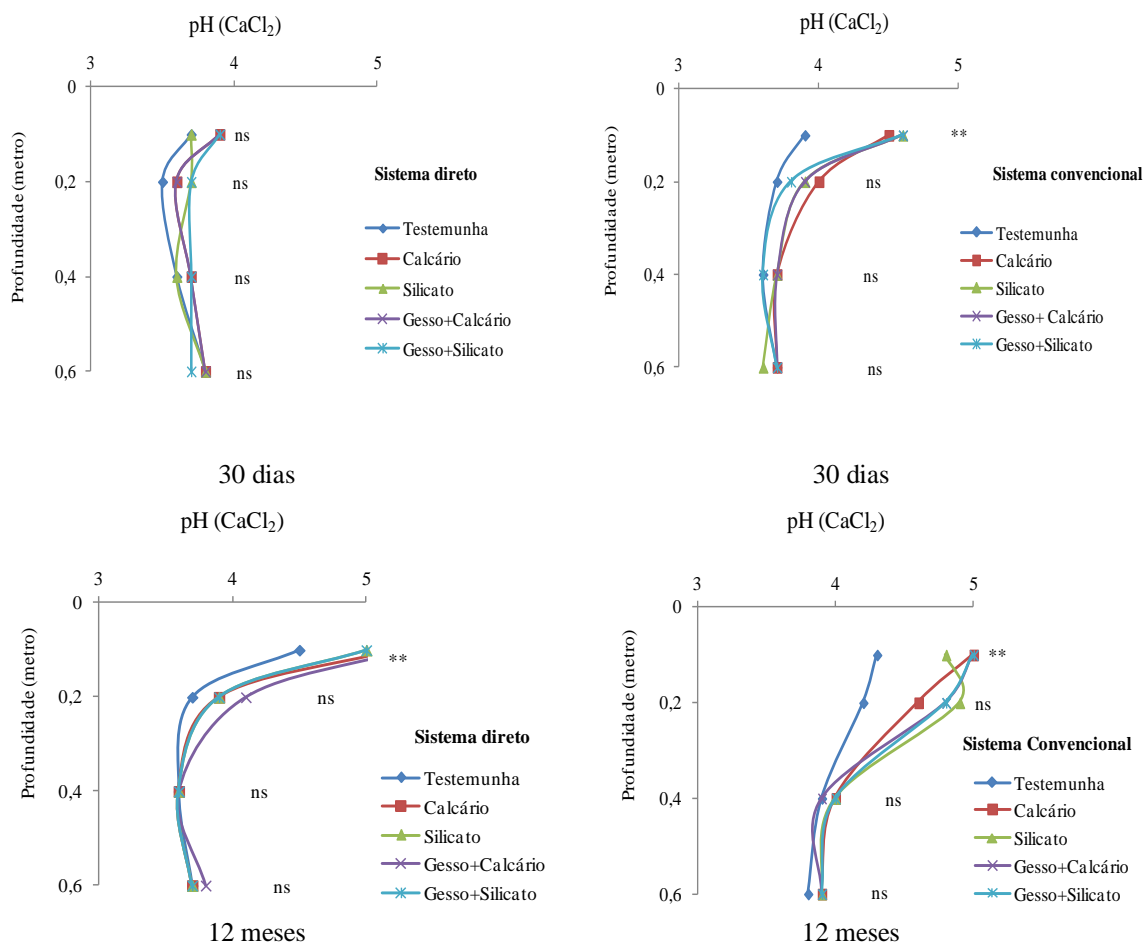


Figura 3: Valores médios de pH (CaCl₂) no solo nas profundidades de 0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,4, 0,4-0,6m, em função da aplicação dos tratamentos após 30 dias e 12 meses e do sistema de manejo direto (SD) e convencional (SC) – novembro de 2012 e 2013 (** 1%, * 5% e ns – não significativo pelo teste t (LSD)).

Esse resultado demonstra o efeito da calagem superficial sobre a correção da acidez do solo em profundidade no tempo. Apesar de ter ocorrido efeito dos corretivos no solo, seu pH, após um ano da aplicação dos tratamentos, ainda foi baixo para os tratamentos na questão de disponibilidade de nutrientes, pois, para valores de pH abaixo de 5,5, principalmente na camada superficial do solo, ainda pode haver presença de Al tóxico para as plantas, além de fixação de P e entre outros, segundo Malavolta (1979).

Por outro lado, os resultados de pH do solo do experimento em questão não são discordantes com os dados da literatura, em termos de correção de acidez,

pois o tempo de reação do calcário e o modo de aplicação são variáveis conforme condições de manejo, umidade, textura e o poder tampão do solo e pode levar de 18 até 48 meses até que se complete a correção da acidez desejada (RHEINHEIMER et al. 2000, OLIVEIRA; PAVAN, 1996, CAIRES et al., 2000, SORATTO; CRUSCIOL, 2008a, 2008c).

Possivelmente não houve deslocamento de partículas de corretivos para a subsuperfície do solo e diminuição de acidez, conforme os valores de pH (Figura 3). A acidez em camadas subsuperficiais do solo, com o uso de corretivos, é diminuída conforme a retenção de cátions na superfície dos coloides, em decorrência da existência de cargas variáveis negativas. De acordo com Wolkweiss (1989) e Quaggio (2000), os ânions bicarbonato e hidroxilas resultantes da dissolução de corretivos de solo responsáveis, pela neutralização de acidez, também fazem parte das reações com outros cátions ácidos, como Al^{+3} , Mn^{+2} e Fe^{+2} . Já Matias et al. (2009) observaram que o aumento de pH, pela adição de calcário aplicado à superfície do solo ou com incorporação, não influenciou igualmente a correção da acidez do subsolo na camada de 0,20–0,40 m, em SD de cultivo.

A presença de gesso junto aos corretivos não contribuiu para o aumento de pH do solo (Figura 3), diferindo de Soratto e Crusciol (2008), que, após 3 meses da aplicação de gesso junto à calagem, observaram elevação do pH. Considerando que o gesso não é um corretivo de acidez do solo, a sua maior solubilidade, além da presença de um ânion estável (SO_4^{2-}), comparado ao calcário, não colaborou para o incremento de pH do solo, ainda que o anion SO_4^{2-} possa se ligar com o íon Ca^{+2} e lixiviar no solo, diminuindo a toxidez de alumínio em profundidade (RAIJ, 2008).

Há uma ampla gama de respostas em relação ao efeito do gesso, na elevação de valores de pH, sobretudo em profundidade (CAIRES et al., 2003). Todavia, a ausência de efeito do gesso + calagem sobre o pH do solo, como no estudo, já foi também verificada por Caires et al. (1998).

De acordo com a Figura 4, notou-se redução da acidez potencial (H+Al) aos 12 meses, no que concerne à primeira amostragem de solo. Em todas as profundidades analisadas, houve diminuição dos teores tóxicos de H+Al em maior proporção dentro do SC, em comparação ao SD. O que confere a menor acidez potencial no SC de cultivo é o revolvimento do solo, o qual permite conseqüentemente aumentar a reação dos corretivos em menor tempo. Essa reação se dá possivelmente através do aumento na concentração das hidroxilas conseqüentes da aplicação de corretivos; parte

dessas hidroxilas reage com o excesso de H^+ em solução e o restante promove a precipitação do alumínio na forma de $Al(OH)_3$, atóxica às plantas (OLIVEIRA; PAVAN, 1996).

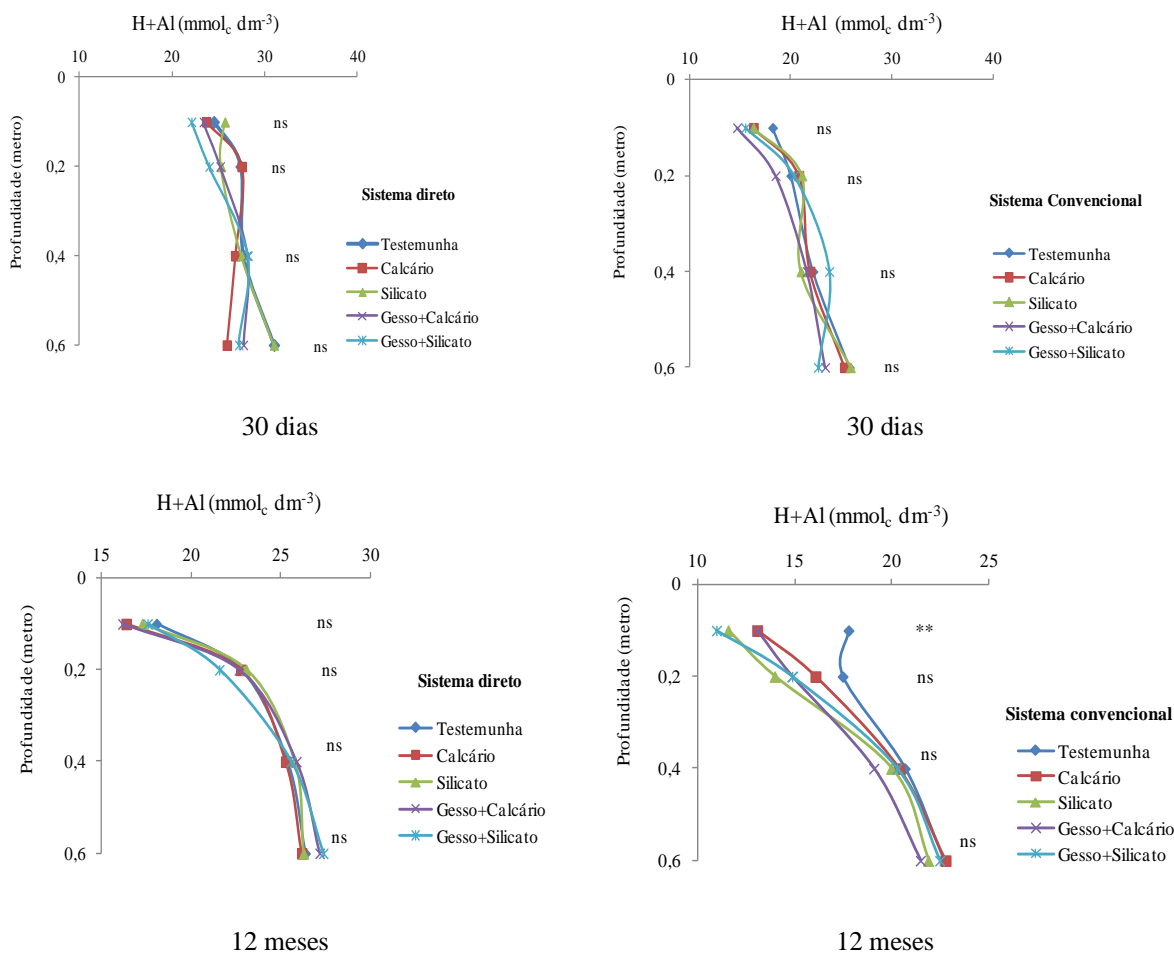


Figura 4: Valores médios de hidrogênio+ alumínio ($mmol_c dm^{-3}$) no solo nas profundidades de 0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,4, 0,4-0,6m, em função da aplicação dos tratamentos após 30 dias e 12 meses e do sistema de manejo direto (SD) e convencional (SC) – novembro de 2012 e 2013. (** 1%, * 5% e ns – não significativo pelo teste t (LSD)).

Não foi observado efeito de tratamentos, no SD, para os dados de H+Al, havendo apenas, no SC, após 12 meses na camada de 0-0,1 m, redução dos teores tóxicos de Al+H, quando utilizados os corretivos de acidez do solo. Dentre os sistemas de preparo, pode ocorrer uma diferenciação da intensidade e localidade da acidez no perfil do solo, conforme seu revolvimento ou não (BLEVINS et al., 1983; OLIVEIRA; PAVAN, 1996).

O curto período de doze meses entre a aplicação dos tratamentos até a segunda amostragem de solo talvez explique a ausência de efeito dos corretivos em

uso conjunto com o gesso ou isolado para acidez potencial, pois, de acordo com Caires et al. (2000), o uso da calagem reduz o Al trocável, aos vinte e oito meses após a aplicação, enquanto Soratto e Crusciol (2008) relataram redução dos teores de H+Al, já aos doze meses após a aplicação de gesso associado ao calcário.

Para o teor de matéria orgânica no solo (MOS), conforme a Figura 5, houve aumentos no SD de cultivo de uma amostragem para outra, porém, diminuições da acidez potencial não foram expressos pelos dados, em consequência do aporte orgânico (Figura 4). O acúmulo de MOS que se dá em SD, devido à imobilização do solo, favorece a complexação do alumínio, o que pode vir a diminuir o efeito negativo da acidificação no solo (MIYAZAWA et al., 1993), Além de o acúmulo de resíduos vegetais conseguir reduzir a toxidez de Al, pode ainda colaborar para diminuir a atividade do Al em solução e/ou aumentar a saturação por bases (FRANCHINI et al., 1999), tornando o Al menos tóxico para as plantas (SALET et al., 1999).

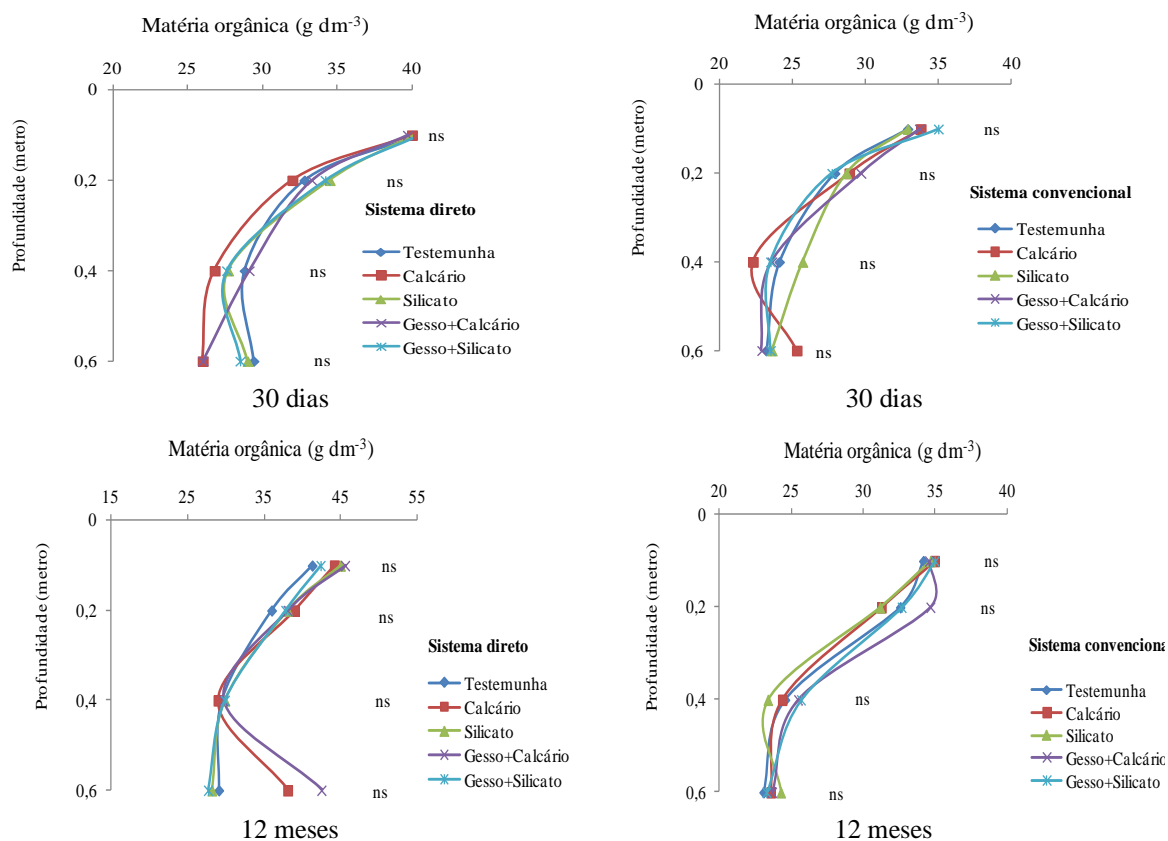


Figura 5: Valores médios de matéria orgânica (g kg^{-1}) no solo nas profundidades de 0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,4, 0,4-0,6m, em função da aplicação dos tratamentos após 30 dias e 12 meses e do sistema de manejo direto (SD) e convencional (SC) – novembro, 2012 e 2013 (** 1%, * 5% e ns – não significativo pelo teste t (LSD)).

Na profundidade de 0-0,6 m, o aumento do teor de MOS no SD, após doze meses da aplicação dos tratamentos, foi de 10,5%, sendo os teores diminuídos gradativamente em profundidade (Figura 5). Já no SC, não houve aumentos do teor de MOS da primeira para a segunda amostragem, porque o revolvimento do solo favoreceu a decomposição microbiana da matéria orgânica, por aumentar a aeração e a temperatura, além de fracionamento e mistura dos resíduos vegetais com o solo. Entretanto, a quebra de agregados ocasionada pelo preparo do solo expõe a matéria orgânica protegida fisicamente no interior de agregados ao ataque microbiano, podendo manter ou mesmo diminuir o seu teor no sistema (BEARE et al., 1994; SIX et al., 2000).

O curto período decorrido da aplicação dos tratamentos até um ano de reação dos corretivos no solo pode explicar a ausência de resposta dos corretivos, dentro de cada sistema, para o teor de MO, podendo ter sido insuficiente para se obter tal efeito no solo, conforme assinalado por Alleoni et al. (2005) e Castro e Crusciol (2013). Talvez um efeito indireto dos corretivos na M.O poderá ser observado ao longo do tempo, em consequência do aumento de produção de massa de matéria seca.

A aplicação dos corretivos ao solo em conjunto ou não com o gesso aumentou os teores de Ca e Mg já aos 30 dias (Figuras 6 e 7), assim como no estudo de Rezende et al. (2007); isso se deve ao fato de os produtos apresentarem Ca e Mg, em sua composição. Alterações do teor de Ca foram verificadas no perfil do solo até 0,6 m de profundidade nos dois sistemas de manejo de solo (Figura 6).

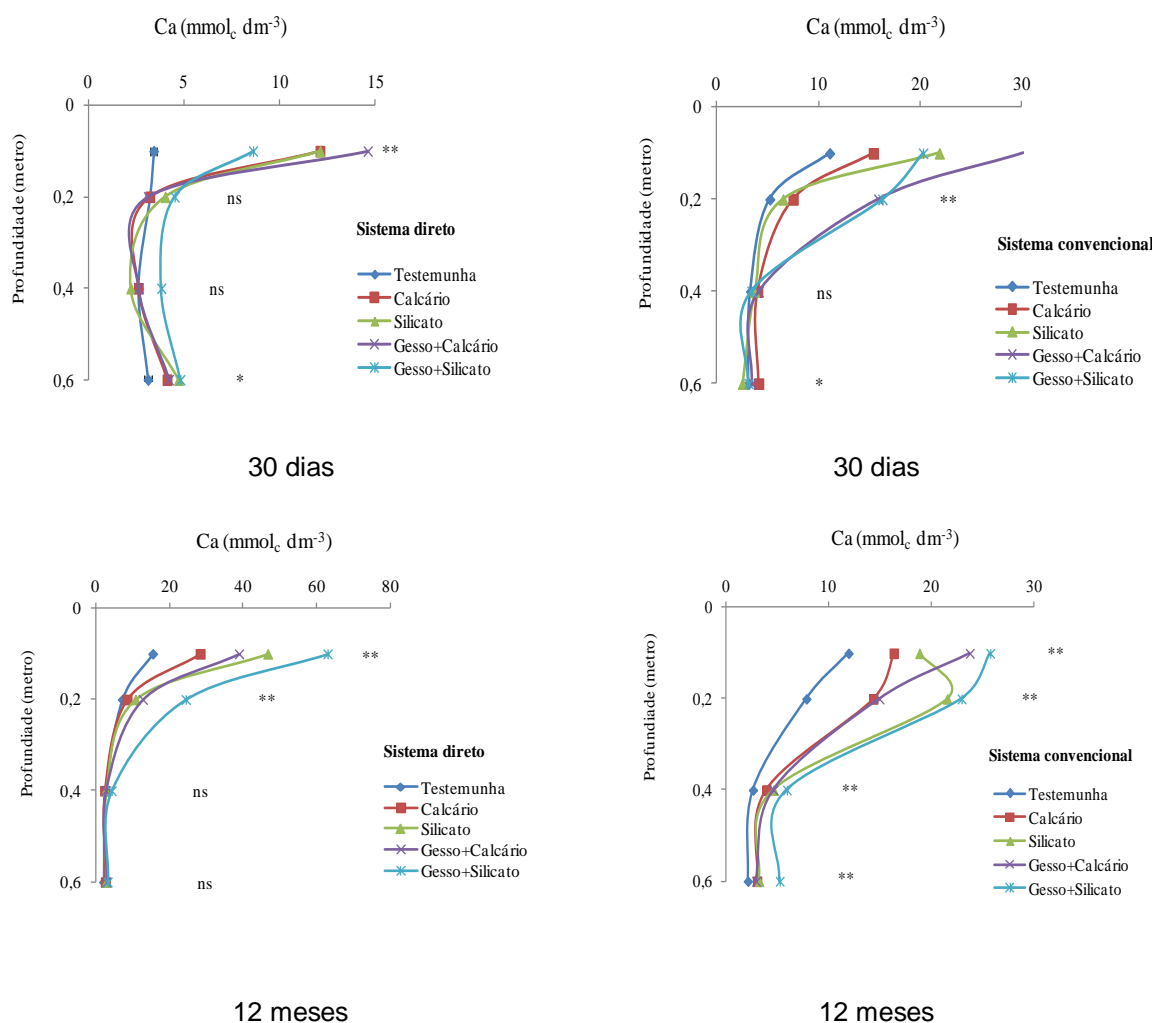


Figura 6: Valores médios de cálcio ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) no solo nas profundidades de 0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,4, 0,4-0,6m, em função da aplicação dos tratamentos após 30 dias e 12 meses e do sistema de manejo direto (SD) e convencional (SC) – novembro, 2012 e 2013 (** 1%, * 5% e ns –não significativo pelo teste t (LSD)).

Independentemente do tipo de manejo, na primeira amostragem de solo, na camada de 0-0,1 m, notou-se que a aplicação de gesso associado ao calcário aumentou o teor de Ca, em função de os dois produtos possuírem Ca, em sua composição, enquanto o gesso associado ao silicato tende a diminuir o teor de Ca no solo em superfície, por lixiviação do nutriente para a camada posterior de solo analisada (Figura 6). Em 0,1-0,2 m, no SC, o uso de gesso em conjunto aos corretivos aumentou o teor de Ca. Já em 0,4-0,6 m, o uso apenas de silicato diminuiu o Ca do solo.

Diferentemente da primeira, na segunda amostragem de solo, no SD, verificou-se maior teor de Ca em superfície (Figura 6). A maior concentração de Ca na camada superficial deve-se à solubilização do corretivo e liberação de Ca a partir da

superfície, bem como à mineralização dos nutrientes dos resíduos vegetais depositados sobre o solo.

O preparo do solo favorece a mobilidade de Ca e de Mg no solo e, diferenças nos resultados provavelmente se devem ao número de cargas elétricas negativas que compõem a CTC e o teor de matéria orgânica, que, além de modificar as cargas, altera a quantidade de ânions presentes na solução do solo.

Em ambos os sistemas de manejo, aos 12 meses após a aplicação dos tratamentos, na camada de 0-0,10 m, o uso do silicato aumentou o teor de Ca no solo, comparado com o calcário. Porém, quando há o uso associado do corretivo ao gesso, este aumenta a eficiência dos mesmos, o que confirma sua mobilidade no perfil e o efeito “condicionador” no solo (ALCARDE; RODELLA, 2003; RAMOS et al., 2006).

A fonte silicatada foi mais eficiente que o calcário em disponibilizar Ca no solo, concordando com os resultados de Ramos et al. (2006). Provavelmente, a razão seja a solubilidade do silicato no solo de 6,78 vezes superior ao calcário (ALCARDE; RODELLA, 2003), uma vez que todos os produtos utilizados também são fontes de Ca.

Para a disponibilização de magnésio no solo, o uso dos corretivos promoveu mudanças, com respostas semelhantes ao Ca, quanto ao sistema de manejo nas duas amostragens (Figura 7). Um ano após a aplicação dos tratamentos, houve aumentos dos valores de magnésio na camada de 0-0,1 m, no SD de cultivo.

O maior teor de Mg encontrado no SD, aos 12 meses após a aplicação dos corretivos, pode ser explicado pela formação de complexos orgânicos hidrossolúveis a partir de ácidos orgânicos liberados dos restos vegetais das culturas acumulados na superfície.

Quanto ao emprego de corretivos, a maior disponibilidade de Mg no solo foi com o uso do calcário, tanto na presença quanto na ausência de gesso, comparado aos tratamentos com silicato nos dois sistemas de manejo, em todas as profundidades (Figura 7). O aumento do teor de Mg no solo, com o uso do calcário, está relacionado com a composição do material, pois o calcário utilizado apresenta quatro vezes mais Mg do que o silicato (Tabela 5).

Por outro lado, a disponibilidade de Mg com o uso do silicato foi aumentada em profundidade, quando este foi incorporado no solo. O que explica tal fato é o poder de neutralização do produto, que, quando incorporado, aumenta sua solubilidade,

tornando-se igual ao calcário na disponibilidade de nutrientes no solo. Ramos et al. (2006) também verificaram, em solo incubado com corretivos, uma maior capacidade do silicato em disponibilizar Mg, após 40 dias de experimentação.

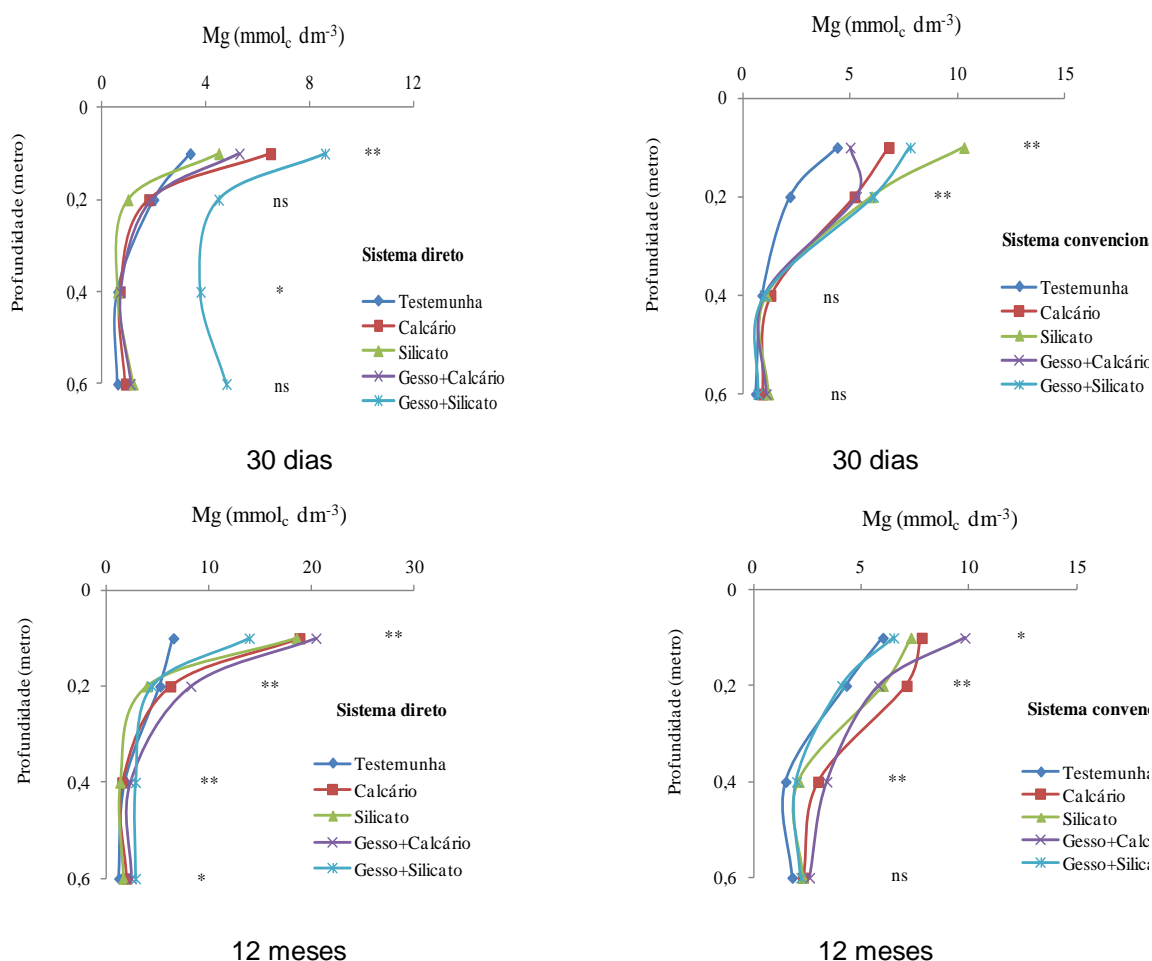


Figura 7: Valores médios de magnésio ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) no solo nas profundidades de 0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,4, 0,4-0,6m, em função da aplicação dos tratamentos após 30 dias e 12 meses e do sistema de manejo direto (SD) e convencional (SC) – novembro, 2012 e 2013 (** 1%, * 5% e ns – não significativo pelo teste t (LSD)).

O uso de calcário e silicato aumentou o K no solo, no sistema convencional e direto, na profundidade de 0-0,1 m. Já em 0,1 - 0,2 m, no SD, não houve diferença entre tratamentos, por outro lado, no SC, a testemunha apresentou menor K no solo, comparativamente aos outros tratamentos. Possivelmente houve lixiviação do K no SD devido ao maior teor notado na profundidade de 0,2-0,4 m. O uso de gesso não contribuiu para aumentos significativos do teor de K no solo (Figura 8).

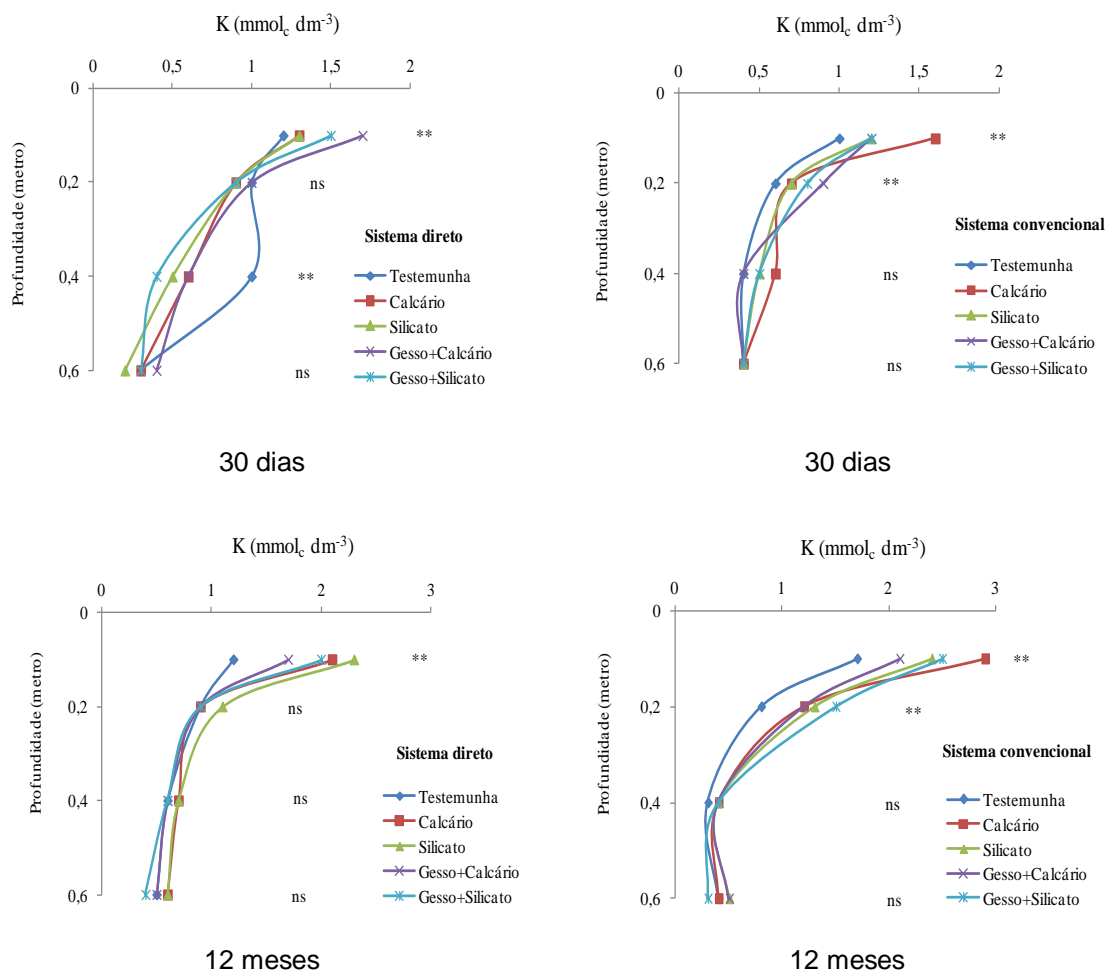


Figura 8: Valores médios de potássio ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) no solo nas profundidades de 0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,4, 0,4-0,6m, em função da aplicação dos tratamentos após 30 dias e 12 meses e do sistema de manejo direto (SD) e convencional (SC) - novembro, 2012 e 2013 (** 1%, * 5% e ns – não significativo pelo teste t (LSD)).

Em geral, os valores de K trocável no solo sofreram alterações superficiais apenas, um ano após a aplicação dos corretivos, resultado que já era esperado, embora os corretivos utilizados não sejam fontes de K e seus efeitos ainda interferem na disponibilidade de K no solo, conforme relatado por Caires et al. (2006), Castro (2009) e Alleoni et al. (2005). Por outro lado, como a segunda amostragem de solo foi feita após o cultivo da safra da soja verão e cultivo de milho associado com braquiária, respectivamente, pode-se inferir que o pequeno incremento do K no solo, principalmente no SC, seja proveniente da ciclagem dos resíduos vegetais e da aplicação de fertilizantes, realizadas no sulco de semeadura.

O efeito dos corretivos na acidez do solo também pode ser observado nos resultados de CTC e V% (Figuras 9 e 10). Todavia, a V% reflete de maneira

geral os benefícios de correção de acidez do solo, pois é relacionado diretamente com as variáveis pH, Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ SB e diminuição de Al^{3+} e $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$. A aplicação dos corretivos alterou a V% do solo em ambas as amostragens, com maior eficiência um ano após sua aplicação, em função do maior tempo de reação com o solo, de fato que o aumento observado está ligado, sobretudo, com a elevação de Ca e Mg (Figura 9).

A V% do solo também foi alterada. A aplicação superficial de fertilizantes com ausência de preparo do solo pode causar acúmulo de nutrientes e isso evita a lixiviação de bases trocáveis no perfil (CIOTTA et al., 2004). No SC de cultivo, maior V% foi observada em profundidade nas duas coletas de solo, exceto na camada 0-0,1 m no SD, na segunda coleta, quando os valores foram maiores (Figura 9).

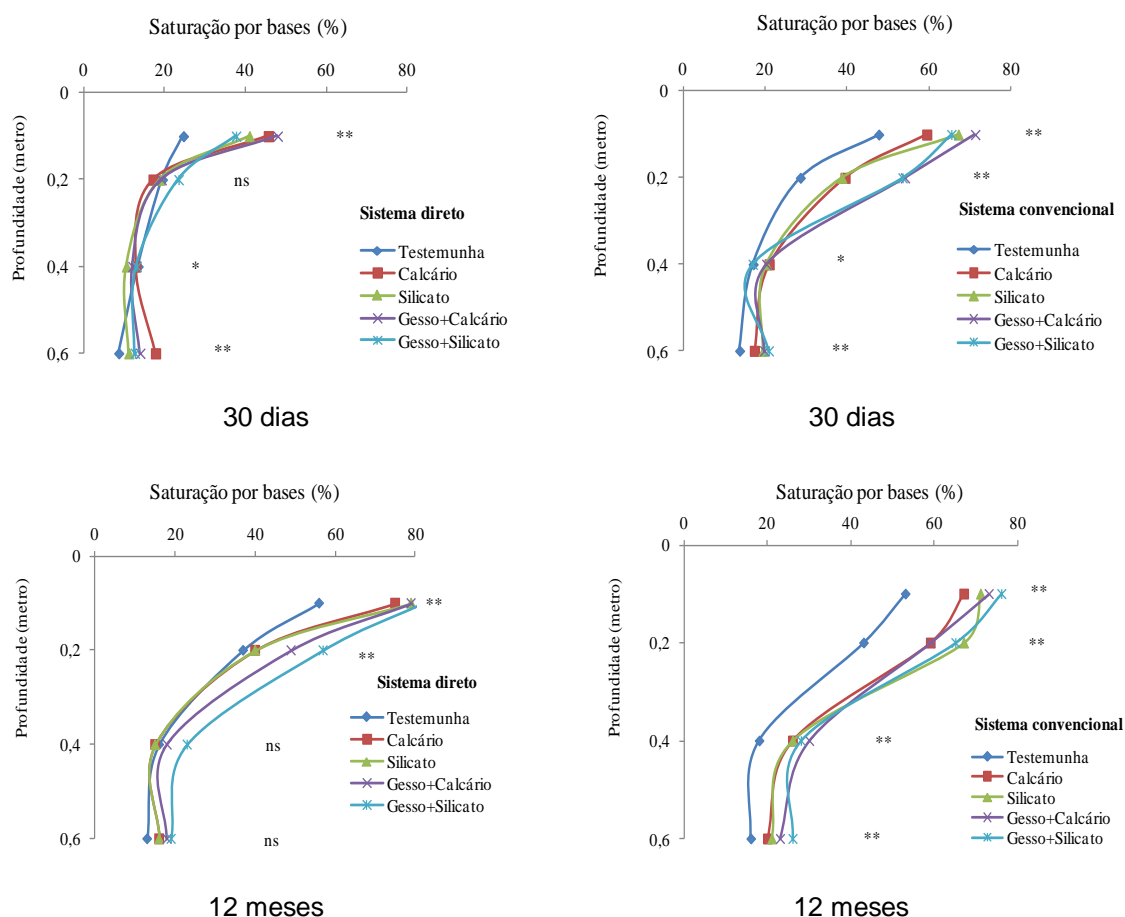


Figura 9: Valores médios de saturação por bases (%) no solo nas profundidades de 0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,4, 0,4-0,6m, em função da aplicação dos tratamentos após 30 dias e 12 meses e do sistema de manejo direto (SD) e convencional (SC) – novembro, 2012 e 2013 (** 1%, * 5% e ns – não significativo pelo teste t (LSD)).

Ainda de acordo com a Figura 9, em ambos os sistemas de cultivo, o uso do gesso aumentou a saturação por bases. Quando na ausência da aplicação de gesso, com o silicato, houve maior valor de V%. O aumento de bases no solo, como Ca e Mg, com o uso do gesso, possivelmente provocou o aumento da saturação por bases no solo, comparado ao uso isolado de calcário e silicato.

O aumento da saturação por bases no solo e a diminuição da saturação por alumínio com o uso de gesso são bem difundidos na literatura (CIOTTA et al. 2004; SALDANHA et al., 2007). O efeito do gesso no solo pode ser explicado pela solubilização e liberação de SO_4^{2-} , que tende a movimentar-se e, conseqüentemente, acumular-se nas camadas mais profundas do solo. Tal movimentação se deve à repulsão provocada por ânions, principalmente fosfatos, nos sítios de adsorção, bem como pela presença de ânions orgânicos; é a calagem que eleva o pH e aumenta as cargas negativas no solo, as quais contribuem para repulsão do sulfato (RAIJ et al., 1998).

Os maiores valores de matéria orgânica do solo, no sistema direto, afetaram diretamente a CTC calculada, expressando a retenção de cátions determinada no pH atual do solo. Isso é devido à elevação de cargas negativas (Figura 10). A ausência de preparo do solo aumentou a CTC até 0,6 m de profundidade, em ambas as amostragens, exceto na camada de 0-0,20 m, aos 30 dias. Em razão do curto intervalo de tempo, esse aumento notificado na CTC do solo no SC, na camada superficial, logo após a aplicação dos tratamentos, pode ser devido à incorporação do material no solo, o que favoreceu maior contato do solo com as partículas orgânicas e a reatividade do produto.

A matéria orgânica beneficia a adsorção de cátions trocáveis (Ca^{2+} , K^+ e Mg^{2+}), mediante trocas com H^+ dos grupos funcionais orgânicos, aumentando a saturação por bases e, conseqüentemente, beneficiando a CTC (CALEGARI et al., 1992). Além do acúmulo superficial de resíduos provenientes da ausência de preparo de solo, no SD de cultivo, são encontrados maiores teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} , refletindo diretamente na CTC. Isso ocorre independentemente do tipo de solo (FALLEIRO et al., 2003; NEIS et al., 2010).

A CTC do solo foi alterada pela aplicação dos corretivos em 0-0,2 m de profundidade, aos 30 dias e aos 12 meses, enquanto, na camada de 0,2-0,6 m de profundidade, não houve diferença entre tratamentos para os dois sistemas de cultivo, em ambos os períodos de amostragens de solo. Houve efeito dos tratamentos para a variável CTC dentro de cada sistema, e estes foram concentrados na camada de 0-0,2 m. Em ambos

os sistemas, a aplicação de corretivos resultou em respostas semelhantes para a CTC do solo, e o efeito foi aumentado no tempo no SD de cultivo (Figura 10). Todavia, após um ano, o uso do silicato melhorou a CTC do solo em relação ao calcário, ratificando os resultados de Prates et al. (2011), que verificaram de maneira geral aumentos para a CTC e a saturação por bases, com a incorporação de silicato de cálcio ao solo, em razão das adições de cálcio contidas nesse resíduo. Porém, no trabalho, não só incorporado, mas também com a aplicação superficial, melhoria na CTC pode ser percebida com o uso do silicato. Aumentos da saturação por bases do solo e na CTC, com a aplicação de silicato, já foram igualmente reportados por Korndörfer et al. (2010) e Sarto et al. (2014).

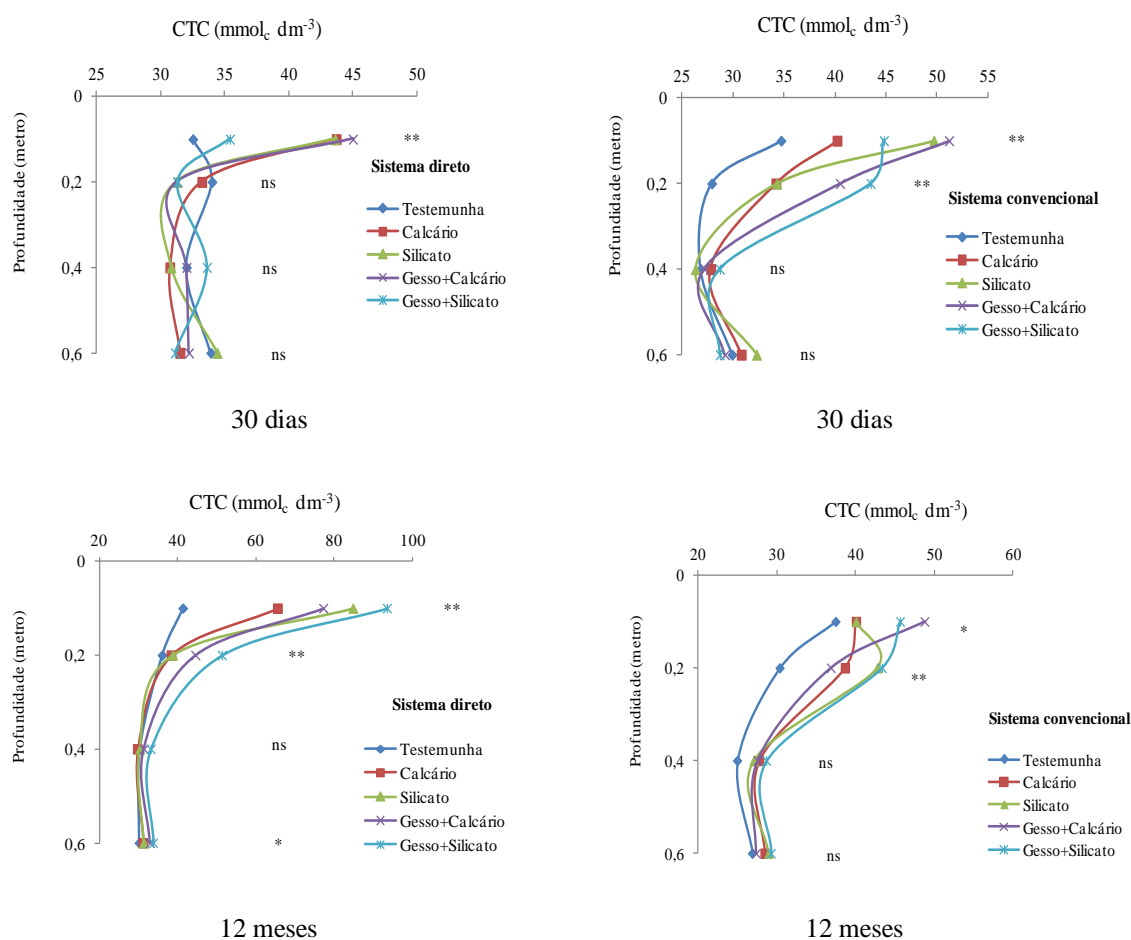


Figura 10: Valores médios de capacidade de troca catiônica ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) no solo nas profundidades de 0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,4, 0,4-0,6m, em função da aplicação dos tratamentos após 30 dias e 12 meses e do sistema de manejo direto (SD) e convencional (SC) – novembro, 2012 e 2013 (** 1%, * 5% e ns – não significativo pelo teste t (LSD)).

No entanto, ao se tratar do uso do gesso associado ao silicato, houve maiores acréscimos na CTC do solo, independentemente do modo de aplicação, ou seja, sistema de manejo, diferindo do uso do gesso associado ao calcário. Provavelmente, esse resultado é decorrente da maior solubilidade, pois ambos os produtos, silicato e gesso, são mais solúveis que o calcário e, portanto, tendem a reagir em tempo menor que o calcário e, conseqüentemente, os produtos de suas dissoluções começam a agir, neutralizando a acidez, quer pelo íon silicato como receptor de prótons, quer pela troca com os óxidos hidratados de Fe e Al. Com isso, demonstra-se que o aumento da CTC do solo, associado ao uso do gesso, é resultante sobretudo do aumento nos teores de Ca^{2+} .

Ressalta-se que o efeito do gesso no aumento da CTC se deve à sua eficiência em relação à diminuição do teor de Al do solo ou mesmo aumentos no teor de Ca, a qual é a resposta mais provável do experimento, porque o gesso age sobre esse elemento. A mesma constatação quanto à aplicação de corretivos associado ao uso do gesso para o teor de Ca no solo e CTC foi verificada por Soratto e Crusciol (2008).

Por se tratar de um solo caulinitico de carga variável e dependente do pH, a utilização de silicato melhorou a fertilidade do solo, quando comparado ao calcário, com modificações diretas na CTC do solo, além de aumentar a ocupação do complexo de troca por cátions básicos, resultando em maior V%. O aumento da V% pelo uso de silicato deve-se ao aumento dos teores de Ca trocável e, talvez, à redução do teor de Al do solo, porém, os tratamentos aplicados não influenciaram os teores na acidez potencial do solo (H+Al).

As alterações nos atributos químicos do solo relacionados ao aumento da CTC e V%, promovidas pela aplicação do silicato de cálcio, também já foram registradas por Melo (2005) e Korndörfer et al. (2010). Por outro lado, Souza et al. (2008) não recomendam a substituição da calagem pela silicatagem, pelo fato de terem obtido piores resultados com o uso de silicato de Ca para os atributos químicos do solo, principalmente para os teores de P, Ca, Al, H+Al, além de pH e V%. Porém, levando-se em consideração as alterações químicas do solo observadas, a fonte silicatada pode sim ser aplicada como corretivo de solo, além da vantagem de possuir Si, em sua composição, o que pode ainda tornar as plantas menos suscetíveis a estresse hídrico, como sugerido por Gunes et al. (2008).

Para o fósforo (P), o acúmulo superficial é normalmente mais acentuado do que dos demais nutrientes, por causa de sua baixa mobilidade no solo

(BAYER; MIELNICZUK, 1997). O comportamento do P disponível no solo é mostrado na Figura 11. Com base no teor inicial, houve aumento da disponibilidade de P no solo com a aplicação dos corretivos, nos dois sistemas de manejo.

Em ambos os sistemas, o uso do silicato aumentou a disponibilidade de P no solo, diferindo do tratamento com calcário (Figura 11). De fato, esse efeito do uso do silicato no aumento da disponibilidade de P foi também identificado por Sobral et al. (2011). Esse incremento no P do solo deve-se mais ao efeito do silício presente no corretivo do que ao efeito do pH propriamente dito.

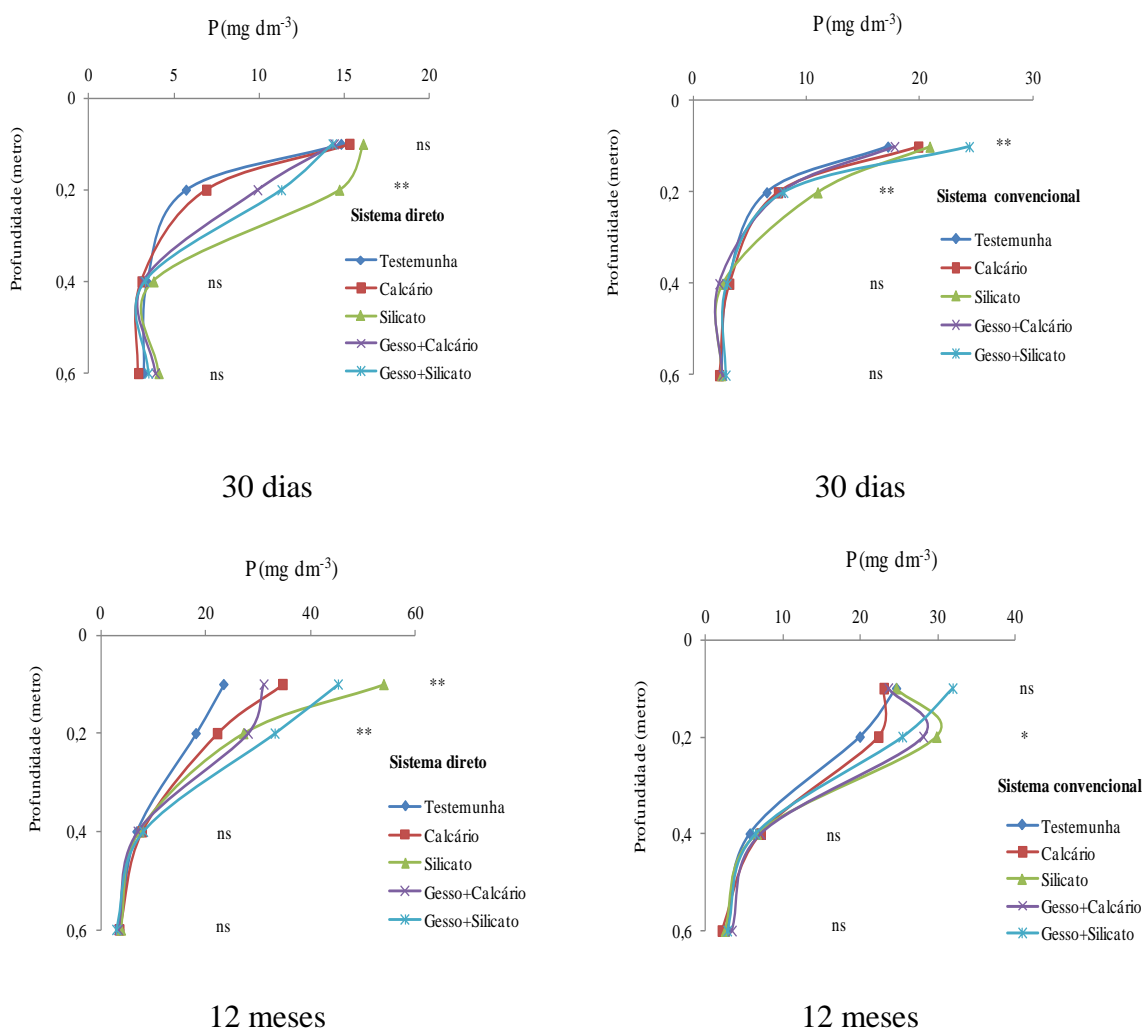


Figura 11 : Valores médios de fósforo (mg dm^{-3}) no solo nas profundidades de 0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,4, 0,4-0,6m, em função da aplicação dos tratamentos e do sistema de manejo direto (SD) e convencional de solo (SC) – novembro, 2012 e 2013 (** 1%, * 5% e ns – não significativo pelo teste t (LSD)).

O silicato eleva a disponibilidade de P no solo e, pela competição do PO_4^{2-} com o ânion SiO_4 - pelos mesmos sítios de adsorção no solo (KATO; OWA,

1997), resulta em liberação de P para a solução do solo e igualmente por meio do deslocamento do P adsorvido na superfície dos sesquióxidos (LIMA FILHO, 2009). Também foi relatado por Leite (1997) que o aumento da disponibilidade de P no solo, através do uso do silicato, sugere sua inclusão como fator positivo no aumento da eficiência da adubação fosfatada em latossolos intemperizados, em função do efeito no decréscimo da adsorção de P (PRADO; FERNANDES, 2001).

A aplicação de fósforo ao solo pode ter cooperado para o efeito positivo do silicato sobre o P disponível, uma vez que, nos trabalhos em que esse efeito foi observado, o fósforo e alguma fonte silicatada foram aplicados conjuntamente no solo. Nesse caso, os sítios de adsorção de P podem ter sido bloqueados pelo ânion silicato, favorecendo o aumento do P disponível no solo (LOPES, 1977).

Não houve diferença entre os tratamentos, em subsuperfície, para o P disponível no solo aos 12 meses após a correção de acidez (0,2 -0,6 m). No SD, efeito inverso da primeira amostragem foi verificado, justificando que a matéria orgânica junto à aplicação de corretivos aumenta a disponibilidade de P no solo nas camadas de 0-0,1 e 0,1-0,2 m. Enquanto, no SC de cultivo, ainda aos 12 meses, houve diferença entre os tratamentos para a disponibilidade de P apenas na camada de 0,1-0,2m.

O uso do gesso em conjunto com os corretivos colaborou também para o aumento da disponibilidade do P no solo (Figura 11). Possivelmente, a maior concentração de sulfato presente no solo, devido à aplicação de gesso, contribuiu para a maior dessorção do fósforo, ou mesmo o aumento da concentração de Ca no solo, com o uso do gesso, possa ter favorecido a formação de compostos fosfatados e esses terem sido mais facilmente dissolvidos (FITTIPALDI, 2006)

O preparo do solo exerceu influência direta na distribuição de nutrientes, como Ca, Mg, K e P, no perfil do solo. Em solo sob sistema convencional de cultivo, foi observada uma distribuição uniforme de todos os nutrientes na camada arável, enquanto, em sistema de semeadura direta, houve um acúmulo nos centímetros superficiais, consequência da aplicação dos fertilizantes sobre a superfície, da mineralização dos nutrientes presentes nos resíduos vegetais na superfície do solo e da maior CTC dessas camadas, em virtude dos maiores teores de matéria orgânica.

Foram notados efeitos dos tratamentos sobre os teores dos micronutrientes Cu, Fe, Zn e Mn (Figuras 12, 13, 14 e 15). Ainda que, conforme Raij et al. (1996), a redução na produção de muitas culturas tenha sido associada à diminuição dos

teores de micronutrientes no solo submetido a altas doses de calcário, os teores destes, no solo em estudo, após um ano de experimento, se encontravam considerados médios para Mn e altos para Cu, Fe e Zn.

Para o teor de Mn no solo, diferenças entre tratamentos foram notadas apenas aos 30 dias, com ausência de respostas aos doze meses (Figura 12). No SD, a aplicação de calcário sem gesso aumentou o teor de Mn, em todas as profundidades, sendo os valores superiores na testemunha. Já no SC, a aplicação de gesso associado aos corretivos aumentou o Mn no solo, na profundidade de 0,1-0,6 m.

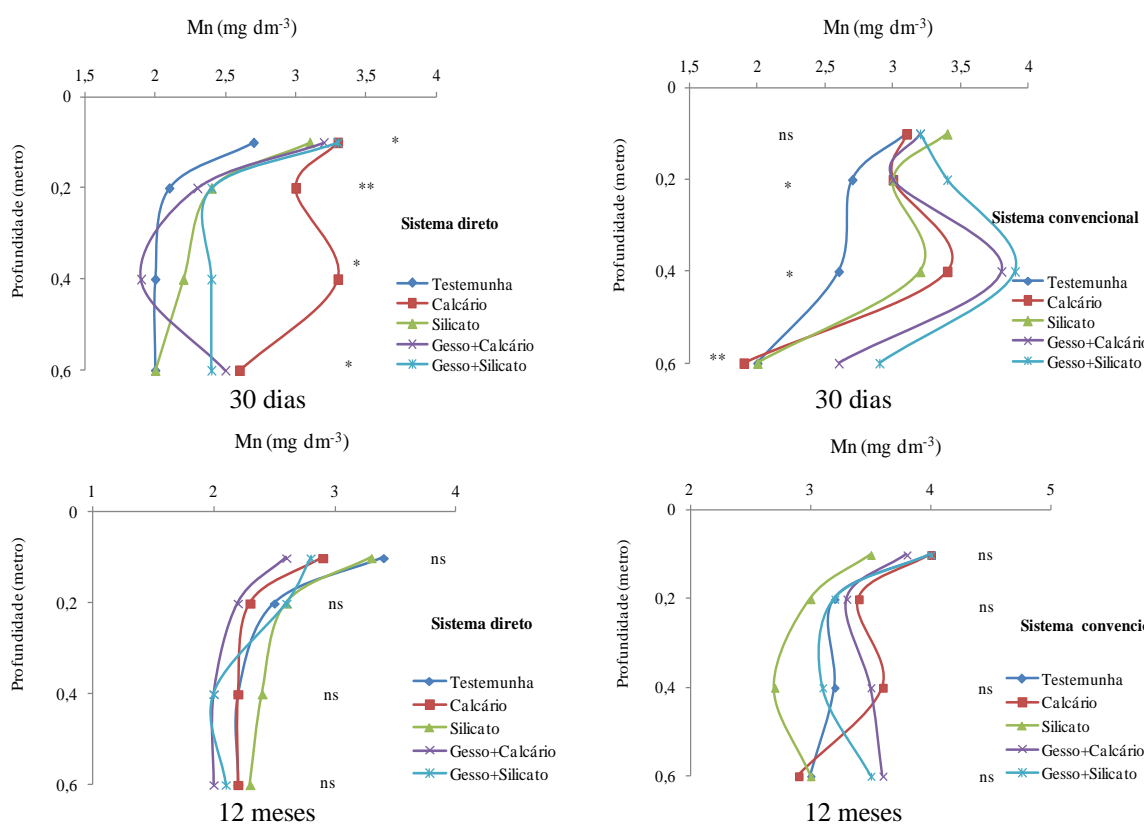


Figura 12: Valores médios de manganês (mg dm^{-3}) no solo nas profundidades de 0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,4, 0,4-0,6m, em função da aplicação dos tratamentos após 30 dias e 12 meses e do sistema de manejo direto (SD) e convencional (SC) – novembro, 2012 e 2013 (** 1%, * 5% e ns – não significativo pelo teste t (LSD)).

Em relação ao Cu, não houve diferença entre tratamentos para os dois sistemas de manejo, nas duas amostragens de solo (Figura 13), diferindo dos resultados de Joris et al. (2012), os quais, após a aplicação da calagem, observaram redução por precipitação da disponibilidade de Cu na solução do solo.

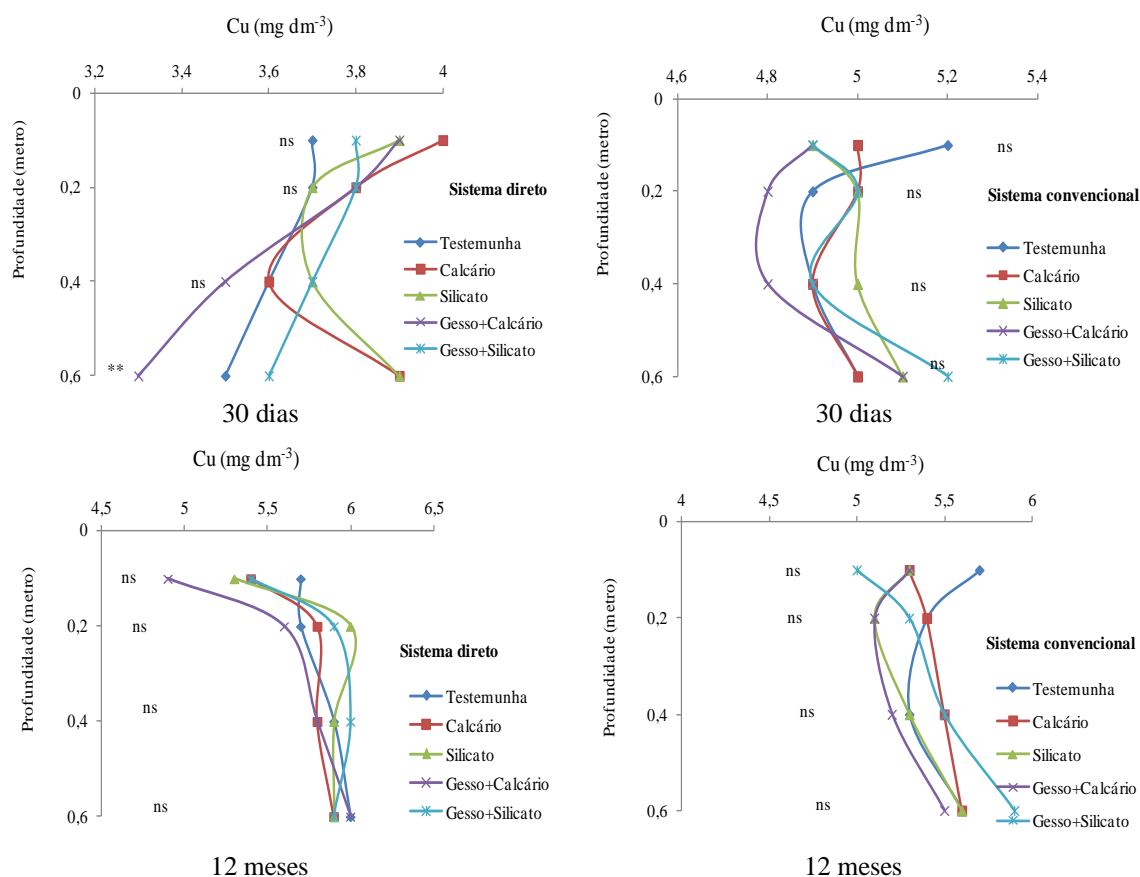


Figura 13: Valores médios de cobre (mg dm^{-3}) no solo nas profundidades de 0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,4, 0,4-0,6m, em função da aplicação dos tratamentos após 30 dias e 12 meses e do sistema de manejo direto (SD) e convencional (SC) – novembro, 2012 e 2013 (** 1%, * 5% e ns – não significativo pelo teste t (LSD)).

Para o Zn, maiores teores foram observados no SD, em todas as profundidades, aos 30 dias após aplicação dos tratamentos. O uso de calcário e silicato sem associação com o gesso no solo, no sistema considerado conservacionista, aumentou o teor de Zn na profundidade de 0,0-0,1 m, em relação à testemunha. (Figura 14). Ainda conforme a Figura 14, na amostragem aos doze meses, o uso de corretivos reduziu o Zn no SD até 0,4 m, em comparação à testemunha, entretanto, os teores ainda continuaram maiores, quando cotejados ao SC. Já no SC de cultivo, os teores de Zn não diferiram entre os tratamentos, nos dois períodos de solo analisados.

Os teores de Mn e Fe não foram diminuídos com o uso de corretivos, aos 30 dias após a aplicação, ainda que, na literatura, alguns resultados apresentem diminuição desses nutrientes, no solo, com aplicação de calagem. Os resultados também não se distinguem dos expostos por Camargo et al. (1997), que não observaram diminuição nos teores desses micronutrientes em aplicação de alta dosagem de

calcário, em solos caracterizados como Latossolos. Por outro lado, a disponibilidade de Fe foi influenciada pelos tratamentos aos 12 meses.

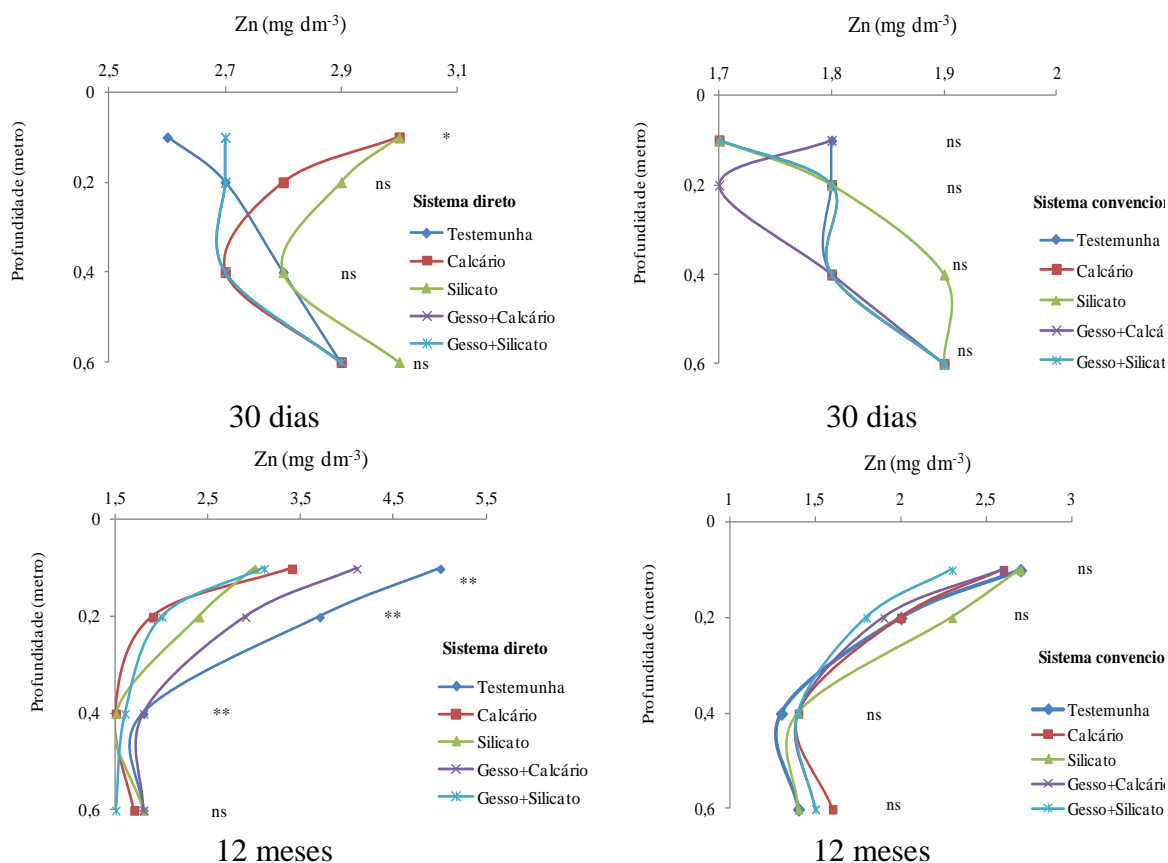


Figura 14: Valores médios de zinco (mg dm^{-3}) no solo nas profundidades de 0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,4, 0,4-0,6m, em função da aplicação dos tratamentos após 30 dias e 12 meses e do sistema de manejo direto (SD) e convencional (SC) – novembro, 2012 e 2013 (** 1%, * 5% e ns – não significativo pelo teste t (LSD)).

O teor de Fe no solo foi diminuído com o uso do calcário e aumentado com o emprego do silicato, nos dois sistemas de cultivo (Figura 15). Os tratamentos no SD com presença de gesso aumentaram o teor de Fe no solo, porém, este ainda foi menor do que em relação à testemunha aos 12 meses, na camada de 0,0-0,1 m. No SC, comportamento semelhante aos tratamentos do SD foi verificado. O maior teor de Fe na aplicação de silicato deve ter sido provocado pela composição do produto. A fabricação das escórias siderúrgicas é oriunda de resíduos da siderurgia produtora de ferro, através de processamentos em altas temperaturas, geralmente acima de 1900°C . Nesse processo, uma carga composta por minério de ferro, como a hematita (Fe_2O_3), a limonita

($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ou a magnetita (Fe_3O_4), mais o calcário (CaCO_3), é adicionada na parte superior do forno e, por meio da ação térmica, são obtidos o ferro-gusa e a escória.

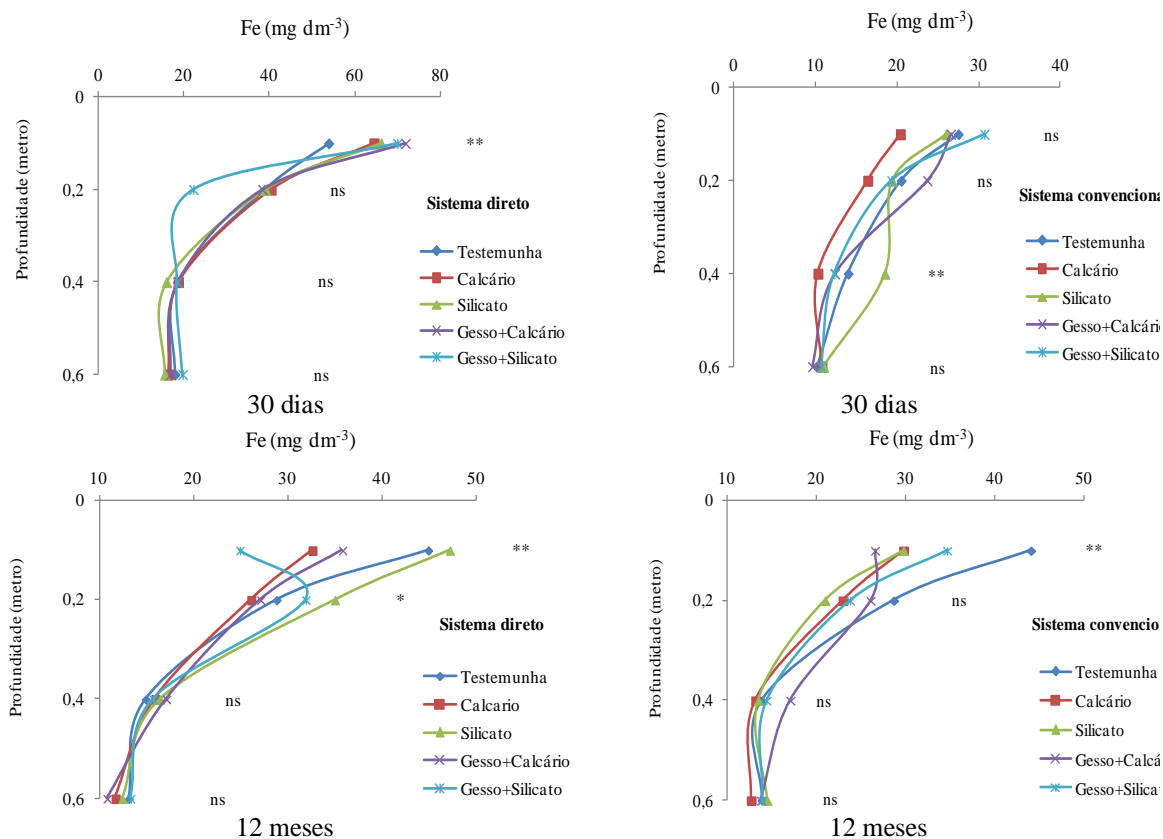


Figura 15: Valores médios de ferro (mg dm^{-3}) no solo nas profundidades de 0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,4, 0,4-0,6m, em função da aplicação dos tratamentos após 30 dias e 12 meses e do sistema de manejo direto (SD) e convencional (SC) – novembro, 2012 e 2013 (** 1%, * 5% e ns – não significativo pelo teste t (LSD)).

Segundo Sampaio e Almeida, (2008), altos teores de Fe em corretivos podem ser explicados pela presença de minerais carbonatados, como a siderita (FeCO_3) e a ankerita ($\text{Ca}^2\text{MgFe}(\text{CO}_3)^4$), além de outros minerais com impurezas, como a limonita ($\text{Fe}(\text{OH})_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) e a pirita (FeS_2).

A correção de acidez em solos tropicais e subtropicais, como já mencionado, é indispensável para obtenção de alta produtividade, uma vez que a prática é responsável pela melhoria das características químicas e, aumentos do aporte de resíduos no sistema que ao decorrer do tempo visam, conseqüentemente, a maior retorno de C ao sistema via culturas, o que aumenta o COT no solo. Ademais, o aumento do carbono total do solo está relacionado ao aumento do V% (BRIEDIS et al., 2012).

6.2 Aportes de C e N no sistema em função do manejo e aplicação de corretivos

O C entra no sistema por meio da atividade fotossintética de plantas. A variação do aporte de C e N pelas culturas está relacionada com a produtividade de biomassa e condições químicas do solo, a qual, por consequência, variou com a aplicação dos tratamentos no período experimental de novembro de 2012 a julho de 2014, em ambos os sistemas de manejo de solo.

A produção de raiz foi a principal responsável pelo aporte de C e N, no solo (Tabelas 7 e 8). O aporte de C através das raízes, na soma até 0,6 m de profundidade e soma de biomassa (parte aérea), foi de 4,3 e 5,6 Mg ha⁻¹ para o SC e SD, respectivamente. O desenvolvimento radicular está ligado às propriedades químicas do solo em superfície, de maneira que a melhoria da fertilidade do solo do SD poderia talvez explicar o aporte de biomassa.

Tabela 7: Aporte de carbono pelas culturas através da biomassa da parte aérea em superfície no solo, radicular (0-0,6 m de profundidade) e carbono total (raiz+parte aérea) no período de novembro, 2012 – julho, 2014, em função da aplicação dos tratamentos e do sistema de manejo direto (SD) e convencional (SC) de solo.

Tratamentos	C. Raiz (Cr)		C parte aérea (Ca)		C total. (Cr+ Ca)	
	SD	SC	SD	SC	SD	SC
	Mg ha ⁻¹					
Testemunha	3,9	1,8	1,8	1,6	5,8	3,4
Calcário	4,3	3,0	1,5	1,6	5,8	4,6
Silicato	3,8	1,8	1,5	1,8	5,3	3,6
Gesso+Calc.	4,8	3,3	1,7	1,9	6,4	5,2
Gesso+Silic.	3,3	3,2	1,7	1,6	4,9	4,9
Média	4,0	2,6	1,6	1,7	5,6	4,3
DMS	0,68**	0,39**	0,17**	0,26**	0,36**	0,44**

Médias seguidas de ** na DMS diferem estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade e ns – não significativo pelo teste t (LSD).

O tratamento com calcário + gesso aumentou o aporte de C e N, em ambos os sistemas de manejo. Todavia, com o emprego do calcário, o aporte de C foi maior comparado ao silicato, sem o uso do gesso. A prática da calagem e silicatagem permite a correção da acidez e a disponibilização de cálcio em superfície no solo e, mesmo que maiores teores de cálcio no solo tenham sido verificados na presença de silicato, os

teores presentes para o tratamento com calcário são considerados altos no solo para as plantas (Figura 6). Contudo, segundo Raij (2008), em condições extremas de acidez, somente a aplicação de calcário não é suficiente para promover melhoria no ambiente radicular das plantas. Tal fato explica a maior produção de raízes na presença de gesso + calcário, contribuindo para o maior *input* de C e N no sistema (Tabelas 7 e 8).

As médias dos valores do aporte de C e N, por meio da biomassa da parte aérea, foram semelhantes para os dois sistemas de manejo. Por outro lado, houve diferença entre tratamentos dentro de cada sistema, exceto para o aporte de N, no SC (Tabelas 7 e 8). No SD, os tratamentos com gesso não foram eficientes para o aumento do C na biomassa aérea, pois não diferiram da testemunha, enquanto os tratamentos com silicato e calcário diminuíram a produção de biomassa aérea. Já no SC, o uso do gesso + calcário aumentou o C através da produção de biomassa da parte aérea. Isso explica a importância do Ca para a produção de biomassa, seja o nutriente proveniente dos corretivos, seja gesso agrícola.

Tabela 8: Aporte de nitrogênio pelas culturas através da biomassa da parte aérea em superfície no solo, radicular (0-0,6 m de profundidade) e nitrogênio total (raiz+parte aérea) no período de novembro, 2012 – julho, 2014, em função da aplicação dos tratamentos e do sistema de manejo direto (SD) e convencional (SC) de solo.

Tratamentos	N. Raiz (Nr)		N parte aérea (Np)		N total (Nr+ Np)	
	SD	SC	SD	SC	SD	SC
	kg ha ⁻¹					
Testemunha	143,5	141,3	56,2	68,4	199,7	209,7
Calcário	127,7	155,1	57,7	62,4	185,4	217,6
Silicato	113,2	155,9	63,7	59,9	176,9	225,8
Gesso+Calc.	174,9	180,9	69,0	61,0	243,9	241,8
Gesso+Silic.	148,9	134,1	57,0	66,5	205,9	200,6
Média	141,6	153,4	61,3	63,68	202,37	219,1
DMS	32,1**	34,5**	4,7**	13,7ns	23,9**	19,9**

Médias seguidas de ** na DMS diferem estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade e ns – não significativo pelo teste t (LSD).

Segundo a soma total do aporte de C e N no solo, através da produção de biomassa (raiz + parte aérea), nas Tabelas 7 e 8, maiores médias foram observadas no tratamento gesso + calcário para os dois sistemas de cultivo. É bem difundido o efeito do uso do gesso agrícola no aumento de produção de grãos e biomassa, além de aumentar a disponibilidade de Ca e S para as plantas no perfil do solo,

promovendo o carreamento de outras bases, como Mg e K, favorecendo o desenvolvimento radicular, principalmente em condições de veranicos, com a melhor utilização de água e nutrientes (RAMPIM et al., 2011). De acordo com esses resultados, a utilização de gesso tende a ser uma prática promissora eficiente na mitigação de gases de efeito estufa, na agricultura, através da produção de biomassa radicular, porque, conforme Yu (2004) e Nishi et al. (2005), cada tonelada de C fixado na fitomassa corresponde ao equivalente a uma mitigação de 3,67 t de CO₂ da atmosfera.

Por outro lado, não foram necessariamente as melhores condições químicas do solo proporcionadas pela aplicação do silicato que aumentaram o aporte de C no solo. Talvez o maior aporte de carbono no solo, nos tratamentos com calcário, seja o resultado da reação do produto no solo, não expresso na caracterização química do solo. Diferentemente da silicatagem, é bem difundido o efeito da prática da calagem no solo e a maior produção de culturas, na literatura, a qual está relacionada a melhorias na química do solo e ao aumento de produção de resíduos culturais, resultando em maior retorno de C no solo (BRIEDIS et al., 2012).

Para os sistemas de manejo, o estoque de N no solo via plantas foi inversamente proporcional ao do aporte de C, sendo de 219,1 kg ha⁻¹, no SC, e 202,37 kg ha⁻¹, no SD. Todavia, nem sempre há diferença de acúmulo de C e N, no aporte de resíduos, em função do cultivo de soja e milho em sistema de manejo direto e convencional de solo (BORDIN et al., 2008).

O aporte de N, no SC, parece ser uma consequência da maior produção de matéria seca, e não um efeito sobre a concentração do nutriente nos tecidos (Tabela 8). O N é transformado em composto orgânico, acumulando-se inicialmente nas folhas e caules, para depois ser transportado aos grãos e, por conseguinte, às sementes. A adequada nutrição nitrogenada promove um bom desenvolvimento da cultura (ORDONEZ; COMPANY, 1990).

6.3 Diagnose foliar e produtividade das culturas de soja e milho e aplicação de corretivos no solo

Conforme as Tabelas 9, 10 e 11, os níveis de nutrientes observados através da diagnose foliar das culturas se encontram dentro da faixa ou mesmo superior à

considerada como adequada para o desenvolvimento completo do ciclo das plantas (AMBROSANO et al., 1996).

O uso de corretivos e o sistema de manejo pouco influenciaram os teores de nutrientes foliares das culturas de soja e milho. Mesmo que alguns elementos tenham mostrado diferença entre tratamentos, não estavam na faixa de insuficiência para as culturas. Com relação à diagnose foliar da primeira safra de soja (2013), houve significância nos resultados apenas no SC para o Ca e Mg. O uso de gesso aumentou esses nutrientes, na folha, devido à composição do produto e maior fornecimento desses nutrientes pelo mesmo (Tabela 9).

Tabela 9: Valores médios de nutrientes nas folhas de soja coletadas em pleno estágio de florescimento da cultura (janeiro, 2013).

Tratamentos	N	P	Ca	Mg	K	Cu	Zn	Mn	Fe
	g kg ⁻¹					mg kg ⁻¹			
Sistema Direto									
Testemunha	53,9	3,8	10,4	4,3	38,9	15,6	77,8	195,0	366,6
Calcário	54,8	3,9	10,2	4,5	39,4	14,3	73,8	171,4	366,6
Silicato	53,3	3,8	8,8	3,8	31,4	12,9	59,7	119,7	308,8
Gesso+Calc.	53,6	4,1	10,6	4,4	39,6	15,6	75,1	143,8	360,9
Gesso+Silic.	53,8	4,0	10,9	4,1	38,8	16,2	73,8	167,9	367,6
Média	53,9	3,9	10,2	4,2	37,6	14,9	72,0	159,6	354,1
DMS	3,5ns	0,3ns	2,9ns	0,8ns	11,7ns	4,0ns	22,4ns	69,2ns	65,8ns
Sistema Convencional									
Testemunha	52,4	3,8	9,7	4,1	36,9	17,5	73,6	267,8	455,7
Calcário	52,6	4,1	10,2	4,2	36,9	19,5	73,8	304,4	412,1
Silicato	56,2	4,1	10,3	4,0	36,4	18,9	61,7	256,2	425,4
Gesso+Calc.	53,5	4,2	10,6	4,3	36,6	19,5	75,8	289,3	436,7
Gesso+Silic.	49,5	3,9	11,4	4,2	36,4	19,5	75,8	288,0	491,7
Média	52,8	4,0	10,5	4,2	36,7	19,0	72,2	281,2	444,3
DMS	7,1ns	0,5ns	1,0**	0,1**	2,6ns	3,4ns	14,3ns	71,6ns	99,1ns

Médias seguidas de ** na DMS diferem estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade e ns – não significativo pelo teste t (LSD).

Na diagnose foliar do milho, houve efeito dos tratamentos apenas no SC (Tabela 10). Os teores de Fe e Ca foram aumentados. O gesso + silicato e silicato aumentaram o Ca nas folhas de milho, não diferindo do uso do gesso + calcário. O tratamento com gesso + calcário foi igual a todos os tratamentos, incluindo a testemunha. Já vem sendo atribuído à presença de Si, no solo, efeito benéfico na absorção de Ca, Fe,

Zn, Mn e Cu, além de aumento de produtividade, principalmente de gramíneas (RODRIGUES et al., 2007). Quanto ao teor de Fe, o tratamento gesso + silicato resultou em sua redução nas folhas de milho, diferindo de todos os outros tratamentos, nos quais os teores foram iguais.

Tabela 10: Valores médios de nutrientes nas folhas de milho coletadas em pleno estágio de florescimento da cultura (junho, 2013).

Tratamentos	N	P	Ca	Mg	K	Cu	Zn	Mn	Fe
	g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹		
Sistema Direto									
Testemunha	29,7	3,5	7,1	4,0	18,6	10,2	30,5	90,6	410,0
Calcário	29,0	3,5	7,0	5,5	18,9	11,5	33,1	78,7	422,3
Silicato	28,2	3,7	9,5	6,0	12,3	11,2	33,1	84,1	462,8
Gesso+Calc.	29,4	3,5	8,0	5,3	18,8	12,0	24,3	78,1	421,7
Gesso+Silic.	30,8	3,4	9,7	3,9	13,8	10,6	24,2	85,5	344,2
Média	29,4	3,5	8,3	4,9	18,5	11,1	27,5	83,4	412,2
DMS	5,6ns	0,7ns	2,0ns	1,0ns	5,9ns	1,7ns	12,0ns	20,1ns	110,3ns
Sistema Convencional									
Testemunha	33,2	3,8	6,9	4,1	19,5	8,9	27,7	144,5	387,9
Calcário	31,7	3,8	6,8	4,9	17,0	10,6	26,7	140,7	375,6
Silicato	30,0	3,6	8,6	3,9	17,2	9,8	25,7	142,1	369,1
Gesso+Calc.	32,1	3,7	7,9	4,9	13,7	10,6	25,5	149,4	364,5
Gesso+Silic.	32,7	3,8	9,1	3,9	12,3	10,0	26,4	139,8	306,1
Média	32,0	3,8	7,9	4,3	16,9	10,0	26,4	143,3	360,6
DMS	2,4ns	0,3ns	1,5**	1,2ns	4,5ns	1,6ns	7,1ns	22,9ns	52,1**

Médias seguidas de ** na DMS diferem estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade e ns – não significativo pelo teste t (LSD).

Na safra de soja, em 2014, não houve resposta aos tratamentos para os macronutrientes; em contrapartida, os tratamentos alteraram os teores de micronutrientes (Tabela 11). No SD, o teor de Zn nas folhas aumentou com a aplicação de gesso em mistura com os corretivos e o uso isolado de calcário, diferindo de Summer et al. (1986), para os quais a calagem reduziu a disponibilidade de micronutrientes. Por outro lado, o tratamento testemunha e silicato diminuíram o teor de Zn nas folhas de soja. No SC de cultivo, a aplicação de gesso + silicato aumentou o Zn, Mn e Fe, diferindo da testemunha, que apresentou menor teor, o mesmo relatado por Rodrigues et al. (2007), quando no uso de silicato. Para o teor de Fe, houve redução no uso do gesso + silicato. Entretanto, os resultados indicam que o emprego de corretivos e gesso não prejudicou o teor de micronutrientes no solo e planta.

Tabela 11: Valores médios de nutrientes nas folhas de soja coletadas em pleno estágio de florescimento da cultura (janeiro, 2014).

Tratamentos	N	P	Ca	Mg	K	Cu	Zn	Mn	Fe
	g kg ⁻¹					mg kg ⁻¹			
Sistema Direto									
Testemunha	48,4	3,1	9,3	3,1	18,8	8,4	48,5	227,3	189,0
Calcário	54,6	3,5	9,3	3,0	18,2	8,9 a	61,7	258,4	211,4
Silicato	54,8	3,1	9,4	3,3	21,1	9,6	54,3	245,1	177,1
Gesso+Calc.	51,9	3,3	7,6	2,9	18,3	8,0	57,8	268,6	167,7
Gesso+Silic.	54,2	3,5	8,9	3,0	21,1	9,7	69,5	271,1	180,4
Média	52,8	3,3	8,9	3,1	19,5	8,9	58,4	254,1	185,1
DMS	5,6ns	0,7ns	2,0ns	1,0ns	5,9ns	1,7ns	12,0**	110,2ns	55,3ns
Sistema Convencional									
Testemunha	55,5	3,9	7,7	2,9	20,2	9,7	41,4	269,2	278,2
Calcário	56,1	3,5	7,2	2,7	21,1	9,9	43,4	292,6	162,5
Silicato	57,2	3,8	6,8	2,8	21,1	9,7	45,7	330,3	211,0
Gesso+Calc.	53,7	3,9	6,2	2,6	18,7	10,1	48,0	244,6	302,3
Gesso+Silic.	54,3	3,7	6,0	2,8	19,2	9,5	58,2	413,3	325,8
Média	55,3	3,7	6,8	2,8	20,1	9,8	47,3	310,0	256,0
DMS	2,4ns	0,5ns	1,9ns	0,4ns	3,5ns	1,9ns	11,3**	60,6**	35,2**

Médias seguidas de ** na DMS diferem estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade e ns – não significativo pelo teste t (LSD).

A produção de grãos de milho e soja foi influenciada pela aplicação dos corretivos em todas as safras, para os dois sistemas de manejo. Deve-se destacar que todos os tratamentos que receberam a aplicação de algum corretivo proporcionaram médias de produtividade superiores à da testemunha (Tabelas 12 e 13). O efeito dos corretivos na produtividade da soja, na safra de 2013, foi semelhante, em ambos os sistemas de manejo de solo (Tabela 12). A utilização de gesso e a aplicação apenas de calcário aumentaram a produção de grãos de soja, enquanto nos tratamentos silicato e testemunha a produtividade foi menor. No SD, a aplicação do gesso elevou em média 30% a produtividade, em comparação com a testemunha. No SC, o aumento da produção de grãos com uso do gesso foi menor, porém, ainda foi observado um incremento de aproximadamente 10% para o tratamento G+S, em relação à testemunha. Ainda no SC, no tratamento com calcário, a produção foi maior que no tratamento gesso + calcário.

Na safra da soja de 2014, as respostas para os corretivos dentro dos sistemas de manejo foram equivalentes à safra de 2013 (Tabela 12). A média de produtividade da soja, entre os dois anos, foi de 2936 e 3372 kg ha⁻¹ para o SD e SC, respectivamente.

O aumento de produção da soja com o uso do gesso tem sido atribuído ao enxofre, pois, no aumento da concentração deste, no solo, há maior absorção pelas plantas, e passa a atuar como constituinte de aminoácidos essenciais (cistina e metionina) e de várias coenzimas (MARSCHNER, 2012).

Outra possível explicação é a atuação do gesso agrícola na redução da toxidez do Al trocável, de sorte que, com a elevação dos teores de cálcio, magnésio e enxofre, no subsolo, ocorre maior penetração das raízes em profundidade (SERAFIM et al., 2012; RAMPIM et al., 2011).

Tabela 12: Produtividade de grãos da soja, em função da aplicação dos tratamentos e do sistema de manejo direto (SD) e convencional (SC) de solo, nos dois anos agrícolas (março, 2013 e 2014).

Tratamentos	Produtividade -2013		Produtividade -2014	
	SD	SC	SD	SC
			kg ha ⁻¹	
Testemunha	2272	3297	2421	2593
Calcário	3090	3886	3643	3454
Silicato	2759	3256	2605	3017
Gesso+Calc.	3340	3668	3449	3405
Gesso+Silic.	3041	3665	2737	3485
Média	2901	3554	2971	3191
DMS	437**	450**	319**	357**

Médias seguidas de ** na DMS diferem estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade e ns – não significativo pelo teste t (LSD).

A média geral de produção de milho, para o milho segunda safra, de todos os tratamentos, é considerada baixa, segundo os dados da CONAB (2014), em comparação à média nacional. Isso pode ser consequência das condições climáticas e da semeadura tardia, em decorrência da cultura da soja. A média de produtividade de grãos de milho, no SD, foi de 2553 e, no SC, 4080 kg ha⁻¹. A mistura gesso + silicato aumentou a produtividade de grãos de milho, nos dois sistemas (Tabela 13).

No SD, a aplicação de gesso aumentou a produtividade de grãos de milho. A testemunha se distinguiu apenas dos tratamentos com aplicação de gesso, apresentando menores produtividades. Tais resultados são concordantes com alguns trabalhos que revelam, em solos ácidos sobre SD, respostas pouco expressivas do milho à aplicação superficial de calcário (CAIRES et al., 1999; RHEINHEIMER et al., 2000).

Por sua vez, no SC, o emprego do silicato ou calcário, associado ao gesso, também aumentou a produtividade do milho. O uso do calcário não aumentou a produção em relação à testemunha, diferindo de alguns trabalhos nos quais houve aumentos consideráveis na produção de milho, com a aplicação de calcário incorporado ao solo, em sistema de preparo convencional (CAMARGO et al., 1982; RAIJ et al., 1983; ERNANI et al., 1998), mesmo para genótipos com resistência ao Al (RAIJ et al., 1998).

Para o efeito do gesso, respostas positivas do milho têm sido observadas em variadas condições de solo e clima (RAIJ et al., 1998; CAIRES et al., 1999). Já o aumento de produção, comparativamente ao tratamento mistura gesso + silicato, com apenas o uso do silicato, foi de 684 kg ha⁻¹ e 825 kg ha⁻¹, no SD e SC, respectivamente. É indiscutível e conhecido o efeito do Si em algumas gramíneas, incluindo arroz, milho, trigo, cana de açúcar, sorgo, milheto e aveia em relação ao aumento de produtividade (KORDORFER et al., 2001). Segundo Agarie et al. (2002), o Si pode estar ligado ao aumento da atividade fotossintética da planta, favorecendo melhor aproveitamento de água, devido à redução da transpiração.

Tabela 13: Produtividade milho, em função da aplicação dos tratamentos e do sistema de manejo direto (SD) e convencional (SC) de solo (agosto, 2013).

Tratamentos	Produtividade	
	SD	SC
	kg ha ⁻¹	
Testemunha	2065	3267
Calcário	2470	3920
Silicato	2305	4001
Gesso+Calc.	2935	4384
Gesso+Silic.	2989	4826
Média	2553	4080
DMS	665**	662**

Médias seguidas de ** na DMS diferem estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade e ns – não significativo pelo teste t (LSD).

A menor produtividade no SD pode ser explicada pelo curto período de implantação do sistema; no decorrer do tempo, o rendimento produtivo poderá ser aumentado, conforme estudos de Carvalho et al. (2004), em função das melhores condições propiciadas pelo manejo, como a melhoria na qualidade química, física e biológica do solo, em consequência da deposição de palha na superfície.

Mesmo que sejam dois experimentos independentes (SC e SD de cultivo), já se pode observar a aproximação dos valores médios de produção entre ambos os sistemas, na segunda safra de soja. Apesar dos menores rendimentos no SD, esta é a maneira mais sustentável de se fazer agricultura, além de visar à proteção ambiental. A produtividade apresentada no SC ainda evidencia a grande capacidade compensatória das culturas, sobretudo a soja, porque, em ambas as safras, a população de plantas chegou a ser afetada em função da facilidade de ataque às sementes por pombas, no solo, após a semeadura. Outro fator que pode ser atribuído ao baixo rendimento produtivo de grãos é a densidade do solo (dados não apresentados), ou seja, menor compactação da camada superficial no SC, a qual pode ter proporcionado maior crescimento radicular e absorção de água e nutrientes, ainda que a compactação do solo reduza o crescimento radicular da cultura da soja, segundo Silva e Rosolem (2002).

Os dados de exportação de C e N são diretamente associados com a produtividade de grãos (PEREZ et al., 2013). Todavia, de acordo com a Tabela 14, as respostas estão condizentes à exportação de C e N, quanto aos tratamentos. A MOS é composta basicamente de C e N, a exportação de N no SD de cultivo pode estar ligada ao maior estoque de MOS, assim, a absorção de N pelas culturas é aumentada, em razão da maior concentração do nutriente nesses solos, refletindo a exportação pelos grãos de soja e milho. Na verdade, a remoção de N do sistema se dá basicamente pelas colheitas e, portanto, pela mineralização da MOS (SISTI et al., 2004; DIEKOW et al., 2005), contudo, o mesmo efeito não pode ser observado no SC, em razão do baixo acúmulo de MOS.

Tabela 14: Carbono e nitrogênio exportados pelas culturas através da produção de grãos no período de novembro, 2012 – julho, 2014 em função da aplicação dos tratamentos e do sistema de manejo direto (SD) e convencional (SC) de solo.

Tratamentos	Cexp.		Nexp.	
	SD	SC	SD	SC
	Mg ha ⁻¹		kg ha ⁻¹	
Testemunha	3,31	4,49	340,51	453,60
Calcário	4,53	5,51	474,42	551,12
Silicato	3,77	5,00	387,29	490,48
Gesso+Calc.	4,77	5,60	485,52	558,90
Gesso+Silic.	4,27	5,84	439,20	574,66
Média	4,13	5,28	425,39	525,75
DMS	0,43**	0,28**	33,25**	38,00**

Médias seguidas de ** na DMS diferem estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade e ns – não significativo pelo teste t (LSD).

6.4 Emissão de gases de efeito estufa até 35 dias após a correção de acidez do solo

Durante 35 dias após a aplicação dos corretivos, foi analisado o fluxo de CO₂, N₂O e CH₄ do solo, sem presença de plantas, isolando-se apenas o efeito da correção de acidez do solo dentro de cada sistema de manejo, em condições de campo. O fluxo de gases foi alterado pelo uso dos corretivos e está descrito a seguir.

6.4.1 Emissão de CO₂

O fluxo médio de CO₂ do solo foi de 41 e 81 mg m⁻² h⁻¹ para o SD e SC, respectivamente (Figura 16). O preparo do solo contribui com a incorporação dos corretivos no solo além da quebra de agregados, expondo parte do carbono lábil e favorecendo a degradação microbiana, além da redução da palhada, que protege o solo da radiação solar (aumento de temperatura) e perda de umidade (LAL, 2009; SCHWARTZ et al., 2010), ocasionando conseqüentemente maior efluxo de CO₂ para a atmosfera (Tabela 15).

Para os dados de emissão relativa e acumulada no SD, o maior fluxo de CO₂ do solo ocorreu na testemunha, o qual foi igual ao uso do silicato + gesso. As menores emissões foram observadas com a mistura de calcário + gesso, calcário e silicato (Tabela 15). A correção de acidez do solo está ligada à reatividade do corretivo com o solo. A ausência de incorporação dos tratamentos no SD levou a um menor contato partícula-solo-corretivo, dificultando o processo de reação do calcário no solo.

Ainda no SD, no tratamento testemunha, houve uma emissão de 38 kg ha⁻¹ de C maior que o tratamento testemunha do SC. Ou seja, em meio às mesmas condições experimentais, o preparo do solo não foi o principal responsável pela emissão inicial de dióxido de carbono, no sistema, mas parte da contribuição da reatividade dos corretivos, através do aumento da superfície de contato partícula-solo. O mesmo pode ser verificado na diferença entre tratamentos no SD de cultivo, com maior emissão de C na testemunha.

Tabela 15: Emissão relativa e emissão acumulada de C-CO₂ em função da aplicação dos tratamentos e sistemas de manejo após 35 dias da aplicação dos corretivos.

Tratamentos	Emissão Relativa		Emissão Acumulada	
	SD	SC	SD	SC
	CO ₂ g m ⁻² dia ⁻¹		C- CO ₂ kg ha ⁻¹	
Testemunha	1,13	1,27	445,2	407,6
Calcário	0,91	2,47	403,5	674,6
Silicato	0,93	1,44	382,5	402,1
Gesso+Calc.	0,84	2,53	341,8	757,7
Gesso+Silic.	1,08	2,05	421,6	581,9
Média	0,98	1,95	398,9	564,8
DMS	0,19**	0,45**	99,3**	69,1**

Médias seguidas de ** na DMS diferem estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade e ns – não significativo pelo teste t (LSD).

O aumento do pH, a diminuição da acidez potencial e o incremento do teor de Ca, no final dos 35 dias de avaliação dos fluxos de gases, explicam a diferença do efeito dos corretivos, no que concerne à testemunha, no SC. Os efeitos de tratamentos na emissão relativa e acumulada tiveram as mesmas respostas. A maior emissão relativa de CO₂, no SC, para os tratamentos com calcário, em relação aos outros tratamentos, pode ser explicada pela reação do produto com o solo, que conseqüentemente levou a um efluxo de C para a atmosfera de 50% maior que a testemunha. Nos tratamentos com silicato e testemunha, verificaram-se menores perdas de C para o sistema, na média de 1.17 g m⁻² d⁻¹, quando comparados aos tratamentos com calcário.

Levando-se em consideração a emissão acumulada de C-CO₂, visando ao uso de silicato e calcário sem a mistura com gesso, no SD, os tratamentos foram iguais. Já no SC, o uso do silicato foi mais eficiente na mitigação de CO₂ no solo, com uma redução no fluxo de 270 kg ha⁻² C-CO₂ eq, comparado à aplicação de calcário, embora os dados de pH e Ca tenham sido iguais para os tratamentos. Com esses dados, há evidências de que, no intervalo de avaliação de 35 dias, a calagem é uma importante fonte de emissão de C, através de emissões resultantes da hidrólise do carbonato de cálcio.

De acordo com a Figura 16, há um pico de emissão de CO₂ aos 3 e 5 dias, no SD e SC, respectivamente, após a aplicação dos corretivos. No entanto, esses fluxos após o manejo se devem sobretudo ao CO₂ já formado no solo resultante da decomposição de resíduos e não à reação dos tratamentos, pois, nesse curto intervalo de tempo, os microrganismos ainda estão se adaptando às condições do meio (REICOSKY et al., 1997).

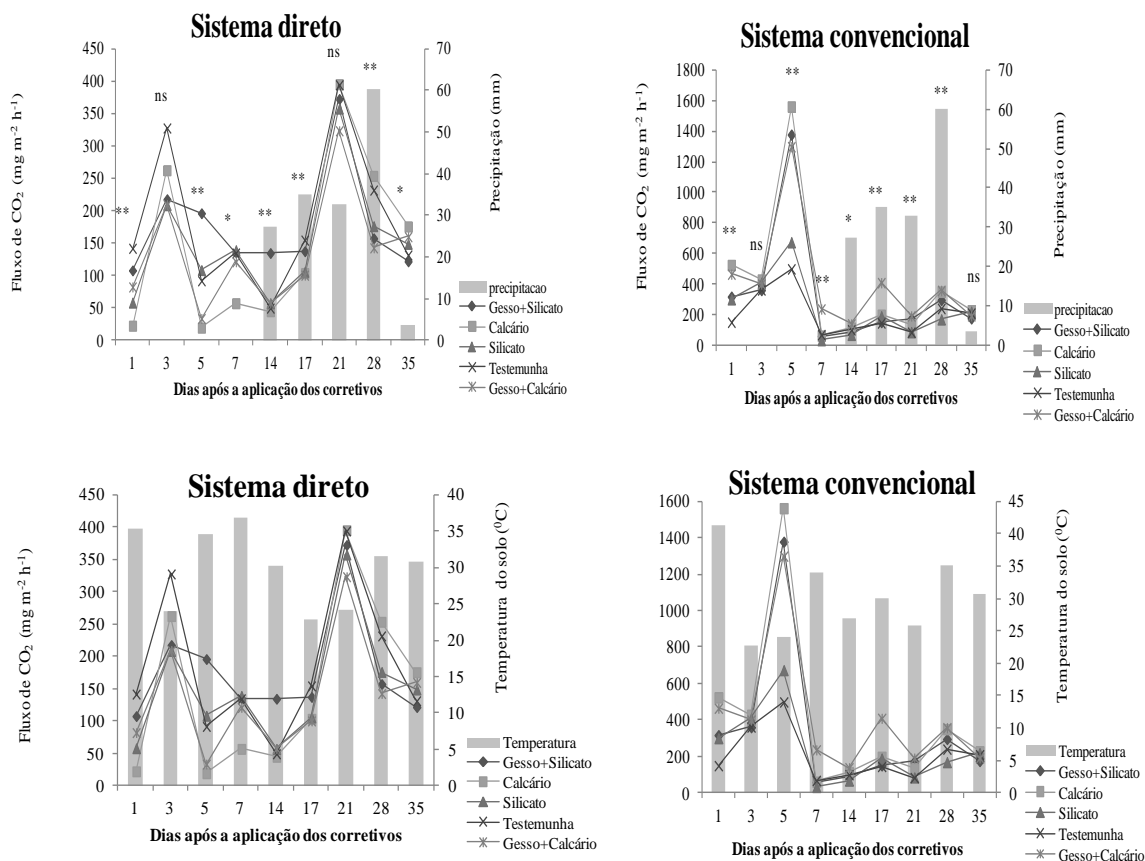
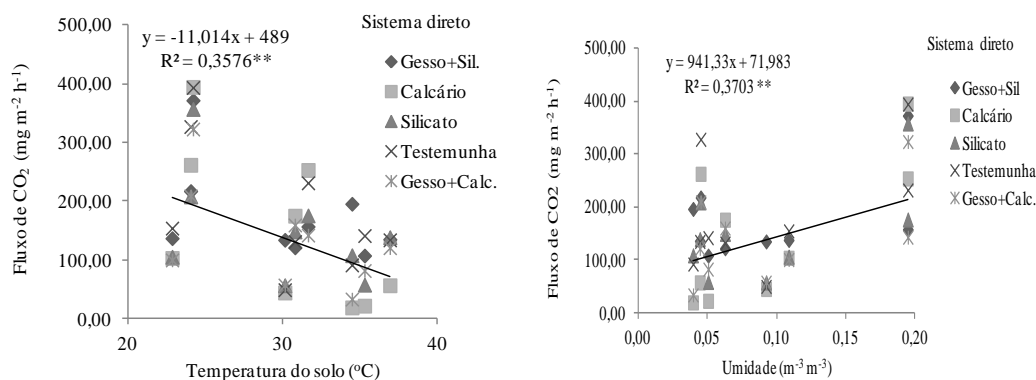


Figura 16: Fluxos de CO₂ (mg m⁻² h⁻¹) do solo em função dos tratamentos em consequência da precipitação e temperatura do solo no período da amostragem nos sistemas de manejo convencional e direto. (Período de 03/10/2012 a 06/11/2012). (** 1%, * 5% e ns – não significativo pelo teste t (LSD)).

Para os dados de temperatura e umidade do solo em função da aplicação dos tratamentos dentro de cada sistema de manejo, não houve diferença nos resultados (dados não apresentados). Independentemente do tipo de tratamento e sistema, as emissões de CO₂ iniciais tiveram estreita relação com a umidade e temperatura do solo, contudo, picos de emissões foram detectados, quando em condições de aumento da umidade e redução da temperatura, no SD (Figura 17). No SC, a emissão de CO₂ foi mais constante, enquanto, no SD, ocorreram maiores oscilações nas emissões quanto às condições climáticas. O fluxo de CO₂ do solo para a atmosfera correlacionou-se positivamente com a umidade do solo no SD, apenas; por outro lado, o coeficiente de determinação foi fraco e negativo com a temperatura do SD e SC e umidade, no SC (Figura 17).

No período avaliado, houve precipitação total de 159 mm, próxima aos 14, 21 e 28 dias após a aplicação dos tratamentos (Figura 1). Tal fato explica o pico de emissão aos 21 dias no SD, porque a chuva saturou momentaneamente o solo, ocorrendo diminuição da difusão de O_2 . Todavia, os dados de pH não indicam a reação do calcário no solo, no SD, no período inicial avaliado. Biasi et al. (2008), em condições de laboratório, observaram que 53 a 70% do C-CO₂ emitidos se deram a partir da utilização de calcário, porém, os mesmos valores podem variar conforme a acidez e a reação, enquanto, em condições de campo, em dois meses de avaliação, a emissão de carbono com o uso da calagem também foi aumentada em relação a testemunha.

a



b

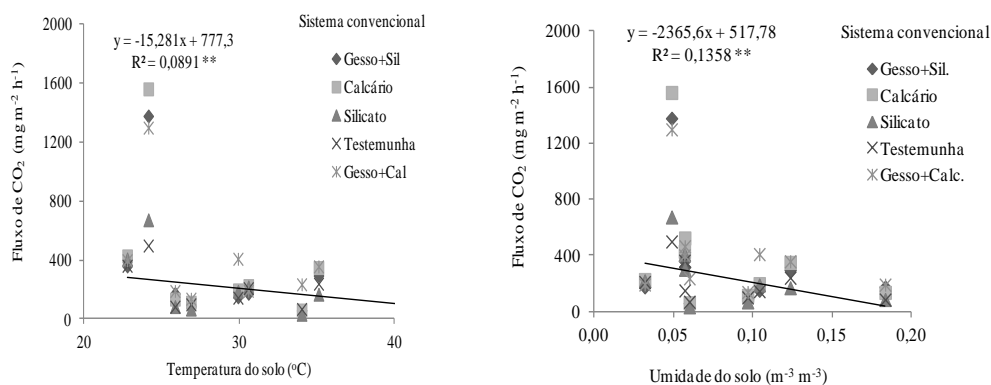


Figura 17: Correlação entre o fluxo de CO₂ (mg m⁻² h⁻¹) e a temperatura do solo (°C) e umidade do solo (m⁻³ m⁻³) no sistema direto (a) e sistema convencional (b) de cultivo de solo. Média dos 35 dias após a aplicação dos tratamentos. Probabilidade da variância do coeficiente de determinação *P<0,05, **P<0.01, ns (não significativo).

Na literatura, há divergências quanto à correlação da temperatura e umidade com o fluxo de CO₂ do solo. Para essa correlação ser positiva, vai depender da faixa de temperatura do solo; no experimento, esta variou de 20-40°C e uma correlação negativa significativa com a umidade de 0,12. É comum a temperatura do solo se correlacionar negativamente com a umidade, fator que dificulta a distinção dos efeitos (DAVIDSON et al., 1998). Segundo Schaufler et al. (2010), o que potencializa a emissão de CO₂ são os fatores climáticos temperatura e umidade, os quais, oscilando, dificultam a discussão dos mesmos. Todavia, Verbug et al. (2005) notaram que o fluxo de CO₂ do solo apresenta relação inversa com a temperatura do solo, quando esta excede os 20°C. À medida que aumentou a temperatura, diminuiu o fluxo de CO₂ (Figura 16).

6.4.2 Emissão de CH₄ e N₂O

Emissões de N₂O foram observadas em diferentes magnitudes. Isso indica que as emissões do SC foram regidas e aceleradas pelo processo de nitrificação, o qual acontece em condições de aerobiose, devido à maior aeração e condições satisfatórias de umidade para a atividade microbiana, a partir do sistema de preparo do solo (Figura 18). Na literatura, ainda há resultados contrastantes para a emissão de N₂O: enquanto Veterea et al. (2011) não verificaram diferença entre sistemas, Ussuri et al. (2009) encontraram redução do fluxo de N₂O no SD em relação ao SC. Ressalta-se que a nitrificação também é favorecida por condições de aumento de C, ou mesmo em áreas com maior estoque de carbono pode haver maiores emissões de N₂O (STEVENS; LAUGHLIN, 1998).

Quanto à emissão relativa diária de N₂O, não houve diferença entre tratamentos, no SD, ao passo que, no SC, os tratamentos testemunha e gesso + silicato apresentaram menores emissões que o calcário, silicato e gesso + calcário (Tabela 16).

Para a emissão acumulada, ainda no SD, a mistura de gesso aos corretivos diminuiu a perda de N, não diferindo do tratamento com calcário. O maior pico de emissão do período foi observado com o uso do silicato, com uma diferença de 29,4 g ha⁻¹ de N-N₂O, em comparação com o tratamento com menor emissão (Tabela 16). No SC, o gesso + silicato e a testemunha foram iguais e apresentaram menores efluxos de N₂O que os demais tratamentos. O emprego do silicato aumentou a emissão acumulada de N, em uma média de 33% em relação à testemunha. A maior emissão de N no tratamento com silicato, para ambos os sistemas de manejo, pode ser explicada pelo maior poder

neutralizante do produto no solo (ALCARDE; RODELLA, 2003), que aumenta a mineralização de N e, conseqüentemente, as perdas de N₂O, visto que não havia plantas na área para absorção desse N mineralizado (Tabela 16).

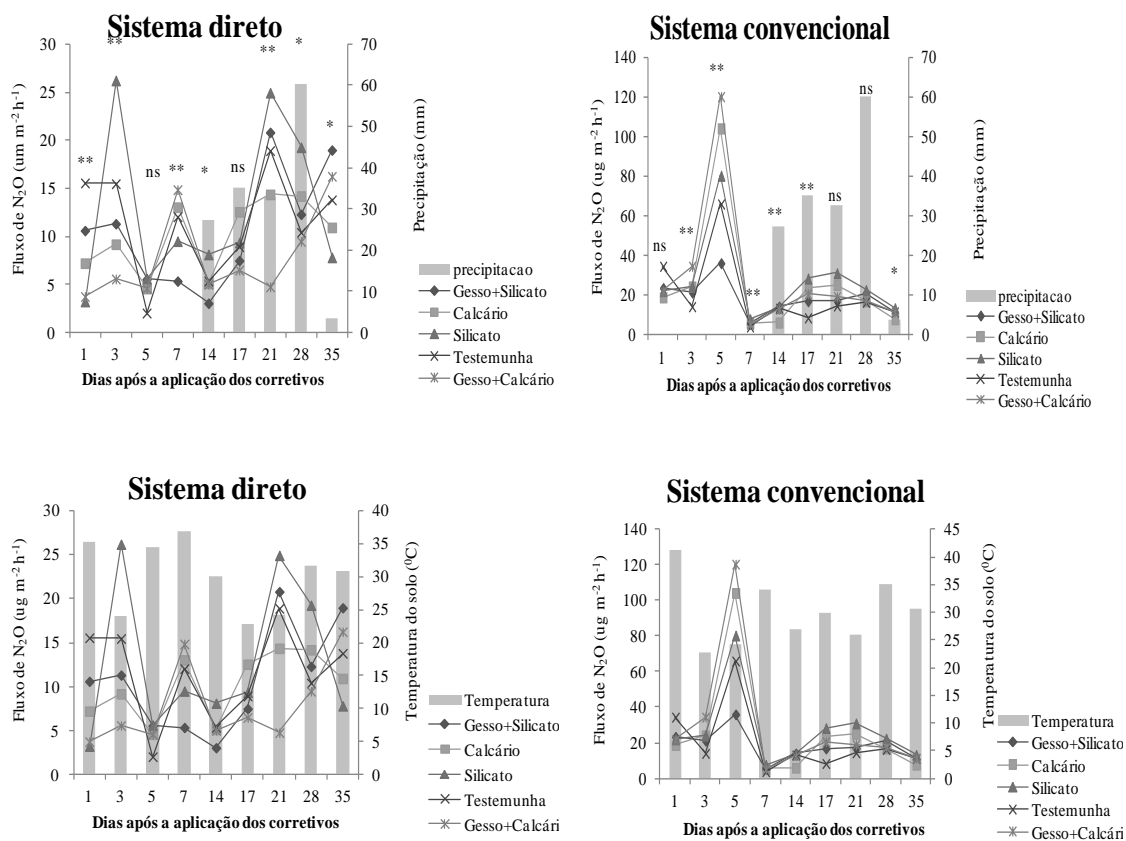


Figura 18: Fluxos de N₂O (ug m⁻² h⁻¹) do solo em função dos tratamentos em consequência da precipitação e temperatura do solo no período da amostragem nos sistemas de manejo convencional e direto. (Período de 03/10/2012 a 06/11/2012). (** 1%, * 5% e ns – não significativo pelo teste t (LSD)).

A correção de acidez do solo promoveu declínio na emissão acumulada de N-N₂O, no SD, exceto no tratamento com silicato, enquanto, no SC de cultivo, aumentos do fluxo de N para a atmosfera foram percebidos na presença dos corretivos. Essas observações estão ligadas diretamente ao aumento do pH do solo e, em consequência, à atividade microbiana (PAGE et al., 2009). Porém, em outros estudos, já se observou declínio da emissão de N₂O em resposta à aplicação de calcário e plantas de cobertura em sistema direto de cultivo (BARTON et al., 2013a; BARTON et al., 2013 b).

Tabela 16: Emissão relativa e emissão acumulada de N- N₂O, em função da aplicação dos tratamentos e sistemas de manejo após 35 dias da aplicação dos corretivos.

Tratamentos	Emissão Relativa		Emissão Acumulada	
	SD	SC	SD	SC
	N ₂ O mg m ⁻² dia ⁻¹		N-N ₂ O g ha ⁻¹	
Testemunha	0,07	0,12	58,7	81,5
Calcário	0,06	0,16	57,4	105,0
Silicato	0,07	0,17	72,9	121,7
Gesso+Calc.	0,05	0,18	43,5	114,1
Gesso+Silic.	0,06	0,11	56,9	86,1
Média	0,06	0,14	57,9	101,7
DMS	0,02ns	0,05**	12,2**	17,7**

Médias seguidas de ** na DMS diferem estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade e ns – não significativo pelo teste t (LSD).

Para a correlação da emissão de N₂O com a umidade e temperatura do solo, seguiram as mesmas respostas da emissão de CO₂ (Figura 16). As correlações foram fracas e significativas, exceto para a temperatura no SD, que não foi significativa. Todavia, observando os dados, há uma leve tendência de o aumento de umidade e a diminuição da temperatura aumentarem o fluxo de N₂O, no SD. Enquanto isso, no SC, não houve relação dos fatores climáticos com a emissão (Figura 19).

Temperaturas acima de 30°C reduzem a atividade microbiana, pelo fato de promoverem a morte dos microrganismos, reação muito comum em regiões de clima tropical, o inverso de regiões de clima temperado e subtropical (GHINI et al., 2003). Conforme a Figura 19, os maiores fluxos de emissão de N₂O ficaram na média de 25° C, passando a serem reduzidos, à medida que aumentou a temperatura do solo.

O mecanismo de como a calagem atua na diminuição do fluxo de N₂O para a atmosfera se dá no aumento da oxidação de nitrito (NO²⁻ para NO³⁻), restringindo a disponibilidade de NO²⁻ para N₂O (PAGE et al., 2009). Porém, há relatos de que a prática da calagem reduz a emissão de N₂O, especialmente quando há altos estoques de N no solo (BARTON et al., 2013b). Os resultados diferem de Baggs et al., (2006), quanto à menor emissão de N₂O em SD, pois a difusão de O₂ no solo, aliada ao maior teor de MO e à maior atividade microbiana, cria sítios de anaerobiose, favorecendo a produção de N₂O. Isso explica que a perda de N no sistema pode estar ligada à mineralização e não à decomposição da MO no SC.

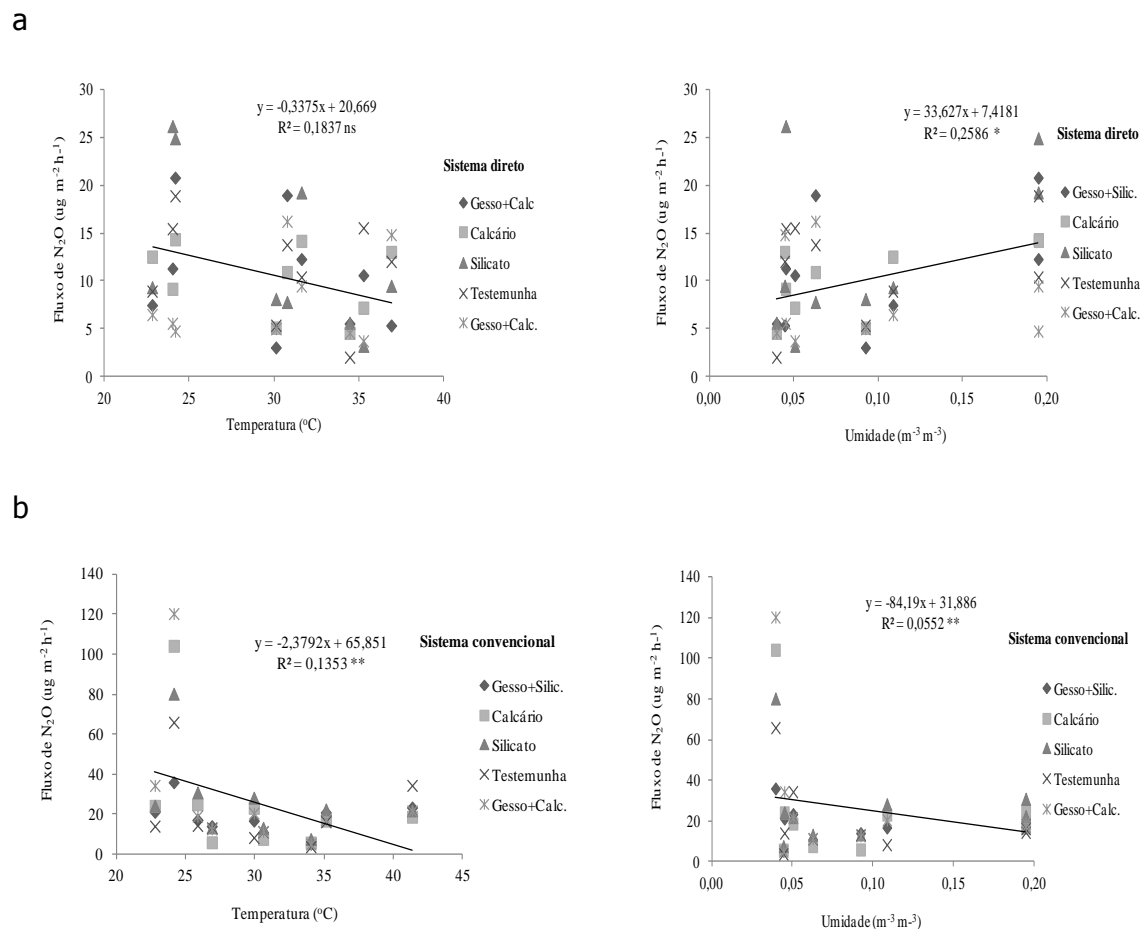


Figura 19: Correlação entre o fluxo de N₂O (ug m⁻² h⁻¹) e a temperatura do solo (°C) e umidade do solo (m⁻³ m⁻³) no sistema direto (a) e sistema convencional (b) de cultivo de solo. Média dos 35 dias após a aplicação dos tratamentos. Probabilidade da variância do coeficiente de determinação *P<0,05, **P<0.01, ns (não significativo). *P<0,05, **P<0.01, ns (não significativo).

Foi notado influxo de CH₄ no solo, nos dois sistemas de manejo, sendo de 1,24 E-04 no SD e -2,30 E-04 g m⁻² dia⁻¹ para o SC (Figura 20). A maior oxidação de CH₄ no SD está relacionada ao estoque de MOS e menor oxigenação do solo, ocasionada pela ausência de preparo do solo, ambiente que favorece a atividade da metanogênese, provocando menor adsorção de CH₄ no solo.

Mesmo que tenha ocorrido influência dos tratamentos na emissão de N₂O, já para CH₄, não foi observado nenhum efeito dos corretivos, em ambos os sistemas de manejo, tanto para emissão relativa quanto acumulada (Tabela 17).

Tabela 17: Emissão relativa e emissão acumulada de C-CH₄, em função da aplicação dos tratamentos e sistemas de manejo após 35 dias da aplicação dos corretivos.

Tratamentos	Emissão Relativa		Emissão Acumulada	
	SD	SC	SD	SC
	CH ₄ g m ⁻² dia ⁻¹		C- CH ₄ g m ⁻²	
Testemunha	-1,10E-04	-2,35E-04	-4,00E-03	-7,20E-03
Calcário	-1,43E-04	-2,33E-04	-5,90E-03	-7,40E-03
Silicato	-1,28E-04	-2,10E-04	-4,70E-03	-6,40E-03
Gesso+Calc.	-1,33E-04	-2,43E-04	-4,00E-03	-6,90E-03
Gesso+Silic.	-1,05E-04	-2,30E-04	-3,70E-03	-6,70E-03
Média	-1,24E-04	-2,30E-04	-4,51E-03	-6,97E-03
DMS	-0,48E-04ns	-0,36E-04ns	-2,5E-03ns	-1,3E-03ns

Médias seguidas de ** no DMS diferem estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade e ns – não significativo pelo teste t (LSD).

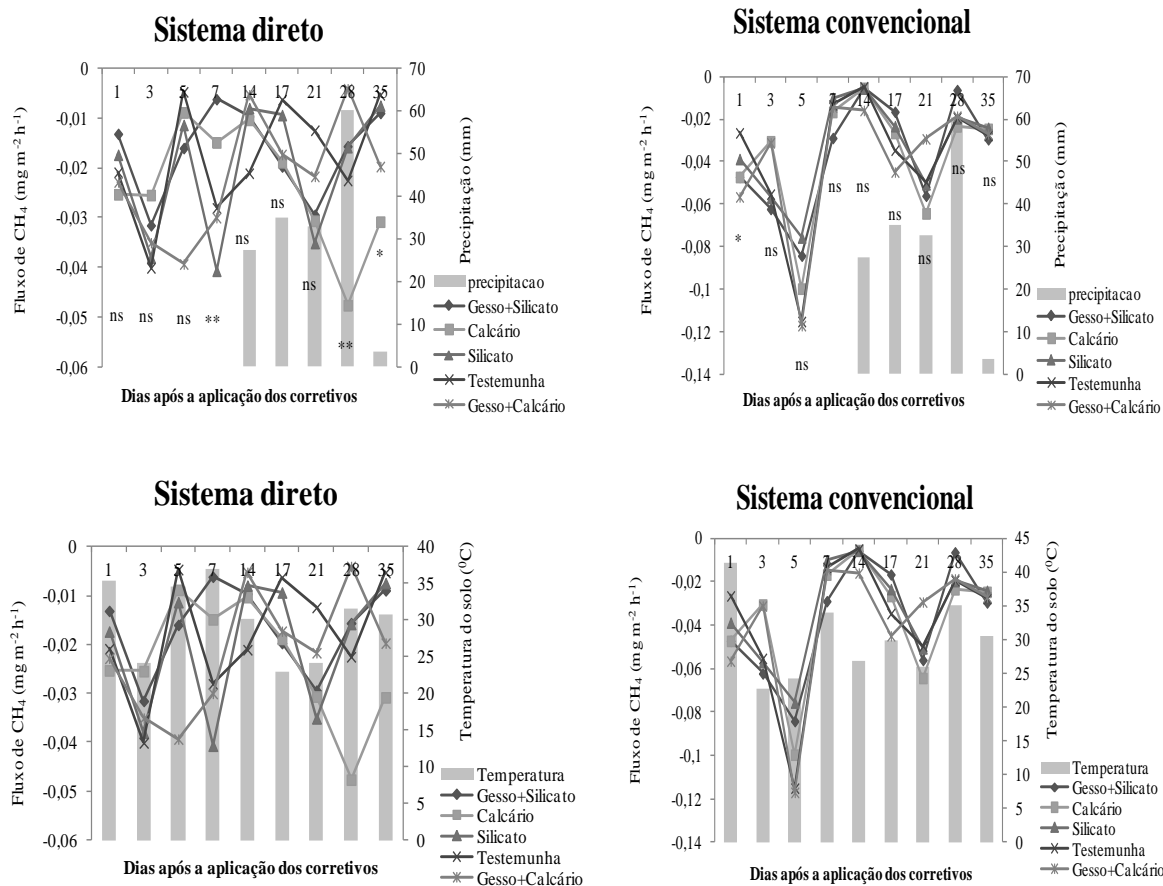


Figura 20: Evolução do fluxo de CH₄ (mg m⁻² h⁻¹) do solo e dos tratamentos em consequência da precipitação e temperatura do solo no período da amostragem nos sistemas de manejo convencional e direto. (Período de 03/10/2012 a 06/11/2012). (** 1%, * 5% e ns – não significativo pelo teste t (LSD)).

Não houve correlação da umidade e temperatura do solo com a emissão de CH₄ (dados não apresentados) As respostas para o influxo de CH₄ no solo são o inverso do CO₂ para os sistemas de manejo: à medida que aumenta a emissão de CO₂, tem-se maior influxo de CH₄, o que pode ser percebido nas figuras de emissão de CO₂ e CH₄ (Figuras 16 e 20).

O SC aumenta a disponibilidade de fontes de C orgânico passíveis de decomposição, devido à mobilização do solo, enquanto, no SD, a deposição de resíduos na camada superficial aumenta o fornecimento de C no sistema, resultando em menor influxo de CH₄, em consequência do maior fornecimento de compostos orgânicos para a metanogênese. Assim, o influxo de CH₄ no SC pode ser explicado pela oxidação do CH₄ em dióxido de carbono, ocorrendo diminuição da fonte de C para a atividade dos microrganismos metanogênicos, enquanto a emissão de CO₂ é aumentada.

6.5 Emissões acumuladas de gases de efeito estufa em 22 meses e a capacidade dos sistemas de manejo em conservar C no solo

Existe alta variabilidade dos dados em experimentos com emissão de gases em condições de campo. Os dados para as emissões de CO₂, CH₄, temperatura e umidade foram assimétricos moderados, enquanto os resultados de emissão de N₂O foram assimétricos de caráter forte, para ambos os sistemas (Tabelas 18 e 19). Quanto mais próximo de 0 os valores na aplicação do teste de assimetria, melhor a distribuição dos dados na curva. Quando a curva da distribuição dos dados é simétrica (valores iguais a 0), a Média = Mediana = Moda. Em uma distribuição assimétrica positiva ou assimétrica à direita, a média é maior que a mediana e esta, por sua vez, maior que a moda ($x > Md > Mo$). Embora as medidas de posição e de variação possibilitem descrever estatisticamente um conjunto de dados, em condições de campo, por exemplo, onde há fatores que não podem ser isolados ou controlados, a distribuição dificilmente é simétrica.

Tabela 18: Frequência e distribuição dos resultados obtidos de gases, umidade e temperatura do solo, em função da aplicação dos corretivos no sistema de semeadura direta, no período de outubro, 2012 – julho, 2014.

Tratamentos	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	CV (%)	Curtose	Assimetria
CO ₂ mg m ⁻² h ⁻¹							
Testemunha	248,07	233,04	49,49	532,29	40,13	0,33	0,45
Calcário	233,05	209,49	19,31	602,42	46,45	1,27	0,64
Silicato	216,45	204,09	57,05	514,50	40,27	1,01	0,42
Gesso+Cal.	233,15	214,05	33,53	506,22	43,21	0,07	0,57
Gesso+Sil.	237,58	219,13	104,28	515,04	40,70	0,29	0,57
N ₂ O ug m ⁻² h ⁻¹							
Testemunha	42,11	11,94	2,02	204,20	106,31	3,88	2,01
Calcário	40,49	9,43	4,36	284,67	127,14	10,40	1,81
Silicato	41,13	7,59	3,22	271,57	121,47	10,84	2,02
Gesso+Cal.	41,01	8,65	3,74	375,38	140,13	14,89	1,68
Gesso+Sil.	38,16	9,88	3,04	342,69	127,64	19,98	1,76
CH ₄ mg m ⁻² h ⁻¹							
Testemunha	-0,02	-0,02	-0,15	0,00	88,51	32,66	- 0,48
Calcário	-0,02	-0,02	-0,06	0,00	49,13	5,81	- 0,16
Silicato	-0,02	-0,02	-0,04	0,00	47,80	0,23	0,06
Gesso+Cal.	-0,02	-0,02	-0,13	0,00	83,24	33,09	- 0,30
Gesso+Sil.	-0,02	-0,02	-0,13	0,00	89,65	42,05	- 0,33
Temperatura (°C)							
Testemunha	25,37	24,81	16,10	36,92	15,77	0,88	0,42
Calcário	25,34	24,60	16,13	37,05	15,59	0,73	0,56
Silicato	25,37	24,74	16,08	37,05	15,59	0,71	0,48
Gesso+Cal.	25,27	24,63	16,10	36,90	15,72	0,71	0,48
Gesso+Sil.	25,30	24,48	16,18	36,75	15,72	0,79	0,62
Umidade (m ⁻³ m ⁻³)							
Testemunha	0,12	0,10	0,02	0,23	48,35	-0,95	0,94
Calcário	0,12	0,10	0,02	0,24	49,50	-0,94	0,84
Silicato	0,12	0,11	0,02	0,24	48,65	-0,98	0,61
Gesso+Cal.	0,12	0,11	0,02	0,24	48,35	-0,94	0,59
Gesso+Sil.	0,12	0,11	0,03	0,23	48,30	-0,97	0,75

Conforme as Tabelas 18 e 19, as emissões de CO₂ variaram entre 52,73 e 534 mg m⁻² h⁻¹ para o SD e 70,44 e 1179,75 mg m⁻² h⁻¹ para o SC de cultivo. No SD, foi verificada a menor emissão média anual (127 mg m⁻² h⁻¹), enquanto, no SC, a média foi de 173.55 mg m⁻² h⁻¹.

Para o N₂O, as emissões variaram entre 2,02 e 621,82 µg m⁻² h⁻¹. Os maiores efluxos médios de N₂O foram observados no SC (53,77 µg m⁻² h⁻¹), enquanto o menor, no SD (40,58 µg m⁻² h⁻¹). Por outro lado, houve influxo de CH₄ no solo para

tratamentos e sistema de manejo e estes variaram de -0,04 a - 0,008 mg m⁻² h⁻¹. Maiores fluxos foram percebidos no SC de cultivo. Em relação à temperatura do solo, esta variou de 16 a 37°C e 16 a 41°C, respectivamente, para o SD e SC de cultivo. Já para a umidade do solo, os valores de máximo foram de, em média, 0,24 m⁻³ m⁻³ para os dois sistemas de manejo, com mínimo de 0,02, no SD, e 0,06 m⁻³ m⁻³, no SC (Tabelas 18 e 19).

Tabela 19: Frequência e distribuição dos resultados obtidos de gases, umidade e temperatura do solo, em função da aplicação dos corretivos no sistema convencional de cultivo, no período de outubro, 2012 – julho, 2014.

Tratamentos	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	CV (%)	Curtose	Assimetria
CO ₂ mg m ⁻² h ⁻¹							
Testemunha	284,57	239,37	68,50	767,67	54,70	2,46	0,87
Calcário	330,21	259,46	61,47	1562,53	67,19	11,57	0,96
Silicato	293,65	258,99	32,86	890,63	55,64	2,92	0,64
Gesso+Cal.	358,28	294,48	129,83	1299,32	59,85	5,45	0,89
Gesso+Sil.	324,19	259,30	59,55	1378,60	64,85	8,79	0,93
N ₂ O ug m ⁻² h ⁻¹							
Testemunha	51,31	25,00	3,79	388,98	141,71	12,32	1,09
Calcário	58,88	24,01	5,86	431,88	136,13	7,78	1,30
Silicato	46,96	25,61	7,61	428,37	131,21	18,90	1,04
Gesso+Cal.	58,22	28,07	5,09	531,62	147,55	14,88	1,05
Gesso+Sil.	53,50	25,18	5,31	621,82	153,15	29,46	1,04
CH ₄ mg m ⁻² h ⁻¹							
Testemunha	-0,02	-0,02	-0,12	-0,005	63,29	21,20	-0,49
Calcário	-0,02	-0,02	-0,11	-0,005	71,69	15,16	-0,50
Silicato	-0,02	-0,02	-0,08	-0,003	53,32	4,57	-0,47
Gesso+Cal.	-0,02	-0,02	-0,13	-0,008	61,47	36,51	-0,57
Gesso+Sil.	-0,02	-0,02	-0,08	-0,005	56,02	7,59	-0,52
Temperatura (°C)							
Testemunha	27,58	27,19	16,65	41,55	15,19	1,32	0,28
Calcário	27,40	27,09	16,88	41,33	14,64	1,25	0,23
Silicato	27,58	27,18	16,63	41,05	15,06	0,79	0,29
Gesso+Cal.	27,45	26,85	16,42	41,73	14,51	1,47	0,45
Gesso+Sil.	27,28	26,93	16,78	41,13	14,62	1,14	0,27
Umidade (m ⁻³ m ⁻³)							
Testemunha	0,11	0,10	0,06	0,24	52,24	-1,03	0,70
Calcário	0,11	0,09	0,06	0,23	52,86	-1,05	0,80
Silicato	0,11	0,09	0,06	0,23	52,79	-1,09	0,88
Gesso+Cal.	0,11	0,10	0,06	0,24	50,22	-1,01	0,69
Gesso+Sil.	0,11	0,10	0,06	0,24	51,85	-0,96	0,55

6.5.1 Os fluxos e emissão acumulada de CO₂

Os maiores fluxos de CO₂ foram verificados nos períodos com maiores temperaturas (outubro-março), em ambos os sistemas de cultivo. Em geral, no SC de cultivo, as emissões diárias foram mais constantes (Figuras 21 e 22). Na presença do calcário, há uma tendência de maior efluxo de CO₂ diário, nos dois sistemas de manejo de solo (Tabela 20)

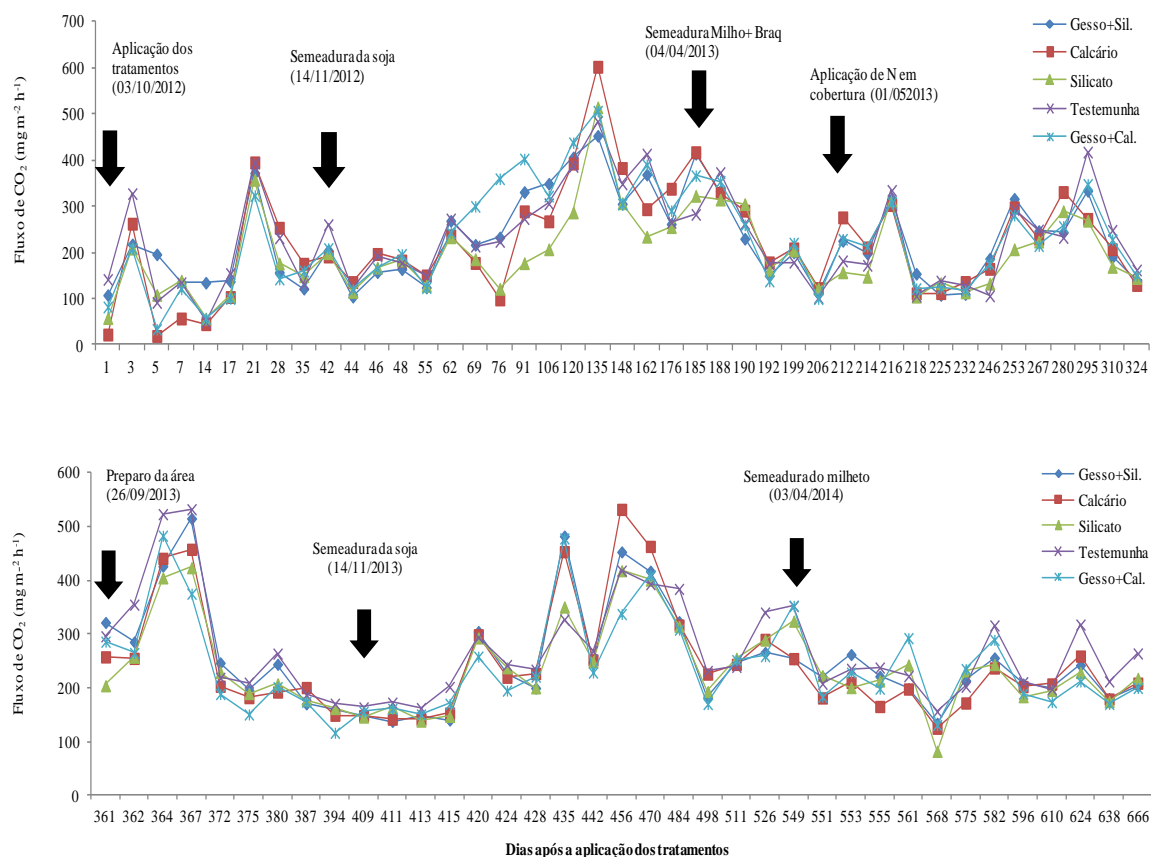


Figura 21: Fluxo de CO₂ (mg m⁻² h⁻¹), em função dos 80 períodos avaliados durante 666 dias após a aplicação dos tratamentos em sistema direto de cultivo (outubro, 2012 – julho, 2014).

A perturbação do solo é um fator que influencia o fluxo de CO₂, assim como as condições climáticas (SIX et al., 1999; COSTA et al., 2008; SIQUEIRA NETO, 2011). Portanto, as maiores emissões de CO₂ nos cultivos da soja, nos sistemas estudados, podem estar associadas às melhores condições da atividade biológica no solo, aliadas a maiores temperaturas e umidade do ar, quando comparadas às emissões do cultivo do milho + braquiária e milho + braquiária, que aconteceram na estação outono-

inverno, em virtude do menor teor de umidade, principalmente (Figura 1). Já os picos de emissões de CO₂ ocorridos ainda durante o cultivo da soja, na fase de floração e enchimento dos grãos, são referentes ao período de máxima atividade fotossintética da planta. Após isso, quando se inicia a senescência, a atividade fotossintética é diminuída e, em consequência, também a emissão de CO₂ (Figuras 21 e 22).

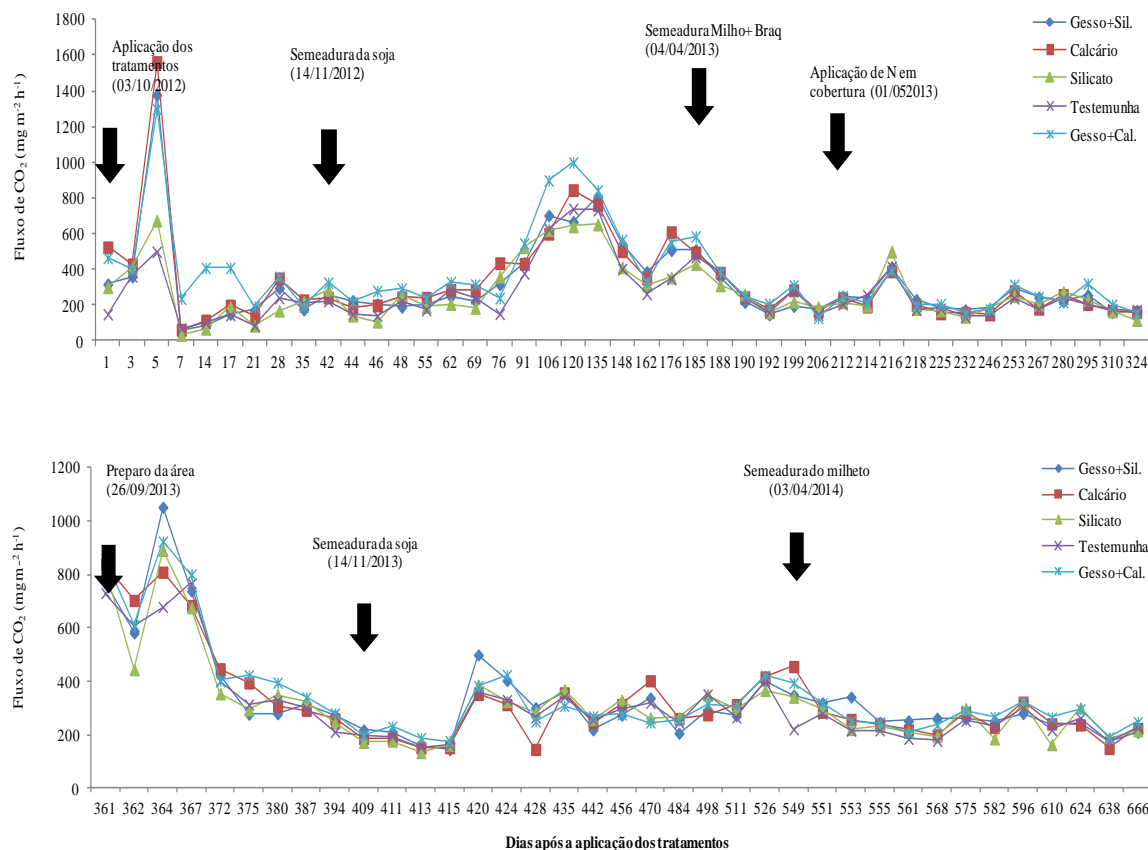


Figura 22: Fluxo de CO₂ (mg m⁻² h⁻¹), em função dos 80 períodos avaliados durante 666 dias após a aplicação dos tratamentos em sistema convencional de cultivo (outubro, 2012 - julho, 2014).

Para todos os eventos, houve baixa correlação das emissões de CO₂ em relação à temperatura e umidade do solo, para os dois sistemas de manejo (Figuras 23 e 24). A umidade e temperatura do solo, na camada superficial, não foram afetadas pelos corretivos, dentro de cada sistema de manejo (dados não apresentados). Contudo, no SC, as correlações de determinação foram menores do que as verificadas para o SD (Figuras 23 e 24).

Com respeito aos dados de umidade, embora o coeficiente de correlação tenha sido baixo, a correlação positiva foi significativa: quanto maior o teor de

umidade do solo, maior efluxo de CO₂, enquanto, para os dados de temperatura, a emissão de CO₂ revelou baixa correlação e negativa, porém, significativa. Com aumentos de temperatura acima de 20°C, reduções das emissões de CO₂ são observadas.

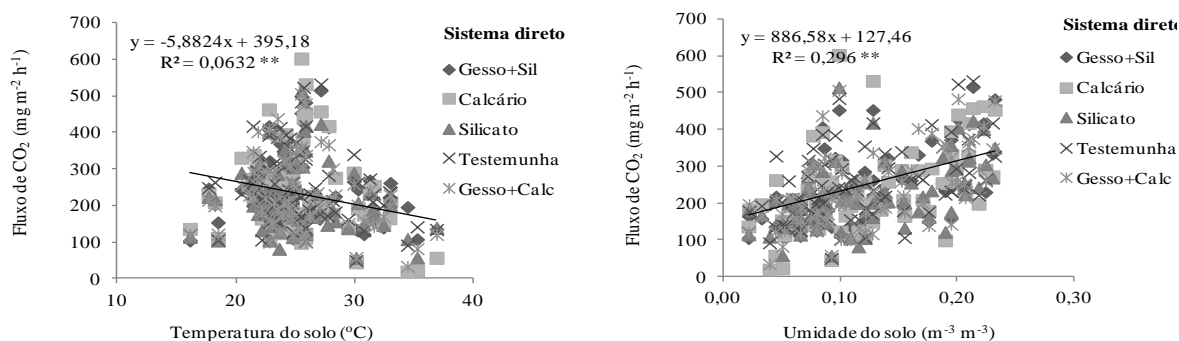


Figura 23: Correlação do fluxo de CO₂ (mg m⁻² h⁻¹) com a temperatura e umidade do solo, em função dos 80 períodos avaliados durante 666 dias após a aplicação dos tratamentos em sistema direto de cultivo (outubro, 2012 - julho, 2014). Probabilidade da variância do coeficiente de determinação *P<0,05, **P<0.01, ns (não significativo).

O preparo do solo ocasiona ausência de palhada em superfície do solo; no SC, permite aumento da temperatura do solo ao longo do dia e, mesmo que os gases tenham sido coletados sempre no período da manhã, ainda foi possível notar influência da temperatura nesse sistema, que, por sua vez, intensificou a atividade microbiana do solo, demonstrada pelo aumento do fluxo de CO₂ da biosfera para a atmosfera.

Verificando as maiores emissões de CO₂ do solo, no estudo, estas se encontram em condições de umidade entre 0.12 m⁻³ e temperatura média de 25°C (Figuras 23 e 24). Ou seja, em condições de temperaturas entre 25-30 °C e presença de umidade, propiciam-se condições para aumento da atividade dos microrganismos no solo e respiração radicular (RAMOS et al., 2005; OMONODE et al., 2007; CAMPOS et al., 2011;). Pes (2009) também encontrou correlação negativa do fluxo de CO₂ com a temperatura, em condições de clima tropical.

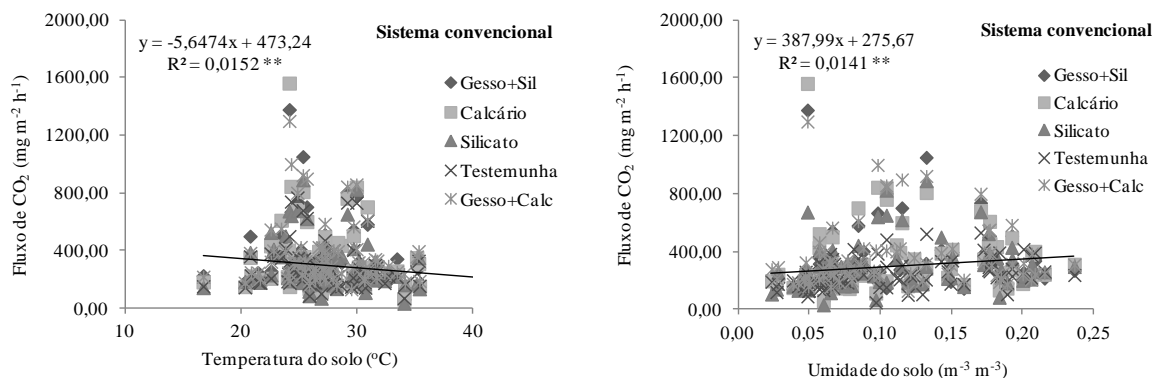


Figura 24: Correlação do fluxo de CO₂ (mg m⁻² h⁻¹) com a temperatura e umidade do solo, em função dos 80 períodos avaliados durante 666 dias após a aplicação dos tratamentos em sistema convencional de cultivo (outubro, 2012 – julho, 2014). Probabilidade da variância do coeficiente de determinação *P<0,05, **P<0.01, ns (não significativo).

De acordo com a Tabela 20, houve diferença entre tratamentos apenas para a variável de emissão relativa de C, de sorte que o tratamento com silicato diminuiu o efluxo de C. A emissão acumulada e anual de C- CO₂ não diferiu em função do uso de corretivos, aos 22 meses após a aplicação, demonstrando que a aplicação de corretivos não influenciou as emissões de gases de efeito estufa. A emissão anual de C- CO₂ foi de, em média, 7,8 Mg ha⁻¹, nos sistemas, e as médias das emissões acumuladas foram de 14,04 e 14,41 Mg ha⁻¹, para o SD e SC (Tabela 20).

Há divergência quanto à possibilidade de a calagem ser um dos principais contribuintes de emissões de gases que incrementam o efeito estufa, visto em trabalhos, pois, para alguns resultados gerados, não foram quantificados os dados das emissões de C-CO₂, mas estes foram estipulados através de cálculos, a partir de fatores gerados pelo IPCC (BERNOUX et al., 2003; CERRI et al., 2006). Em outros trabalhos, as emissões foram quantificadas, no entanto, poucas amostragens foram avaliadas, representando menor confiabilidade nos resultados no tempo (COSTA et al. 2008, SILVA et al. 2014), quando comparados ao experimento em questão.

O efluxo de CO₂ diário da biosfera para a atmosfera, no SC, foi de 0,91, enquanto, para o SD, foi de 0,67 g m⁻². Embora a respiração microbiana do solo seja limitada pela restrição da difusão de oxigênio necessário para a respiração aeróbia, a emissão de CO₂ no SC pode ser explicada pelo aumento da macroporosidade ocasionada pela mobilização do solo (LAL, 2009). No SD, o tratamento com silicato foi igual ao tratamento com calcário quanto às emissões de C-CO₂, no entanto, os tratamentos com

gesso e a testemunha apresentaram maiores emissões diárias. Já no SC, maiores emissões se deram no tratamento com calcário combinado com gesso, enquanto o tratamento silicato e testemunha tiveram menores emissões de CO₂ (Tabela 20).

Tabela 20: Emissão relativa e emissão acumulada de C-CO₂ do solo, no período de 22 meses e anual, em função da aplicação dos tratamentos e sistemas de manejo

Tratamentos	Emissão relativa		Emissão acumulada		Emissão anual	
	SD	SC	SD	SC	SD	SC
	g m ⁻² dia ⁻¹ CO ₂		Mg ha ⁻¹ C-CO ₂		Mg ha ⁻¹ C-CO ₂	
Testemunha	0,7	0,8	14,2	13,2	7,7	7,2
Calcário	0,7	0,9	14,5	14,8	7,9	8,1
Silicato	0,6	0,8	12,9	13,6	7,0	7,4
Gesso+Cal.	0,7	1,0	14,5	16,0	7,9	8,7
Gesso+Sil.	0,7	0,9	14,1	14,4	7,7	7,9
Média	0,7	0,9	14,0	14,4	7,7	7,9
DMS	0,1**	0,1**	1,6ns	2,9ns	1,2ns	1,5ns

Médias seguidas de ** na DMS diferem estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade e ns – não significativo pelo teste t (LSD).

Quando foi aplicado calcário, há tendência de maiores emissões de C-CO₂ em comparação ao silicato (Tabela 15). O fluxo de CO₂ proveniente do preparo do solo e/ou aplicação dos tratamentos passa a ser constante, ao longo do tempo (Figuras 21 e 22). Conforme Figueiredo et al. (2014), com o tempo, as reações e emissões no solo, com o emprego da calagem + gesso, entram em equilíbrio, todavia, as emissões adicionais podem ser causadas por mais de 25 dias e talvez, se estender por aproximadamente até 2 meses após a aplicação.

Existem trabalhos, porém de curta duração, para os quais a calagem foi a principal causa do aumento da taxa de emissão de CO₂ do solo para a atmosfera (FUENTES et al., 2006; SILVA et al., 2014). Comparada ao estudo, essa taxa de emissão é maior apenas nos primeiros meses após a aplicação, de sorte que, depois de 22 meses, os tratamentos foram iguais quanto à taxa de emissão acumulada de CO₂. Marcelo et al. (2012), avaliando o efeito residual da emissão de CO₂ após dois anos da aplicação da calagem, ainda observaram fluxos positivos: quanto maior a dose de calcário aplicada, maior foi a emissão de gases.

Embora maiores emissões de CO₂ sejam resultantes de reações de hidrólise do carbonato de cálcio no solo, segundo Fuentes et al. (2006), o efeito do carbono

do calcário é *priming* e não tem relação com a emissão de CO₂ do solo, concordando-se com Dumale Junior et al. (2011).

Conforme Costa et al. (2008), tanto em SD quanto em SC de cultivo, o aporte de resíduos adicionados influencia a mitigação de gases. Em condições de baixo aporte de resíduos vegetais, há balanço negativo de C, de modo que a prática de semeadura direta, sem envolver o sistema como um todo, não é uma prática de redução das emissões de CO₂. Por outro lado, em ambos os sistemas estudados, diferentes resultados foram observados e não houve balanço negativo de C no solo.

Além da análise integrando os dados do primeiro aos 666 dias após a aplicação dos tratamentos, a integral dos dados foi fracionada por evento, com a finalidade de apresentar as emissões de CO₂ acumuladas do sistema por período (Tabela 19).

Para o evento da aplicação dos tratamentos, como discutido anteriormente, o efeito foi apenas da aplicação dos corretivos via solo, sem presença de plantas.

Destaca-se, para a safra da soja de 2013/2014, um ano atípico com período de seca, chuvas escassas e altas temperaturas, em pleno florescimento e enchimento de grãos (Figura 1). Essa variação climática, aliada à presença de palhada, poderia talvez explicar o aumento da emissão de 2,5 Mg ha⁻¹ de C, no SD de cultivo. O aumento de aporte orgânico posteriormente conservou maior umidade no solo e proporcionou melhores condições para a atividade microbiana e respiração das plantas, enquanto, no SC de cultivo, houve diminuição da emissão de C do solo de 2,2 Mg ha⁻¹ da primeira para a segunda safra de soja. Assim, essa diferença de emissão de CO₂ (para a mesma época em diferentes anos – novembro-março) significa que variáveis climáticas tiveram efeito parcial, quanto a emissões de CO₂ e sistemas de manejo de solo.

Considerando-se o fator de emissão de CO₂ a partir da calagem, estabelecido pelo IPCC (2006), na proporção de 13% de CO₂ por tonelada de calcário dolomítico aplicado, e a resposta aos tratamentos na emissão acumulada de C-CO₂, ainda se pode optar pela utilização da calagem. Mesmo que apresente efeito *priming* no solo aumentando a emissão inicial de CO₂, os estoques de carbono no solo e a produtividade de biomassa foram aumentados com a calagem, ou seja, a quantidade de carbono emitida pode ter sido originada do carbono orgânico estável e não somente do carbono lábil, conforme o resultado do trabalho de Dumale Junior et al. (2011).

Tabela 21: Emissão de C-CO₂ do solo dentro de cada evento, em função da aplicação dos tratamentos e sistemas de manejo.

Tratamentos	Aplicação dos trat.		Cultivo soja 2012/13		Cultivo Milho+Braq2013	
	SD	SC	SD	SC	SD	SC
	Mg ha ⁻¹					
Testemunha	0,4	0,4	2,9	3,9	1,9	1,8
Calcário	0,4	0,7	2,9	4,7	1,9	1,8
Silicato	0,4	0,4	2,3	4,0	1,7	1,8
Gesso+Cal.	0,3	0,7	3,2	5,3	1,9	2,0
Gesso+Sil.	0,4	0,6	2,9	4,5	1,8	1,9
Média	0,4	0,6	2,8	4,5	1,8	1,8
DMS	0,1**	0,1**	1,0**	1,2**	0,2**	0,2**
	Prep. Área - 2013		Cultivo soja 2013/14		Cultivo milho	
	SD	SC	SD	SC	SD	SC
	Mg ha ⁻¹					
Testemunha	0,6	0,9	4,9	2,3	1,6	1,6
Calcário	0,5	0,9	5,9	2,3	1,4	1,6
Silicato	0,5	0,9	5,2	2,3	1,4	1,6
Gesso+Cal.	0,5	1,0	5,6	2,3	1,4	1,8
Gesso+Sil.	0,6	0,9	5,3	2,3	1,4	1,7
Média	0,5	0,9	5,3	2,3	1,47	1,66
DMS	0,1ns	0,1ns	1,3ns	0,9ns	0,2**	0,2**

Médias seguidas de ** na DMS diferem estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade e ns – não significativo pelo teste t (LSD).

Controvérsias são encontradas na literatura quanto à emissão de CO₂ em SC e SD. No SC, o preparo do solo promove quebra dos agregados e normalmente aumenta a atividade microbiana e a emissão de C-CO₂. Esse efeito de preparo de solo nas propriedades pode se estabilizar e as emissões se tornarem mais constantes. Tal fato pode ser observado nos gráficos de fluxo de emissão de C-CO₂, representada pela menor variabilidade dos fluxos, no decorrer das amostragens no SC (Figura 22).

6.5.2 Emissão acumulada de N₂O e CH₄

Ainda que a correção de acidez melhore a atividade microbiana do solo, no SD de cultivo, não foi constatado efeito dos corretivos na emissão de N-N₂O do solo, aos 22 meses, enquanto, no SC, houve efeito dos tratamentos para a emissão relativa diária, acumulada e anual (Tabela 22).

As emissões de N-N₂O do solo são resultantes do processo de nitrificação e desnitrificação. Já Gomes (2009) verificou que as emissões de N-N₂O variam de acordo com a cultura; quando cultivada gramínea, ocorreram emissões similares entre SC e SD de cultivo, enquanto, no cultivo de leguminosa, a maior emissão de N-N₂O foi observada no SC. A interação de resíduos com o preparo de solo já foi igualmente registrada por Baggs et al. (2006).

No SC, a presença de calcário associado ou não ao gesso aumentou a emissão relativa, acumulada e, por fim, a anual de N-N₂O (Tabela 22). Observando-se apenas o uso de calcário e silicato, sem gesso, o efluxo de N₂O foi intensificado com o emprego do calcário. Galbally et al. (2010), por sua vez, não notaram redução da emissão de N₂O com aplicação de calagem.

As emissões relativas de CO₂ e N₂O observadas no SC de cultivo podem estar ligadas ao aumento na macroporosidade e aeração, favorecendo a atividade microbiológica do solo. A mobilização do solo contribuiu para a emissão de gases, pois provoca a quebra de agregados e acelera a decomposição de resíduos. Em contrapartida, a atividade microbiana também é aumentada, após um determinado período, acontecendo a redução das frações consideradas lábeis da matéria orgânica e, assim, redução da atividade microbiana (SIX et al., 1999). Malgrado haja maiores teores de C mais facilmente oxidável no SD, na ausência de compactação e adensamento, a emissão de gás pode ser maior.

Tabela 22: Emissão relativa e emissão acumulada de N-N₂O do solo, no período de 22 meses e anual, em função da aplicação dos tratamentos e sistemas de manejo.

Tratamentos	Emissão relativa		Emissão acumulada		Emissão anual	
	SD	SC	SD	SC	SD	SC
	ug m ⁻² dia ⁻¹ N ₂ O		kg ha ⁻¹ N-N ₂ O		kg ha ⁻¹ N-N ₂ O	
Testemunha	1,2	1,3	6,1	6,0	3,3	3,3
Calcário	1,2	1,7	6,3	7,5	3,4	4,1
Silicato	1,2	1,3	6,2	6,2	3,4	3,4
Gesso+Cal.	1,2	1,7	6,3	7,2	3,4	4,0
Gesso+Sil.	1,1	1,5	5,7	6,7	3,1	3,7
Média	1,2	1,5	6,1	6,7	3,3	3,7
DMS	0,3ns	0,3**	0,8ns	1,1**	0,5ns	0,6**

Médias seguidas de ** na DMS diferem estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade e ns – não significativo pelo teste t (LSD).

Para o gás CH₄, em ambos os sistemas, foram percebidos influxos, no SC de cultivo, de -65,53 e de -53,14 ug m⁻² dia⁻¹, no SD. O uso de corretivos não interferiu na oxidação de CH₄ no solo (Tabela 23).

No solo, o estoque de C pode vir a ser estratégia viável no aumento do influxo de CH₄, ainda que o gás CH₄ tenha maior potencial de aquecimento que o CO₂. O menor influxo de CH₄, no SD, pode estar relacionado ao maior estoque de C (e não necessariamente ao maior estoque de N no solo) e, conseqüentemente, à maior atividade das bactérias metanogênicas, por causa da maior microporosidade e menor densidade do solo, embora o CH₄ seja produzido na decomposição anaeróbica da MOS. Por outro lado, a maior aeração do solo ocasionada no SC, através do preparo do solo, acelera a oxidação biológica, fazendo com que o solo se comporte como dreno de CH₄ em consequência da população metanotrófica, que utiliza esse gás como fonte de C e energia (MOSIER et al., 2004).

Tabela 23: Emissão relativa e emissão acumulada de C-CH₄ do solo, no período de 22 meses e anual, em função da aplicação dos tratamentos e sistemas de manejo.

Tratamentos	Emissão relativa		Emissão acumulada		Emissão anual	
	SD	SC	SD	SC	SD	SC
	ug m ⁻² dia ⁻¹ CH ₄		kg ha ⁻¹ C-CH ₄		kg ha ⁻¹ C-CH ₄	
Testemunha	-57,72	-65,82	-3,08	-3,72 a	-1,68 a	-2,03 a
Calcário	-53,62	-64,86	-3,00	-3,37 a	-1,64 a	-1,83 a
Silicato	-49,12	-65,42	-2,72	-3,70 a	-1,48 a	-2,01 a
Gesso+Cal.	-55,47	-66,45	-3,10	-3,50 a	-1,72 a	-1,91 a
Gesso+Sil.	-49,74	-65,03	-2,93	-3,53 a	-1,6 a	-1,92 a
Média	-53,14	-65,53	-2,97	-3,56	-1,62	-1,94
DMS	-11,73ns	-8,05ns	-2,45ns	-1,85ns	-0,8ns	-2,1ns

Médias seguidas de ** na DMS diferem estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade e ns – não significativo pelo teste t (LSD).

6.6 Carbono no solo

A matéria orgânica (MOS), que é um indicativo da qualidade do solo, é alterada pelo manejo agrícola e se divide em compartimentos lábeis – carbono orgânico particulado (COP) – e não lábeis – carbono orgânico associado aos minerais (COAms) (WEST et al., 2002). A análise do solo com base apenas no teor de carbono orgânico total (COT) se torna incompleta para a avaliação de manejo do solo, pois esta é muitas vezes mais difícil de ser alterada em comparação com as outras frações, segundo Cambardella e Elliott (1992). Contudo, alterações quanto ao sistema de manejo e carbono

no solo, ainda que devido ao curto período de experimentação, foram observadas a partir do fracionamento físico da matéria orgânica. Os resultados referentes ao fracionamento físico da MOS, aos 30 dias e aos 12 meses após a aplicação dos corretivos, estão nas Tabelas 24 e 25. Conforme a Tabela 24, a aplicação de corretivos no solo não influenciou os valores de COT, aos 30 dias, não diferindo dos resultados de Albuquerque et al. (2003), mesmo com o aumento do pH em todos os tratamentos, exceto na testemunha.

No entanto, aos 12 meses, houve diferença dos tratamentos para o COT em 0,1-0,2m, no SC, apenas (Tabela 25). Foram verificadas evidências do uso de gesso + calcário no aumento do COT nas duas profundidades de ambos os sistemas, de acordo com os valores médios, fato justificado pela maior produção de biomassa radicular e massa de matéria seca, observada nesse tratamento e apresentada na Tabela 7. Embora a redução da acidez acelere a decomposição da matéria orgânica no solo, o COT pode ser aumentado através de melhorias nas condições edáficas, o que favorece o desenvolvimento das plantas, além de os corretivos auxiliarem na agregação do solo, amenizando a decomposição de resíduos (CASTRO et al. 2015).

Ernani et al. (2002) e Azevedo et al. (1996) também notificaram que o uso da calagem ocasionou mudança na fração do COT. Nesses casos, houve estímulo à decomposição em função da calagem, atribuído ao aumento da atividade dos microrganismos, decorrente da elevação do pH do solo.

Maiores teores de COT em ambas as amostragens de solo até 0,6m de profundidade foram percebidos no SD de manejo, em função do acúmulo de resíduos vegetais e ausência de revolvimento do solo. Diversos trabalhos já reportaram o aumento do COT no solo, em sistemas de manejo conservacionistas (BERTOL et al., 2004; LOSS et al., 2011), não diferindo do presente trabalho, que, mesmo em um curto período de experimentação (um ano), foi possível notar um aumento aproximado de, em média, 18,45 % de COT na camada superficial do solo, no SD, enquanto, no SC de manejo, o teor de COT no solo foi constante (Tabelas 24 e 25).

Tabela 24: Carbono orgânico particulado (COP), carbono associado aos minerais (COAms), carbono orgânico total (COT) no solo nas profundidades de 0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,4 e 0,40-0,60m, em função da aplicação dos tratamentos e do sistema de manejo direto e convencional de solo (novembro, 2012).

Tratamentos	COP		COAms		COT	
	SD	SC	SD	SC	SD	SC
-----g kg ⁻¹ -----						
0,0 – 0,1 m						
Testemunha	5,6	2,7	17,8	20,7	23,4	19,0
Calcário	4,3	3,7	18,3	18,9	22,6	19,5
Silicato	5,3	3,6	19,2	20,9	24,5	19,0
Gesso+Calc.	3,9	4,7	19,0	18,2	22,9	19,9
Gesso+Silic.	5,4	4,1	18,0	19,3	23,4	19,7
Média	4,9	3,7	18,4	19,6	23,4	19,4
DMS	1,9ns	2,1ns	1,8ns	2,8ns	2,6ns	1,4ns
0,1- 0,2 m						
Testemunha	2,5	2,5	16,4	16,40	18,9	16,1
Calcário	2,0	2,4	16,5	16,0	18,5	17,0
Silicato	3,0	2,7	17,0	17,3	19,9	16,6
Gesso+Calc.	2,3	2,9	16,9	16,3	19,3	17,2
Gesso+Silic.	2,2	2,1	17,2	17,3	19,4	16,0
Média	2,4	2,5	16,8	16,7	19,20	16,58
DMS	0,7**	0,7**	0,8ns	1,5ns	2,3ns	1,5ns
0,2 – 0,4 m						
Testemunha	1,4	1,1	15,3	15,5	16,7	13,9
Calcário	1,3	1,1	14,2	14,3	15,5	12,9
Silicato	2,0	2,5	14,0	13,5	16,0	14,9
Gesso+Calc.	1,8	2,0	15,0	14,8	16,8	13,6
Gesso+Silic.	1,4	1,3	14,6	14,7	15,9	13,6
Média	1,6	1,62	14,6	16,6	16,2	13,8
DMS	0,7**	0,7**	1,5ns	1,2**	1,7ns	1,4ns
0,4 – 0,6 m						
Testemunha	3,0	0,8	14,6	16,8	17,6	13,4
Calcário	1,8	1,0	13,8	14,6	15,7	14,6
Silicato	2,5	0,8	14,3	15,9	16,7	13,7
Gesso+Calc.	2,8	1,2	15,1	16,6	17,8	13,2
Gesso+Silic.	3,0	1,2	14,5	16,3	17,5	14,0
Média	2,6	1,0	14,4	16,0	17,0	13,8
DMS	1,3ns	0,8ns	1,3ns	1,6**	2,7ns	1,9ns

Médias seguidas de ** na DMS diferem estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade e ns – não significativo pelo teste t (LSD).

A fração do carbono ligado aos minerais do solo foi a maior parte do fracionamento do COT (Tabelas 24 e 25). Essa fração é menos sensível a mudanças em

relação ao manejo de solo utilizado, pois apresenta uma ciclagem lenta, e as mudanças para serem estimadas necessitam de maior tempo, já que o carbono se encontra “protegido” no interior dos agregados menores que $53 \mu\text{m}$ (BAYER et al., 2004). Solos com maiores teores de argila têm maior capacidade de manter a fração de carbono associado aos minerais, em função da formação de agregados mais estáveis. No que tange ao efeito de uso dos corretivos para a fração do COAms, foi verificado apenas dentro do SC. Respostas foram semelhantes nas duas amostragens, porém, na primeira amostragem, houve diferença apenas na profundidade de 0,2-0,4m e, aos 12 meses, em 0,1-0,4m. O uso do gesso associado ao calcário aumentou o COAms, diferindo dos outros tratamentos, os quais foram iguais e com menor teor. Nos solos com predominância de argila do tipo 1:1, como a caulinita, com a correção da acidez, ocorre aumento da disponibilidade de Ca com reflexos na CTC, facilitando assim a associação com o mineral argila, além de proporcionar maior aporte de C ao solo; o mesmo resultado também foi observado por Castro et al. (2015), quanto à aplicação de calcário e silicato em solo do tipo oxídico.

Dessa forma, o C acrescido ao solo com o uso do gesso + calcário contribuiu para o aumento e conservação de C no compartimento de maior estabilidade no solo, que é a fração do COAms. O incremento do estoque da fração de COAms representa indiretamente a diminuição da emissão CO_2 para a atmosfera, porque esse compartimento de C no solo possui maior tempo de reciclagem, em razão da lenta mineralização pela microbiota do solo, em relação ao estoque de COP (CAMPOS et al., 2011). Esse resultado pode estar ligado com as características químicas do solo e conseqüentemente, ao aumento da produção de biomassa e aporte de C e N, já discutidos anteriormente (Tabelas 7 e 8). Briedis et al. (2012) e Castro et al. (2015) relataram, igualmente, aumentos no estoque de carbono da fração associada aos minerais, com o uso da calagem na presença ou não de gesso em áreas de sistema de semeadura direta.

Avaliando o COP, os maiores valores foram observados nas camadas superficiais do solo, decrescendo em profundidade nas duas amostragens, em ambos os sistemas de manejo de cultivo. Isso explica a decomposição do material orgânico na superfície do solo, a partir da deposição de resíduos. Na média, o COP na camada de 0-0,1m do solo foi de $5,22 \text{ g kg}^{-1}$ para o SD e de $2,88 \text{ g kg}^{-1}$ para o SC, após doze meses da aplicação dos tratamentos (Tabela 25).

Tabela 25: Carbono orgânico particulado (COP), carbono associado aos minerais (COAms), carbono orgânico total (COT) no solo nas profundidades de 0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,4 e 0,40-0,60m, em função da aplicação dos tratamentos e do sistema de manejo direto e convencional de solo (novembro, 2013).

Tratamentos	COP		COAms		COT	
	SD	SC	SD	SC	SD	SC
-----g kg ⁻¹ -----						
0-0,1 m						
Testemunha	5,3	3,0	20,4	17,4	25,7	20,4
Calcário	4,3	3,5	19,6	16,4	24,0	19,9
Silicato	6,1	2,5	20,0	17,7	26,1	20,2
Gesso+Calc.	5,7	2,7	20,8	18,2	26,5	20,1
Gesso+Silic.	4,7	2,7	19,9	17,6	24,6	20,3
Média	5,2	2,9	20,1	17,5	25,4	20,2
DMS	1,6**	0,6ns	1,7ns	1,2ns	2,5ns	1,2ns
0,1-0,2 m						
Testemunha	1,8	2,2	20,9	16,0	22,7	18,2
Calcário	1,2	2,1	19,7	16,8	20,9	19,0
Silicato	1,6	2,3	20,6	15,8	22,1	18,1
Gesso+Calc.	1,9	1,9	20,2	18,5	22,1	20,2
Gesso+Silic.	2,6	2,2	19,4	16,8	22,0	19,0
Média	1,8	2,1	20,2	16,8	21,9	18,9
DMS	0,8**	0,8ns	1,7ns	1,1**	1,5ns	1,2**
0,2- 0,4 m						
Testemunha	1,6	0,8	15,5	13,4	17,2	14,1
Calcário	1,5	1,4	15,3	12,5	16,9	14,0
Silicato	1,4	2,0	16,0	11,3	17,4	13,4
Gesso+Calc.	1,4	1,0	15,8	15,0	17,2	14,7
Gesso+Silic.	0,9	1,6	16,4	13,2	17,4	14,8
Média	1,4	1,4	15,8	13,1	17,2	14,2
DMS	0,5ns	0,7**	2,3ns	2,0**	2,3ns	4,1ns
0,4-0,6 m						
Testemunha	1,5	1,7	15,4	11,7	16,9	13,4
Calcário	0,8	2,2	16,3	11,5	17,1	13,7
Silicato	1,4	2,2	15,0	11,9	16,4	14,1
Gesso+Calc.	1,1	2,1	19,6	13,3	21,5	13,8
Gesso+Silic.	1,2	1,1	14,9	12,4	16,1	13,5
Média	1,2	1,8	16,2	12,2	17,6	13,7
DMS	0,61**	0,64**	10,21ns	2,56ns	13,21ns	2,48ns

Médias seguidas de ** na DMS diferem estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade e ns – não significativo pelo teste t (LSD).

O efeito dos tratamentos para o COP foi semelhante para os dois sistemas de manejo de solo e amostragens. O tratamento com silicato aumentou o COP,

enquanto aquele com calcário diminuiu, nos dois sistemas de cultivo. Já no uso de corretivos associados ao gesso, aos doze meses após a aplicação, houve a redução da perda de C, o que pode ser percebido através da diminuição dos valores de COP, indicando a redução de perdas para a atmosfera, e seu efeito no solo aparenta estar relacionado diretamente com as propriedades químicas (Tabela 25). Segundo Sobral et al. (2009), a utilização de gesso tem efeito na floculação das argilas, além de resultar em melhor exploração do solo pelas plantas, enquanto o uso do silicato, por aumentar a fração particulada, é uma possibilidade de maior perda de C no sistema, visto que essa fração é a mais facilmente alterada, conforme o manejo adotado.

O maior desenvolvimento radicular nos tratamentos com presença de gesso e, posteriormente, o incremento de C ao solo estão ligados à recalcitrância dos compostos orgânicos exsudados, como os ácidos orgânicos, açúcares, aminoácidos, fenólicos, os quais predominam nos tecidos radiculares, assim como à proteção física proporcionada pelos agregados do solo, que minimizam a mineralização do C desses compostos pela microbiota do solo (RASSE et al., 2005).

Segundo Rangel et al. (2008), o COP é associado diretamente à emissão de CO₂ para a atmosfera. É caracterizado pela alta sensibilidade às mudanças causadas pelo uso e manejo de solo, quando comparado ao COT, porque o acúmulo de carbono inicial ocorre preferencialmente nessa fração (ROSSI, 2012; RANGEL; SILVA, 2007).

A MO é responsável, em média, por 75 a 85 % da CTC, devido à ionização dos grupos carboxílicos e fenólicos (CIOTTA et al., 2003; VENDRAME et al., 2010). O maior teor de COP, no tratamento com silicato, parece estar relacionado com o aumento da CTC e cargas negativas, o que pode ter fornecido condições mais propícias à atividade microbiana, favorecendo a ciclagem de carbono no solo. Nesse sentido, Bayer et al. (2006) também observaram aumentos na CTC do solo, conforme as variações no aporte de material vegetal.

Os resultados para o COT e COP demonstram a importância de resíduos vegetais, ou seja, sistemas de manejo que favoreçam o incremento e a manutenção de resíduos no solo, diminuindo as perdas de carbono para a atmosfera e melhorando as propriedades químicas e biológicas do solo, principalmente. A MOS lábil enseja a proteção física do COP, em função da adição de resíduos, auxiliando na formação de agregados e tornando mais estáveis no solo, reduzindo ganhos para o sistema e aumentando o

armazenamento do mesmo na fração de COAms (CASTRO et al. 2015). De acordo com Briedis et al. (2012 a), o COP pode ser afetado pela calagem em áreas de aplicação superficial com ausência de incorporação, porém, o efeito é temporário e, ao longo do tempo, o aumento de carbono no solo passa a ser positivo.

Respostas semelhantes aos de COT foram verificadas para o estoque de carbono no solo. Houve aumentos do estoque de C no perfil do solo até 1m de profundidade para o SD (Tabela 26), diferindo de Baker et al. (2007), que observaram o aumento desses estoques apenas superficialmente no SD, ou seja, até 0,3m de profundidade, com maiores valores para o SC abaixo disso. Leite et al. (2010) constataram aumentos do estoque de C no solo, em SD de cultivo, apenas até 0,2m após dois anos da instalação do sistema. Já Newman (2014) verificou aumento do estoque de carbono no solo até 1m sob o cultivo com cana-de-açúcar.

Tabela 26: Estoque de carbono no solo (Mg ha^{-1}) nas profundidades de 0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,4, 0,4-0,6, 0,6-0,8 e 0,8-1m, em função da aplicação dos tratamentos e do sistema de manejo direto e convencional de solo (novembro, 2013).

Tratamentos	0-0,10 m	0,1-0,2 m	0,2-0,4 m	0,4-0,6m	0,6-0,8m	0,8-1 m
Sistema Direto						
Testemunha	37,0	33,5	25,5	20,5	26,3	29,3
Calcário	34,8	30,8	24,2	21,3	25,4	30,4
Silicato	37,4	32,6	26,1	21,6	25,3	27,7
Gesso+Calc.	38,6	32,9	26,0	22,4	27,4	29,1
Gesso+Silic.	34,0	29,8	24,5	21,5	25,4	25,6
Média	36,4	32,0	25,3	27,6	26,0	28,4
DMS	5,2ns	3,4ns	3,1ns	17,1ns	4,7ns	5,9ns
Sistema Convencional						
Testemunha	26,9	26,8	21,8	23,8	22,0	22,6
Calcário	26,5	28,0	22,0	31,4	21,8	23,1
Silicato	25,5	26,3	20,4	24,2	22,8	22,1
Gesso+Calc.	25,6	29,9	23,2	35,9	21,6	21,9
Gesso+Silic.	27,3	28,8	23,5	22,6	22,6	22,3
Média	26,4	28,0	22,2	21,5	22,2	22,4
DMS	2,4ns	2,7ns	3,4ns	3,5ns	3,5ns	2,1ns

Médias seguidas de ** na DMS diferem estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade e ns – não significativo pelo teste t (LSD).

Na soma total do estoque de C e N até a profundidade de 1m da última amostragem de solo, foi possível notar efeito dos tratamentos apenas para C no SD de cultivo. Por outro lado, no SC, os tratamentos não diferiram (Tabela 27). O uso de gesso

+ calcário e calcário aumentou o estoque de C no solo no SD. O menor estoque foi observado na presença de silicato, tanto na ausência quanto na presença de gesso. O aumento do estoque de carbono com o uso de gesso + calcário está associado com o aumento da produção de biomassa vegetal no solo, sobretudo de raízes. Além do incremento da quantidade de raiz, o emprego de gesso, conforme Rocha et al. (2008), pode cooperar para a melhor distribuição destas, no perfil do solo, melhorando a exploração do solo pelas plantas e produtividade das culturas.

Considerando apenas a utilização de sistemas, após um ano de experimento, no SD, houve um estoque de C no solo de 175,6 Mg ha⁻¹ e de 142,2 Mg ha⁻¹ no SC até um metro de profundidade (Tabela 27), o que confirma que o uso do SD de cultivo pode vir a possuir maior capacidade de proteção física da MO, no interior de agregados. Para Bayer et al. (2006), já foi reportada em vários estudos a contribuição do SD para o aumento do estoque de C no solo, assim como na mitigação de emissões de CO₂, independentemente do tipo de cultura e cobertura (AMADO et al., 2006; LOSS et al., 2011). Segundo Al-Kaisi e Yin (2005), a ausência de preparo do solo leva à menor exposição do C protegido junto aos agregados, colaborando para um lento processo de decomposição pela atividade microbiana do solo, enquanto a utilização e o preparo intenso do solo, com revolvimento da camada superficial, favorecem a exposição da fração lábil da MOS a agentes oxidantes, causando sua mineralização (VIANA et al., 2011).

Tabela 27: Valores médios de estoque de carbono e nitrogênio no solo de 0-1m em função da aplicação dos tratamentos e do sistema de manejo direto (SD) e convencional (SC) de solo (novembro, 2013).

Tratamentos	Estoque C final		Estoque N final	
	SD	SC	SD	SC
	Mg ha ⁻¹		Mg ha ⁻¹	
Testemunha	175,5	140,7	8,5	10,9
Calcário	177,0	142,8	7,8	10,6
Silicato	173,3	138,7	8,6	11,0
Gesso+Calc.	189,9	144,6	7,9	11,5
Gesso+Silic.	162,2	146,1	8,2	10,6
Média	175,6	142,6	8,2	10,9
DMS	17,0**	6,9ns	2,4ns	3,2ns

Médias seguidas de ** na DMS diferem estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade e ns – não significativo pelo teste t (LSD).

6.7 Índice de conservação de carbono no sistema

Incrementos no estoque de COT, carbono lábil, maior umidade, maior estoque de nitrogênio total, menor amplitude térmica e maior quantidade de resíduos aportados ao solo podem favorecer a maior atividade biológica sob SD de cultivo. Todavia, o estoque de C no sistema, resultante da adição de resíduos, aliado à exsudação radicular e presença de microrganismos, foi alterado positivamente até 1m de profundidade (Tabela 28).

O balanço de C no solo foi positivo, evidenciando que o SC e o SD de manejo de solo atuaram como dreno de C atmosférico. Porém, o SD apresentou um influxo líquido de C de 33,23, e o SC, 10,91 Mg ha⁻¹ (Tabela 28) Os resultados ressaltam a importância do manejo do solo em SD, visando ao acúmulo de C orgânico no solo, principalmente via radicular, como já descrito anteriormente.

Ocorreu efeito dos corretivos apenas no SD de cultivo para o balanço de C; no SC, todos os tratamentos foram iguais. O uso do calcário aumentou o influxo líquido de C no solo em 12,9 Mg ha⁻¹ quando associado ao gesso, em comparação ao uso isolado da calagem. Provavelmente esse aumento seja consequência do aumento do aporte de resíduos (raízes + palhada na superfície) proporcionados nesse tratamento. O uso do gesso possibilita melhorias no subsolo, como a diminuição do Al tóxico e aumento do teor de Ca (RAIJ, 2008), favorecendo posteriormente o aumento do aporte radicular e C no solo.

Tabela 28: Estoque de carbono no solo após um ano da aplicação dos tratamentos e índice de conservação de carbono (ICC), considerando 1m de profundidade nos sistemas direto e convencional de cultivo.

Tratamentos	Estoque C final (E _f)		Estoque C Inicial (E _i)		Balanço C sistema (E _f – E _i)		ICC	
	SD	SC	SD	SC	SD	SC	SD	SC
	Mg ha ⁻¹							
Testemunha	175,5	140,7	142,4	131,7	33,1	9,0	0,4	0,8
Calcário	177,0	142,8	142,4	131,7	34,6	11,1	0,4	0,7
Silicato	173,3	138,7	142,4	131,7	30,9	7,0	0,4	0,9
Gesso+Calc.	189,9	144,6	142,4	131,7	47,6	12,9	0,3	0,7
Gesso+Silic.	162,2	146,1	142,4	131,7	19,8	14,4	0,6	0,6
Média	175,6	142,6	142,4	131,7	33,2	10,9	0,4	0,7
DMS	17,0**	6,9ns	-	-	17,0**	6,9ns	0,2**	0,4ns

Médias seguidas de ** na DMS diferem estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade e ns – não significativo pelo teste t (LSD).

O ICC variou de 0,89 Mg ha⁻¹, no SC, a 0,27 Mg ha⁻¹, no SD; por esses valores, nota-se que eles foram inversamente relacionados ao balanço de C no solo. Ou seja, quanto menor o ICC, maior o potencial do sistema em conservar carbono no solo (COSTA et al., 2008). Ademais, com base no valor do acumulado de C-CO₂ emitido nos dois sistemas, em condições experimentais equivalentes, fica demonstrado que, possivelmente, o que determinou o ICC foi o estoque de C, no SD, e não as emissões. Comportamento de emissões semelhantes de C-CO₂ entre sistemas de manejo convencional e direto e maiores estoques de C no solo no SD, quando cotejado ao SC, foi reportado por Costa et al. (2008). Essa contradição significa que as análises isoladas das emissões de CO₂ não são suficientes para descrever o potencial de manejo, visando à emissão líquida de C do solo para a atmosfera.

O ICC apresentou respostas semelhantes aos dados de balanço de C em relação a tratamentos, dentro dos sistemas. A mistura gesso + calcário potencializou o ICC no SD em 35%, diferindo do uso do gesso associado ao silicato, que revelou maior índice. Considerando o uso do calcário e silicato sem aplicação de gesso, os tratamentos foram iguais e não diferiram da testemunha. No SC, o emprego de corretivos associados ou não ao gesso não diferiu da testemunha para o estoque de C no solo, balanço de C no sistema e ICC; por outro lado, aumentos da produtividade de soja e milho foram verificados com a aplicação destes.

A preocupação com a emissão de gases de efeito estufa é global. Entretanto, é possível mitigar C em sistemas de manejo agrícola, com a adjução de práticas. Não é possível caracterizar um sistema de manejo de solo baseado apenas na emissão de gases de efeito estufa. Sistemas conservacionistas de manejo de solo, aliados à correção de acidez de solos, principalmente do tipo oxídico, ainda constituem a principal prática a ser considerada. Mesmo que a reação da hidrólise do calcário no solo possa emitir CO₂ para a atmosfera, essa emissão não é significativa, pois o balanço de C no solo passa a ser positivo com seu emprego.

7. CONCLUSÕES

O uso de corretivos de acidez do solo não aumenta a emissão total de CO₂ da biosfera para a atmosfera, uma vez que, tanto no sistema de cultivo convencional como no direto, o balanço de carbono é positivo.

A simples estimativa de emissões de gases de efeito estufa não é suficiente para se extrair conclusões sobre o papel de sistemas de manejo de solo, na emissão total de gases.

A adoção da semeadura direta ainda é a principal prática de manejo conservacionista a ser considerada com efeitos diretos no aumento de carbono, no sistema.

O uso do calcário associado ao gesso melhora o índice de conservação de carbono no solo e as propriedades químicas, aumenta o aporte de C e o estoque de carbono no solo, de maneira que pode ser uma prática capaz de favorecer a mitigação das emissões de C, além de promover aumento de produtividade da soja.

8. REFERÊNCIAS

ADACHI, M.; ISHIDA, A.; BUNYAVEJCHEWIN, S.; OKUDA, T.; KOIZUMI, H. Spatial and temporal variation in soil respiration in a seasonally dry tropical forest. **Journal of Tropical Ecology**. Thailand, v.25, n. 5, p. 531-539, 2009.

ADDISCOTT, T.M. Entropy and sustainability. **European Journal of Soil Science**, v. 46, n.2, p.161-168, 1995.

AGARIE, S.; AGATA, W.; KUBOTA, F.; KAUFMAN, P. B. Physiological roles of silicon in photosynthesis and dry matter production in rice plants. **Japan Journal of Crop Science**, Tokyo, v. 61, p. 200-206, 1992.

ALBUQUERQUE, J.A.; REINERT, D.J.; FIORIN, J.E.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. & FONTINELLI, F. Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 19, p.115-119, 1995.

ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; MAFRA, A. L.; FONTANA, E. C. Aplicação de calcário e fósforo e estabilidade da estrutura de um solo ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n. 5, p.799-806, 2003.

ALBUQUERQUE, J.A.; ARGENTON, J.; BAYER, C.; WILDNER, L. P.; KUNTZE, M. A. G. Relação de atributos do solo com a agregação de um Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de verão para cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 29, n.3, p.415-424, 2005.

ALCARDE, J.A.; RODELLA, A.A. Qualidade e legislação de fertilizantes e corretivos. In: CURI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G.; LIMA, J.M.; LOPES, A. S.; ALVARES V., V.H. (Ed.). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. p.291-334.

AL-KAISI, M. M.; YIN, X. H. Tillage and crop residue effects on soil carbon and carbon dioxide emission in corn-soybean rotations. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.34, n.2, p.437- 445, 2005.

ALLEONI, L.R.F.; CAMBRI, M.A.; CAIRES, E.F. Atributos químicos de um Latossolo de cerrado sob plantio direto, de acordo com doses e formas de aplicação de calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.29, p.923-934, 2005.

ALMARAZ, J.J.; ZHOU, X.; MABOOD, F.; MADRAMOOTOO, C.; ROCHETTE, P.; MA, B. L.; SMITH, D. L. Greenhouse gas fluxes associated with soybean production under two tillage systems in Southwestern Quebec. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.104, n.1, p.134-139, 2009.

ALMEIDA, V. P.; ALVES, M.C.; SILVA, E.C.; OLIVEIRA, S. A. Rotação de culturas e propriedades físicas e químicas em latossolo vermelho de cerrado sob preparo convencional e semeadura direta em adoção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 32, n. 3, p.1227-1237, 2008.

ALTMANN, N. **Plantio Direto no Cerrado: 25 anos acreditando no Sistema**. Passo Fundo, RS: Aldeia Norte, 2010. 568p.

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 melhoria da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 189-197, 2001.

AMADO, T.J.C.; BAYER, C.; CONCEIÇÃO, P. C.; SPAGNOLLO, E.; de CAMPOS, B. H.; da VEIGA, M. Potential of Carbon Accumulation in No-Till Soils with Intensive Use and Cover Crops in Southern Brazil. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 35, n. 4, p.1599-1607, 2006.

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 alfaca em dois solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.29, n.9, p.1351-1358, 1994.

AMBROSANO, E.J.; TANAKA, R.T.; MASCARENHAS, H.A.A.; RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H. Leguminosas e Oleaginosas. In: RAIJ, B. van et al. (Ed.). **Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônomo & Fundação IAC, 1996. p.187-203.

AMOS, B.; ARKEBAUER, T.J.; DORAN, J.W. Soil surface fluxes of greenhouse gases in an irrigated maize-based agroecosystem. **Soil Science Society of American Journal**, Madison - WI, v. 71, p. 944-951, 2005.

ANGHINONI, I.; SALET, R.L. Amostragem do solo e as recomendações de adubação e calagem no sistema plantio direto. In: NUERNBERG, N.J. (Ed.). **Conceitos e fundamentos do sistema plantio direto**. Lages: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Núcleo Regional Sul, 1998. p.27-52.

ANJOS, J. L.; SOBRAL, L. F.; LIMA-JUNIOR, M. A. Efeito da calagem em atributos químicos do solo e na produção da laranja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v. 15, n. 11, p. 1138-1142, 2011.

ASSIS, R.L.; LANÇAS, K. P. Avaliação dos atributos físicos de um nitossolo vermelho distroférico sob sistema plantio direto, preparo convencional e mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 4, p.515-522, 2005.

AZEVEDO, A.C.; KAMPF, N.; BOHNEN, H. Alterações na dinâmica evolutiva de Latossolo Bruno pela calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 20, p.191-198, 1996.

BAGGS, E.M.; CHEBII, J.; NDUFA, J.K. A short-term investigation of trace gas emissions following tillage and no-tillage of agroforestry residues in western Kenya. **Soil and Tillage Research**, v. 9, n. 1-2, p.69-76. 2006.

BAKER, J. M.; OCHSNER, T. E.; VENTEREA, R. T.; GRIFFIS, T. J. Tillage and soil carbon sequestration-what do we really know? **Agriculture Ecosystem & Environment**, v.118, n.1, p.1-5, 2007.

BALESDENT, J.; BALABANE, M. Maize root-derived soil organic carbon estimated by natural ¹³C abundance. **Soil Biol. Biochemistry**, v. 24, p.97-101, 1992.

BALESDENT, J.; CHENU, C.; BALABANE, M., Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. **Soil Tillage Research**, v. 53, p.215-230, 2000.

BALOTA, E.L.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D. S.; HUNGRIA, M. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p.641-649, 1998.

BARTON, L.; MURPHY, D. V.; BUTTERBACH-BAHL, K. Influence of crop rotation and liming on greenhouse gas emissions from a semi-arid soil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.167, p.23-32, 2013a.

BARTON, L.; GLEESON, D. B.; MACCARONE, L. D.; ZÚNIGA, L. P.; MURPHY, D. V. Is liming soil a strategy for mitigating nitrous oxide emissions from semi-arid soils? **Soil Biology & Biochemistry**, v.62, p.28-35, 2013b.

BAYER, C.; BERTOL, I. Características químicas de um Cambissolo Húmico afetadas por sistemas de preparo, com ênfase à matéria orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p.687-694, 1999.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, p. 105-112, 1997.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F.A.O. (Ed). **Fundamentos da matéria orgânica do solo**. Porto Alegre: Genesis, 1999. p.9-39.

- 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, 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, n.2, p. 237-245, 2006.
- BEARE, M.H.; HENDRIX, P. F.; CABRERA, M. L.; COLEMAN, D. C. Aggregate-protected and unprotected organic matter pools in conventional- and no-tillage soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.58, p.787-795, 1994.
- BECKER, F.C. SEMINÁRIO SOBRE CORRETIVOS DA ACIDEZ DO SOLO, 2., Santa Maria, 1989. **Anais...** Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 1989. p. 7-38.
- BERNOUX, M.; VOLKOFF, B.; CARVALHO, M. C. S.; CERRI, C. C. CO₂ emissions from liming of agricultural soils in Brazil. **Global Biogeochem. Cycles**, v.17, n. 2, p.1049-1052, 2003.
- BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J. A.; LEITE, D.; AMARAL, A. J.; ZOLDAN JUNIOR, W. A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas ao campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n. 1, p.155-163, 2004.
- BIASI C.; MEYER, H.; RUSALIMOVA, O.; HAMMERLE, R.; KAISER, C.; BARANYI, C.; DAIMS, H.; LASHCHINSKY, N.; BARSUKOV, P.; RICHTER, A. Initial effects of experimental warming on carbon exchange rates, plant growth and microbial dynamics of a lichen-rich dwarf shrub tundra in Siberia. **Plant and Soil**, v.307, n.1, p 191-205, 2008.
- BLEVINS, R.L.; THOMAS, G.W.; SMITH, M.S.; FRYE, W.W.; CORNELIUS, P.L. Changes in soil properties after 10 years continuous non-tilled and conventionally tilled corn. **Soil Tillage Research**, v.3, p.135-146, 1983.
- BORDIN, I.; NEVES, C. S. V. J.; MEDINA, C. C.; SANTOS, J. C. F.; TORRES, E.; URQUIAGA, S. Matéria seca, carbono e nitrogênio de raízes de soja e milho em plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.12, p.1785-1792, 2008.
- BORTOLUZZI, E.C.; GARBOZZA, L.; GUARESCHI, C.; RHEINHEIMER, D. S. Efeito da calagem na relação entre solo e água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.2621-2628, 2008.
- BORTOLUZZI, E.C.; POLETO, C.; BAGINSKI, A. J.; SILVA, V. R. Aggregation of subtropical soil under liming: a study using laser diffraction. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, p.725-734, 2010.
- BOWDEN, R.D.; STEUDLER, P.A.; MELILLO, J.M. Annual nitrous oxide fluxes from temperate forest soil in the northeastern United State. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v.95, p.13997-14005, 1990.

BRAIDA, J. A.; REICHERT, J. M.; VEIGA, M.; REINERT, D. J. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio Proctor. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, n.4, p.605-614, 2006.

BRAIDA, J. A.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; VEIGA, M. Teor de carbono orgânico e a susceptibilidade à compactação de um Nitossolo e um Argissolo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**. Campina Grande, v.14, n.2, 2010.

BREEMER, N.V. Soils as biotic construct favouring net primary productivity. **Geoderma**, v. 57, p. 183-211, 1993.

BRIEDIS, C.; SA, J. C. M.; CAIRES, E. F.; NAVARRO, J. F.; INAGAKI, T. M.; BOER, A.; NETO QUADROS, C.; FERREIRA, A. O.; CANALLI, L. B.; 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, 2012a.

BRIEDIS, C.; SA, J. C. M.; CAIRES, E. F.; NAVARRO, J. F.; INAGAKI, T. M.; BOER, A.; NETO QUADROS, C.; FERREIRA, A. O.; CANALLI, L. B.; 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., 2012b.

BUTTERBACH-BAHL, K.; PAPEN, H. Four years continuous record of CH₄-exchange between the atmosphere and untreated and limed soil of a N-saturated spruce and beech forest ecosystem in Germany. **Plant and Soil**, n.240, p.77-90, 2002.

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. 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, 2003.

CAIRES, E. F.; FONSECA, A. F. Absorção de nutrientes pela soja cultivada no sistema de plantio direto em função de calagem na superfície. **Bragantia**, Campinas, v.59, n.2, p.213-220, 2000.

CAIRES, E.F.; CHUEIRI, W. A.; MADRUGA, E. F.; FIGUEIREDO, A. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso 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.; FONSECA, A. F.; MENDES, J.; CHUEIRI, W. A.; MADRUGA, E. F. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 315-327, 1999.

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**, Viçosa, v. 25, p.1029-1040, 2001.

CAIRES, E.F.; GARBUIO, F.J.; ALLEONI, L.R.F.; CAMBRI, M.A. Calagem superficial e cobertura de aveia preta antecedendo os cultivos de milho e soja em sistema de plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.30, p.87-98, 2006.

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**, Amsterdam, v. 28, n. 1, p. 57-64, 2008.

CALEGARI, A. et al. **Plantio direto e rotação de culturas**. Experiência em Latossolo Roso. IAPAR/COCAMAR/ZENECA, Fazenda Sto, Antonio, Floresta (PR), 1985-1992 (Relatório mimeografado).

CALONEGO, J. C.; MORA, V. S.; SANTOS, C. H.; OLIVEIRA, L. Calagem e silicatagem em solo incubado com diferentes umidades. **Colloquium Agrariae**, v. 8, n.2, p. 46-56, 2012.

CALONEGO, J.C.; ROSOLEM, C.A. Estabilidade de agregados do solo após manejo com rotações de culturas e escarificação. **Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.4, p.1399-1407, 2008.

CAMARGO, O.A.; CASTRO, O. M.; VIEIRA, S. R.; QUAGGIO, J. A. Alterações de atributos químicos do horizonte superficial de um Latossolo e um Podzólico com a calagem. **Scientia Agrícola**, v.54, p.1-8, 1997.

CAMBARDELLA, C.A.; ELLIOT, E.T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, v.56, p.777-783, 1992.

CAMPOS, B.C. **Dinâmica do carbono em Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo de solo e de culturas**. 2006. 188 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Santa Maria - RS, 2006.

CAMPOS, B.H.C.D.; AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; NICOLOSO, R. 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.

CARDOSO, A.; POTTER, R.; DEDECEK, R.A. Estudo comparativo da degradação de solos pelo uso agrícola no Noroeste do estado do Paraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.27, n.3, p.349-353, 1992.

CARDOSO, J.A.E.; PERES, G.C.M.; LAMBERT, R.A. Influência da aplicação de calcário e gesso na cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill). **Enciclopédia Biosfera**, v.10, n.18, p.1980-1987, 2014.

CARMO, J.B. do; ANDRADE, C. A.; CERRI, C. C.; PICCOLO, M. C. Disponibilidade de nitrogênio e fluxos de N₂O a partir de solo sob pastagem após aplicação de herbicida. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.735-746, 2005.

CARNEIRO, M.A.C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, n.1, p.147-157, 2009.

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.14, n.1, p.99-105, 1990.

CARVALHO, J. L. N.; AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N. MELLO, C. R. CERRI, C. E. P. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 277-290, 2010.

CARVALHO, M.A.C.; ATHAYDE, M. L. F.; SORATTO, R. P.; ALVES, M. C.; ARF, O. Soja em sucessão a adubos verdes no sistema de plantio direto e convencional em solo de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.11, p.1141-1148, 2004.

CASSOL, L.C. **Características físicas e químicas do solo e rendimento de culturas após a reaplicação de calcário, com e sem incorporação, em sistemas de preparo**, 1995. 98f. Dissertação (Mestrado em Solos) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1995.

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. 135f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2009.

CASTRO, G. S. A.; CALONEGO, J. C.; CRUSCIOL, C.A.C. Propriedades físicas do solo em sistemas de rotação de culturas conforme o uso de corretivos da acidez. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n.12, p.1690-1698, dez. 2011.

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

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.

CERRI, C.C. et al. **Primeiro inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa**: emissões e remoções de dióxido de carbono pelos solos por mudanças de uso da terra e calagem. Brasília: Ministério da Agricultura, 2006. 47p.

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

CHAVEZ, L.F.; AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; LA SCALA, N.; ESCOBAR, L. F.; FIORIN, J. E.; 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**, v. 33, p.325-334, 2009.

CHI, C. M.; ZHAO, C. W.; SUN, X. J.; WANG, Z. C. Reclamation of saline-sodic soil properties and improvement of rice (*Oriza sativa* L.) growth and yield using desulfurized gypsum in the west of Songnen Plain, northeast China. **Geoderma**, v. 187-188, p. 24-30, 2012.

CIOTTA, M.N.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; FONTOURA, S. M. V.; ALBUQUERQUE, J. A.; WOBETO, C. Acidificação de um Latossolo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 1055-1064, 2002.

CIOTTA, M.N.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; ERNANI, P. R.; ALBUQUERQUE, J. A. Matéria orgânica do solo e aumento da capacidade de troca de cátions em solo com argila de atividade baixa sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.6, p.1161-1164, 2003.

CIOTTA, M.N.; BAYER, C.; ERMANI, P. R.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C.; ALBUQUERQUE, J. A. Manejo da calagem e os componentes da acidez de Latossolo Bruno em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.317- 326, 2004.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, v. 1 - Safra 2013/14, n. 9 - Nono Levantamento. Brasília, p. 1-80, jun. 2014

COSTA, A.R.D.; SATO, J. H.; RAMOS, M. L. G.; FIGUEIREDO, C. C.; SOUZA, G. P.; ROCHA, O. C.; GUERRA, A. F. Microbiological properties and oxidizable organic carbon fractions of an oxisol under coffee with split phosphorus applications and irrigation regimes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.37, n.1, p.55- 65, 2013.

COSTA, F.S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.527-535, 2003.

COSTA, F. S. et al. **Procedimentos de avaliação e emissões de metano em solo de várzea cultivado com arroz no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Departamento de solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e Instituto Rio Grandense do Arroz. Boletim Técnico, 2007. p. 1-22.

COSTA, F. S.; BAYER, C. ZANATTA, J. A.; MIELNICZUK, J. Estoques de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 323-332, 2008.

COSTA, O.V.; COSTA, L. M.; FONTES, L. E. F.; ARAUJO, Q. R.; KER, J. C.; NACIF, P. G. S. Cobertura do solo e degradação de pastagens em área de domínio de chernossolos no sul da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, n.4, p.843-856, 2000.

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, 2011.

DAO, T.H. Tillage system and crop residue effects on surface compaction of a Paleustoll. **Agronomy. Journal**, Madison, v.88, n.2, p.141-148, 1996.

DAVIDSON, E.A.; BELK, E.; BOONE, R.D. Soil water content and temperature as independent or confounded factors controlling soil respiration in a temperate mixed hardwood forest, **Global Change Biology**, v. 4, p. 217-227, 1998.

DE MARIA, I.C.; CASTRO, O.M.; DIAS, H.S. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, SP, v.23, n.3, p. 703-709, 1999.

DIEKOW, J.; MIELNICZUK, J.; KNICKER, H.; BAYER, C.; DICK, D. P.; KOGEL KNABNER, I. Soil C and N stocks as affected by cropping systems and nitrogen fertilization in a Southern Brazil Acrisol managed under no-tillage for 17 years. **Soil Tillage Research**, v. 81, p. 87-95, 2005.

DUMALE JUNIOR, 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, p. 49-53, 2011.

ELTZ, F.L.F.; PEIXOTO, R.T.G.; JASTER, F. Efeitos de sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Bruno álico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 13, p. 259-267, 1989.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 212 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA/CNPMA. **Primeiro inventário brasileiro de emissões antrópica de gases de efeito estufa: emissões de óxido nitroso proveniente de solos agrícolas**. Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2006.

ERNANI, P.R.; NASCIMENTO, J.A.L.; OLIVEIRA, L.C. Increase of grain and green matter of corn by liming. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, SP, v. 22, p. 275-280, 1998.

ESSINGTON, M. E. **Soil and water chemistry: a interactive approach**. 1. ed. New York: Taylor & Francis, 2005. 534p.

FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C. Ameliorating Soil Acidity of Tropical Oxisols by Liming For Sustainable Crop Production. **Advances in Agronomy**, v. 99, p. 345-399, 2008.

FALLEIRO, R.M.; SOUZA, C. M.; SILVA, C. S. W.; SEDIYAMA, C. S.; SILVA, A. A.; FAGUNDES, J. L. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 1097-1104, 2003.

FAO – Organização das nações unidas para a alimentação e agricultura. **Aumenta as emissões de gases de efeito estufa da agricultura**. 2014. Disponível em: < <https://www.fao.org.br/aegeea.asp> >. Acesso em 20 janeiro 2016.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E.; BURMOOD, D. T.; PENNINGTON, J. S. Stage of development descriptions for soybeans, *Glycine max* (L.) Merrill. **Crop Science**, Madison, v. 11, p. 929-931, 1971.

FIGUEIREDO, E.B.; PANOSSO, A. R.; REICOSKY, D. C.; LA SCALA, N. Short-term CO₂-C emissions from soil prior to sugarcane (*Saccharum*, SSP.) replanting in southern Brazil. **Global Change Biology Bioenergy**. Hoboken: Wiley-blackwell, v. 7, n. 2, p. 316-327, 2015.

FISHER, J.; DIGGLE, A.; BOWDEN, B. Quantifying the Acid Balance for Broad-Acre Agricultural Systems. In: ROBSON, A. D. **Handbook of Soil Acidity**. Boca Raton, Florida: CRC Press, 2003.p. 117-133.

FITTIPALDI, W. L. S. L. Sistemas de cultivo e gesso nas características químicas do solo e produtividade de milho consorciado com braquiária. 2006. 51 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade de Marília, Marília, 2006.

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**, Viçosa, v. 23, p. 533-542, 1999.

FRANCHINI, J. C.; BORKERT, C. M.; FERREIRA, M. M.; GAUDÊNCIO, C. A. Alterações na fertilidade do solo em sistemas de rotação de culturas em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 24, n. 2, p. 459-467, 2000.

FUENTES, J.P.; BEZDICEK, D. F.; FLURY, M.; ALBRECHT, S.; SMITH, J. L. Microbial activity affected by lime in a long-term no-till soil. **Soil Tillage & Research**, Amsterdam, v.88, n.1-2, p.123- 131, 2006.

GALBALLY, I.E.; MEYER, M. C. P.; WANG, Y. P.; SMITH, C. J.; WEEKS, I. A. Nitrous oxide emissions from legume pasture and the influences of liming and urine addition. **Agriculture Ecosystems and Environment**, v.136, p.262-272, 2010.

GARRITY, G.M.; LILBURN, T.G.; COLE, J.R.; HARRISON, S.H.; EUZEBY, J.; TINDALL, B.J. The Archaea, Phyla Crenarchaeota and Euryarchaeota. In: GARRITY, G.M.; LILBURN, T.G.; COLE, J.R.; HARRISON, S.H.; EUZEBY, J.; TINDALL, B.J. (Ed.). **Taxonomic Outline of the Bacteria and Archaea**. Release 7.7. East Lansing: Michigan State University Board of Trustees, 2007. p.6-31.

GHINI, R.; PATRICIO, F.R.A.; SOUZA, M.D.; SINIGAGLIA, C.; BARROS, B.C.; LOPES, ME.B.M.; TESSARIOLI NETO, J.; CANTERELLA, H. Efeito da solarização sobre propriedades físicas, químicas e biológicas de solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 71-79, 2003.

GLATZEL, S.; STAHR, K. Methane and nitrous oxide exchange in differently fertilized grassland in southern Germany. **Plant and Soil**, v. 231, p. 21-35, 2001.

GOMES, J. **Emissão de Gases de Efeito Estufa e Mitigação do Potencial de Aquecimento Global por Sistemas Conservacionistas de Manejo do Solo**, 2006. 129p. Tese (Doutorado em Ciência do solo) –, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

GOMES, J.; BAYER, C.; COSTA, F. S.; PICCOL, M. C.; ZANATTA, J. A.; VIEIRA, F. C.; SIX, J. Soil nitrous oxide emissions in long-term cover crops-based rotations under subtropical climate. **Soil & Tillage Research**, v. 106, p. 36-44, 2009.

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.

GRABLE, A.R.; SIEMER, E.G. Effects of bulk density, aggregate size, and soil water suction on oxygen diffusion, redox potential and elongation of corn roots. **Soil Science Society of America Journal**, v.32, p.180-186, 1968.

GUNES, A.; PILBEAM, D.J.; INAL, A.; COBAN, S. Influence of silicon on sunflower cultivars under drought stress, I: Growth, antioxidant mechanisms, and lipid peroxidation. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.39, n.13, p.1885-1903, 2008.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. **The climate change**. The science of climate change. Contribution on working group I to the second assessment report of the intergovernment Panel on Climate Change [Houghton., JT, et al. (Eds.)]. Cambridge, Reino Unido e Nova York, NY, EUA: Cambridge University Press, 1995, 572 p.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. **Guidelines for National Green House Gas Inventories**. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Japan: IGES, 2006. chapter 11.

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. (Ed.).
Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007, 996 p.

JANZEN, H. H. Soil carbon: a measure of ecosystem response in a changing world?
Canadian Journal of Soil Science, v. 85, p. 467-480, 2005

JONG VAN LIER, Q. de. **Física do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo,
2010. 298p.

JORIS, H.A.W.; FONSECA, A. F.; ASAMI, V. Y.; BRIEDIS, C.; BORSZOWSKI,
GARBUIO, F. J. Adsorção de metais pesados após calagem superficial em um Latossolo
Vermelho sob sistema de plantio direto. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n.1, p 1-10,
2012.

KATO, N.; OWA, N. Dissolution of slag fertilizers in a paddy soil and Si uptake by rice
plant. **Japanese Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v.43, p.329-341, 1997.

KELLER, T.; HAKÅNSSON, I. Estimation of reference bulk density from soil particle
size distribution and soil organic matter content. **Geoderma**, v.154, n.3-4, p.398-406,
2010.

KORNDÖRFER, G.H.; LEPSCHI, I. Effect of silicon on plant growth and crop yield. In:
DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H.; KORNDÖRFER, G.H. Silicon in Agriculture. **Studies
in plant science**. Amsterdam, v. 8, p. 133- 147, 2001.

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

LAL, R. Challenges and opportunities in soil organic matter research. **European Journal
of Soil Science**, Malden, v.60, n.2, p.158-169, 2009.

LAL, R.; SHUKLA, M. K. **Principles of soil physics**. New York: Marcel Dekker, 2004.

LAMARCA, C.C. **Rastrojos sobre el suelo: una introducción a la cero labranza**. Santiago
do Chile: Editorial Universitária, 1992.

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

LEITE, G.H.M.N.; ELTZ, F. L. F.; AMADO, T. J. C.; COGO, N. P. Atributos químicos e
perfil de enraizamento de milho influenciados pela calagem em semeadura direta. **Revista
Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.685-693, 2006.

LEITE, L. F. C.; OLIVEIRA, F. C.; ARAÚJO, A. S. F.; GALVÃO, S. R. S.; LEMOS, J.
O.; SILVA, E. F. L. Soil organic carbon and biological indicators in an Acrisol under
tillage systems and organic management in north-eastern Brazil. **Australian Journal of
Soil Research**, v. 48, p. 258-265, 2010.

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

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

LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L.H.C.; SILVA, E.M.R. Frações orgânicas e índice de manejo de carbono do solo em diferentes sistemas de produção orgânica. **IDESIA** (Chile) v. 29, n. 2011.

LOUZADA, P.T.C. **Eficiência de uma escória de siderurgia como corretivo e fertilizante do solo**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1987. 52p. Dissertação (Mestrado em Solos) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 1987.

LOVATO, T.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.175-187, 2004.

MACHADO, P. L. O. A. Carbono no solo e a mitigação da mudança climática global. **Química Nova**, v. 28, n. 2, p. 329-334, 2005.

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.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319 p.

MARCELO, A.V.; CORA, J.E.; LA SCALA, N. Influence of liming on residual soil respiration and chemical properties in a tropical no-tillage system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.36, n.1, p.45-50, 2012.

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

MARTORANO, L. G.; BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; FARIA, R. T.; MIELNICZUK, J.; COMIRAN, F. Indicadores da condição hídrica do solo com soja em plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 4, p. 397-405, 2009.

MATIAS, M. da C.B.; SALVIANO, A. A. C.; LEITE, L. F.; GALVÃO, S. R. S. Propriedades químicas em Latossolo Amarelo de Cerrado do Piauí sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Ciência Agronômica**, v.40, p. 356-362, 2009.

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.

MELO, S.P. **Silício e fósforo para o estabelecimento do capim-Marandu num Latossolo Vermelho-Amarelo**. 2005. 110f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo, ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre, RS: Genesis, 1999. p.1-8.

MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G.A. et al. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2.ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p.1-5.

MIELNICZUK, J. et al. Manejo de solos e culturas e sua relação com estoques de carbono e nitrogênio do solo. **Tópico em ciência do solo**, Viçosa, MG, v. 3, p. 209-248, 2003.

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

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. Lavras/MG: UFLA, 2006. 729 p.

MORELLI, S.L.; DALBEN, A. E.; ALMEIDA, J.O.C.; DEMATTE, J.L.I. Calcário e gesso na produtividade da cana de açúcar e nas características químicas de um Latossolo de textura média álico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.16, p. 187-194, 1992.

MOSIER, A.; WASSMANN, R.; VERCHOT, L.; KING, J.; PALM, C. Methane and nitrogen oxide flux in tropical agricultural soils: Sources, sinks and mechanisms. **Environment, Development and Sustainability**, v.6, p.11-49. 2004.

MUZILLI, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.7, p. 95-102, 1983.

NEIS, L.; PAULINO, H. B.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PINTO, F. A. Gesso agrícola e rendimento de grãos de soja na região do sudoeste de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, p. 409-416, 2010.

NEWMAN, A. **Effect of sugarcane residue management on soil organic carbon in a Louisiana agricultural system: implications for carbon sequestration**. 2014. 63f. Dissertação – Agricultural and Mechanical College, LSU, Louisiana, 2014.

NISHI, M.H.; JACOVINE, L. A. G.; SILVA, M. L.; VALVERDE, S. R.; NOGUEIRA, H. P.; ALVARENGA, A. P. Influência dos créditos de carbono na viabilidade financeira de três projetos florestais. **Revista Árvore**, Viçosa, v.29, n.2, p.263-270, 2005.

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

NUERNBERG, N. J.; RECH, T. D.; BASSO, C. **Usos do gesso agrícola**. 2. ed.

Florianópolis: Epagri, 2005 (Boletim técnico, 122).

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

OLIVEIRA, G. C. de; DIAS JUNIOR, M. S.; RESK, D. V. S.; CURI, N. Caracterização química e físico-hídrica de um latossolo vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 327-336, 2004.

OMONODE, R. A.; VYN, T. J.; SMITH, D. R.; HEGYMEGI, P.; GAL, A. Soil carbon dioxide and methane fluxes from long-term tillage systems in continuous corn and corn-soybean rotations. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.95, p. 182-195, 2007.

ORDONEZ A. A; COMPANY, M. L. **El cultivo del girasol**. Madrid: Ediciones Mundi – Prensas, 1990.152 p.

PAGE, K.L., ALLEN, D.E., DALAL, R.C., SLATTERY, W. Processes and magnitude of CO₂, CH₄, and N₂O fluxes from liming of acidic Australian soils: a review. **Australian Journal of Soil Research**, v. 47, p. 747-762, 2009.

PASSOS, R. R.; RUIZ, H. A.; MENDONÇA, E.S.; CANTARUTTI, R. B.; SOUZA, A. P. Substâncias húmicas, atividade microbiana e carbono orgânico lábil em agregados de um Latossolo Vermelho distrófico sob duas coberturas vegetais. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, v. 31, n. 5, p. 1119-1129, 2007.

PAUL, E.A.; CLARK, F.E. **Soil microbiology and biochemistry**. 2. ed. San Diego: Academic Press, 1996. 340p.

PAVEI, M. A. **Decomposição de resíduos culturais e emissão de gases do efeito estufa em sistemas de manejo do solo em Ponta Grossa (PR)**, 2005. 114p. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Ecologia de Agroecossistemas, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba-SP, 2005.

PEIXOTO R. T. G.; AHRENS D. C.; SAMAHAM, J. **Plantio direto: o caminho para uma agricultura sustentável**. Ponta Grossa, IAPAR, 1997. 275p.

PEREZ, A. A. G.; SORATTO, R. P, MANZATTO, N. P.; SOUZA, E. F C. Extração e exportação de nutrientes pelo feijoeiro adubado com nitrogênio, em diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, v. 37, p. 1276-1287, 2013.

PÉRTILE, P. **Resíduo alcalino da indústria de celulose em solos ácidos e área degradada**. 2011. 106p. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages-SC, 2011.

PES, L. Z. **Fluxo de gases do efeito estufa em sistema de preparo de solo e rotação de culturas no planalto do Rio Grande do Sul**. Dissertação (Mestrado) –2009, Santa Maria - RS, 2009.

PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M.; NATALE, W. **Uso agrícola da escória de siderurgia no Brasil**: estudos na cultura da cana-de-açúcar. Jaboticabal: FUNEP, 2001. 67p.

PRATES, F. B.S.; SAMPAIO, R. A.; SILVA, W. J.; FERNANDES, L. A.; JUNIO, G. R. Z.; SATURNINO, H. M. Crescimento e teores de macronutrientes em pinhão manso adubado com lodo de esgoto e silicato de cálcio e magnésio. **Revista Caatinga (online)**, Mossoró. v. 4, p. 101-112, 2011.

QUAGGIO, J.A. **Acidez e calagem em solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 2000. 111p.

QUAGGIO, J.A.; DECHEN, A.R.; RAIJ, B. van. Efeito da aplicação de calcário e gesso sobre a produção de amendoim e lixiviação de bases no solo. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Viçosa, v. 6, p. 189-194, 1982.

QUAGGIO, J.A.; RAIJ, B.V.; 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, p.375- 383, 1993.

RAIJ, B.V. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres, 1991. 343 p.

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

RAIJ, B. V. Uso do gesso na agricultura. **Informações Agronômicas**, Campinas, n.117. p.14-15. 2007.

RAIJ, B. V. Gesso na agricultura. **Informações Agronômicas**, Campinas, n.122. p.26-27. 2008.

RAIJ, B. V.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: IAC, 2001. 285p.

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**. 2. ed. ver. e atual. Campinas, n.100, 1997. 285p.

RAIJ, B. van.; 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 Solo**, Viçosa v. 22, p.101-108, 1998.

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

RAMPIM, L. S.; 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 Solo**, Viçosa, v. 35, p. 1687-1698, 2011.

RANGEL, O. L. P.; SILVA, C. A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 1609-1623, 2007.

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A.; GUIMARÃES, P. T.; GUILHERME, L. R. G. Frações oxidáveis do carbono orgânico de latossolo cultivado com cafeeiro em diferentes espaçamentos de plantio. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32 n. 2, p. 429-437, 2008.

RASSE, D.P.; RUMPEL, C.; DIGNAC, M.F. Is soil carbon mostly root carbon? Mechanisms for a specific stabilisation. **Plant and soil**, Dordrecht, v.269, n.1-2, p.341-356, 2005.

REICONSKY, D.C.; DUGAS, W.A.; TORBERT, H.A. Tillage – induced soil carbon dioxide loss from different cropping systems. **Soil & Tillage Research**, v.41, p. 105-118, 1997.

REZENDE, L.; SOUZA, I.; BARROS, N.; MILAGRES, J. Eficiência agrônômica do agrosilício, comparativamente ao calcário dolomítico, na correção do solo e na disponibilidade de Ca e Mg. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado. **Anais...** Gramado: SBCS, 2007 (CD-ROM).

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

RIGON, J. P. G. **Emissão de gases de efeito estufa em áreas de sistema de semeadura direta com aportes diferenciados de C e N**. 2013. 98f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2013.

ROBERTSON, G. P.; PAUL, E. A.; HARWOOD, R.R. Green-House Gases in Intensive Agriculture: Contributions of Individual Gases to the Radiative Forcing of the Atmosphere, **Science**, v.289, n.5486, p. 1922-1925, 2001.

ROCHA, A.T.; OLIVEIRA, A. C.; RODRIGUES, A. N.; LIRA JUNIOR, M.; FREIRE, F. J. Emprego do gesso do Araripe na melhoria do ambiente radicular da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.3, n.4, p.307-312, 2008.

RODRIGUES, C. R.; RODRIGUES, T. M.; FIGUEIREDO, F. C. Aumento de qualidade e produção com aplicação de silício solúvel. **Revista Campo e Negócios HF**, Uberlândia, v. 2, n. 24, p. 34-40. 2007.

ROSCOE, R.; BODDEY, R.M.; SALTON, J.C. Sistemas de manejo e matéria orgânica do solo. In: ROSCOE, R.; MERCANTE, F.M.; SALTON, J.C. (Ed.). **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas**: modelagem matemática e métodos auxiliares. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. 304p.

ROSOLEM, C. A.; PEREIRA, H. F. M.; BESSA, M. A.; AMARAL, P. G. Nitrogen in soil and cotton growth as affected by liming and nitrogen fertilizer. In: WRIGHT, R. J. (Ed.). **Plant-soil interactions at low pH**. Dordrecht: Kluwer, 1991. p. 321-325.

ROSSI, C. Q.; PEREIRA, M. G.; GIACOMO, G.; BETTA, M.; POLIDORO, J. C. Frações lábeis da matéria orgânica em sistema de cultivo com palha de braquiária e sorgo. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 43, n. 1, p. 38-46, 2012.

SÁ, J. C. M.; CERRI, C. C.; DICK, W. A.; LAL, R.; VENZKE FILHO, S. P.; PICCOLO, M. C. Organic matter dynamics and carbon sequestration rates for a tillage chronosequence in a Brazilian Oxisol. **Soil Science Society of America Journal**, v. 65, p. 1486-1499. 2001.

SALDANHA, E. C. M.; ROCHA, T.A.; OLIVEIRA, E. C. A.; NASCIMENTO, C. W. A.; FREIRE, F. J. Uso do Gesso mineral em latossolo cultivado com cana de açúcar. **Revista Caatinga**, v.20, n.1, p.36-42, 2007.

SALET, R.; ANGHINONI, I.; KOCHHANN, R.A. Atividade do Alumínio na solução do solo do sistema plantio direto. **R. Científica Unicruz**, v 1, p. 9-13, 1999.

SAMPAIO, J.A.; ALMEIDA, S.L.M. Calcário e dolomito. In: CETEM: Rochas e minerais industriais. Rio de Janeiro, 2008. p. 363-391.

SANT'ANNA NETO, J.L.S., ALMEIDA, I. R. de. **A variabilidade das chuvas e a expansão da cultura da soja no Brasil**: cenários possíveis sob a hipótese das mudanças climáticas. Embrapa Soja, 2007.

SANTOS, N.Z.; DIECKOW, J.; BAYER, C.; MOLIN, R.; FAVARETTO, N.; PAULETTI, V.; PIVA, J. T. 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.

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

SCHAUFLER, G.; KITZLER, B.; SCHINDLBACHER, A.; SKIBA, U.; SUTTON, A. M.; ZECHMEISTER-BOLTENSTERN, S. Greenhouse gas emissions from European soils under different land use: effects of soil moisture and temperature. **European Journal of Soil Science**, v.6, p. 1683-1696, 2010.

SCHONINGER, E.L.; LANGE, A.; SILVA, A. F.; LEMKE, A. F.; MONTEIRO, S.; SILVA, J. A. N. Atributos químicos do solo e produtividade da cultura de soja em área de semeadura direta após calagem superficial. **Semina: Ciências Agrárias**, v.31, suplemento 1, p.1253-1262, 2010.

SCHWARTZ, R. C.; BAUMHARDT, R. L.; EVETT, S. R. Tillage effects on soil water redistribution and bare soil evaporation throughout a season. **Soil & Tillage Research**, v.110, p.221-229, 2010.

SERAFIM, M. S.; OLIVEIRA, G. C.; OLIVEIRA, A. S.; LIMA, J. M.; GUIMARÃES, P. T. G.; COSTA, J. C. Sistema conservacionista e de manejo intensivo do solo no cultivo de cafeeiros na região do alto São Francisco, MG: um estudo de caso. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 6, p. 964-977, 2011.

SILVA, E. D.; LOURENTE, E. P. R.; MARCHETTI, M. E.; MERCANTE, F. M.; FERREIRA, A. K. T.; FUJII, G. C. Frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica em solos sob integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1321-1331, 2011.

SILVA, E.F.; MOITINHO, M. R.; TEIXEIRA, D. B.; PEREIRA, G. T.; LA SCALA, N. Emissão de CO₂ do solo associada à calagem em área de conversão de laranja para cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.34, n.5, p. 885-898, 2014.

SILVA, I.R.; MENDONÇA, E.S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017p.

SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S.; CORAZZA, E. J.; VIVALDI, L. Carbon storage in clayey oxisol cultivated pastures in the “Cerrado” region, Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 103, p. 357-363, 2004.

SILVA, R.H. da; ROSOLEM, C.A. Crescimento radicular de soja em razão da sucessão de cultivos e da compactação do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, p.855-860, 2002.

SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F.; JUNIOR, J. A.; SILVA, J. G. Efeitos do manejo do solo sob plantio direto e de culturas na densidade e porosidade de um latossolo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 24, n. 3, p. 53-59, July/Sept. 2008

SIQUEIRA NETO, M.; VENZKE FILHO, S. P.; PICCOLO, M. C.; CERRI, C. E. P.; CERRI, C. C. CERRI. Rotação de culturas no sistema plantio direto em Tibagi (PR): I - Sequestro de carbono no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa – MG, v. 33, n.4, p. 1013-1020, 2009.

SIQUEIRA NETO, M.; PICCOLO, M. de C.; COSTA JR., C.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**, v.35, p. 63-76, 2011.

SIQUEIRA, O.J.W.; STEINMETZ, S.; SALLES, L.A.B. Efeitos potenciais das mudanças climáticas na agricultura brasileira e estratégias adaptativas para algumas culturas. In: LIMA, M.A.; CABRAL, O.M.R.; MIGUEZ, J.D.G. **Mudanças climáticas globais e a agropecuária brasileira**. Jaguariúna, Embrapa Meio Ambiente, 2001. p.33-64.

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 Tillage Research**, v. 76, p. 39-58, 2004.

SIX, J.; ELLIOTT, E.T.; PAUSTIAN, K. Aggregate and soil organic matter dynamics under conventional and no-tillage systems. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.63, p.1350-1358, 1999.

SIX, J.; ELLIOTT, E.T.; PAUSTIAN, K. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. **Soil Biology. Biochemistry**, v. 32, p. 2099-2103, 2000.

SOBRAL, L.F.; CINTRA, F.L.D.; SMYTH, T.J. Lime and gypsum to improve root depth of orange crop in an Ultisol of the Coastal Tablelands. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, p.836-839, 2009.

SOBRAL, M.F.; NASCIMENTO, C. W. A.; CUNHA, K. P. V.; FERREIRA, H. A.; SILVA, A. J.; SILVA, F. B. V. Escória de siderurgia e seus efeitos nos teores de nutrientes e metais pesados em cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 8, p. 867- 872, 2011.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de calcário e gesso em sistema plantio direto recém-implantado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.675-688, 2008a.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Métodos de determinação de cálcio e magnésio trocáveis e estimativa do calcário residual em um latossolo submetido à aplicação de calcário e gesso em superfície. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.663-673, 2008b.

SORRILHA, P. A. A.; PEREIRA, L. H. G; COSTA, F.A. Atividade microbiana de dois solos após calagem e adição de um composto orgânico. **Cadernos de Agroecologia**, v. 5, n.1, 2010. (Resumos do III Seminário de Agroecologia de MS).

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

SOUZA, R.F.; FAQUIN, V.; CARVALHO, R.; TORRES, P. R. F.; POZZA, A. A. A. Atributos químicos de solos influenciados pela substituição do carbonato por silicato de cálcio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 4, p. 1563-1572, 2008.

STEUDLER, P.A.; BOWDEN, R. D.; MELILLO, J. M.; ABER, J. D. Influence of nitrogen fertilization on methane uptake in temperate forest soils. **Nature**, v. 341, p. 314-316, 1989.

STEVENS, R.J.; LAUGHLIN, R.J. Measurement of nitrous oxide and nitrogen emissions from agricultural soils. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 52, p. 131-139, 1998.

STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M. da. Efeito do sistema de preparo na compactação do solo, disponibilidade hídrica e comportamento do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, p.83-91, 1999.

STRECK, N.A. Climate change and agroecosystems: The effect of elevated atmospheric CO₂ and temperature on crop growth, development, and yield. **Ciência Rural**, v. 35, p. 730-740, 2005.

STÜRMER, S. L. K.; ROSSATO, O. B.; COPETTI, A. C. C.; SANTOS, D. R.; CALEGARI, A.; BRUM, B. Variações nos teores de carbono orgânico em função do desmatamento e revegetação natural do solo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 2, p. 241-250, 2011.

SU, Y. Z.; WANG, X. F.; YANG, R.; LEE, J. Effects of sandy desertified land rehabilitation on soil carbon sequestration and aggregation in an arid region in China. **Journal of Environmental Management**, v.91, p.2109-2116, 2010.

SWIFT, R.S. Organic matter characterization. In: SPARKS, D. (Ed.). **Methods of soil analysis: chemical methods**. Madison: Soil Science Society America, 1996. Part 3. p.1018-1020 (Soil Science Society of America, Series, 5).

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. **Engenharia Agrícola**, v.30, p.224-231, 2010.

TORMENA, C. A.; FRIEDRICH, R.; PINTRO, J. C.; COSTA, A. C. S.; FIDALSKI, J. Propriedades físicas e taxa de estratificação de carbono orgânico num Latossolo Vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n.6, p. 1023-1031, 2004.

TORMENA, C.A.; ROLOFF, G.; SÁ, J.C.M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.301-309, 1998.

URRUTIA, M.; MACIAS, F.; RODEJA, G. E. Evaluación del CuCl₂ y del LaCl₃ como extractantes de aluminio en suelos ácidos de Galicia. **Nova Acta Científica Compostelana (Biología)**, Santiago de Compostela, v.5, p.173-182, 1995.

USSIRI, D. A. N.; LAL, R. Carbon Sequestration in Reclaimed Minesoils. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v.24, p.151-165, 2005.

USSIRI, M.K.; LAL, R.; JARECKI, M.K. Nitrous oxide and methane emissions from long-term tillage under a continuous corn cropping system in Ohio. **Soil Tillage Research**, v. 104, p. 247-255, 2009.

VAN CLEEMPUT, O. Subsoils: chemo- and biological denitrification, N₂O and N₂ emissions. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 52, p. 87-94, 1998.

VENDRAME, P.R.S.; BRITO, O. R.; GUIMARÃES, M. F.; MARTINS, E. S.; BECQUER, T. Fertility and acidity status of Latossolos (oxisols) under pasture in the Brazilian Cerrado. **An. Acad. Bras. Ci.**, v. 82, p. 1085-1094, 2010.

VERBURG, P. J.; LARSEN, J.; JOHNSON, D. W.; SCHORRAN.; ARNONE, J. A. Impacts of an anomalously warm year on soil CO₂ efflux in experimentally manipulated tallgrass prairie ecosystems. **Global Change Biology**, v.11, p.1720-1732, 2005.

VETEREA, R.T.; BIJESH, M.; DOLAN, M.S. Fertilizer source and tillage effects on yield-scaled nitrous oxide emissions in a corn cropping system. **Journal of Environmental Sciences**, v.40, p. 1521-1531, 2011.

VEZZANI, F. M. **Qualidade do sistema solo na produção agrícola**, 2001. 184p. Tese (Doutorado em solos) –Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

VIANA, E.T.; BATISTA, M. A.; TORMENA, C. A.; COSTA, A, C. S.; INOUE, T. T. Atributos físicos e carbono orgânico em latossolo vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n.6, p.2015-2114, 2011.

VOLKWEISS, S.J. Química da acidez dos solos. In: KAMINSKI, J.; VOLKWEISS, J.;

WEST, T.O.; POST, W.M.; Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation: a global data analysis. **Soil Science Society of America Journal**, v. 66, 1930-1946. 2002.

WIETHÖLTER, S. Histórico e perspectivas da prática de calagem no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., Rio de Janeiro, 1997. **Anais...** Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. (CD-ROM)

WUEBBLES, D.J.; HAYHOE, K. Atmospheric methane and global change. **Earth-Sci. Rev.**, v. 57, p. 177-210, 2002.

YAGI, K.; MINAMI, K. Effect of organic matter application on methane emission from some Japanese paddy fields. **Soil Science & Plant Nutrition**, Tokyo, v.36, n.4, p.599-610, 1990.

YU, C.M. **Seqüestro florestal de carbono no Brasil**: dimensões políticas, socioeconômicas e ecológicas. São Paulo: Annablume IEB, 2004. 280p.

ZAMBROSI, F. C. B.; ALLEONI, L. R. F.; CAIRES, E. F. Aplicação de gesso agrícola e especiação iônica da solução de um Latossolo sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, n.1, 2007.

ZANDONA, 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**, Goiânia, v. 45, n. 2, p. 128-137, 2015.