

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU**

**EMIÇÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA E ESTOQUE DE CARBONO NO
SISTEMA SOLO-PLANTA EM FUNÇÃO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO E DA
APLICAÇÃO SUPERFICIAL DE CORRETIVO DA ACIDEZ**

MICHELY DA SILVA ALVES

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

BOTUCATU – SP

Fevereiro – 2016

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU**

**EMIÇÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA E ESTOQUE DE CARBONO NO
SISTEMA SOLO-PLANTA EM FUNÇÃO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO E DA
APLICAÇÃO SUPERFICIAL DE CORRETIVO DA ACIDEZ**

MICHELY DA SILVA ALVES

Orientador: Juliano Carlos Calonego

Co-Orientador: Carlos Alexandre Costa Crusciol

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre 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)

Alves, Michely da Silva, 1988-
S586e Emissão de gases de efeito estufa e estoque de carbono no sistema solo-planta em função do sistema de produção e da aplicação superficial de corretivo da acidez / Michely da Silva Alves. - Botucatu : [s.n.], 2016
x, 63 f. : fots. color., grafs. color., ils. color., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2016
Orientador: Juliano Carlos Calonego
Coorientador: Carlos Alexandre Costa Crusciol
Inclui bibliografia

1. Rotação de culturas. 2. Plantio direto. 3. Efeito estufa (Atmosfera). 4. Solos - Correção. I. Calonego, Juliano Carlos. II. Crusciol, Carlos Alexandre Costa. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. IV. Título.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA E ESTOQUE DE CARBONO NO SISTEMA SOLO-PLANTA EM FUNÇÃO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO E DA APLICAÇÃO SUPERFICIAL DE CORRETIVO DA ACIDEZ.

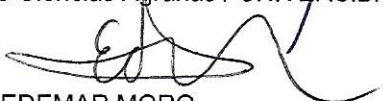
AUTORA: MICHELY DA SILVA ALVES

ORIENTADOR: JULIANO CARLOS CALONEGO

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



Prof. Dr. JULIANO CARLOS CALONEGO
Centro de Ciências Agrárias / UNIVERSIDADE DO OESTE PAULISTA



Prof. Dr. EDEMAR MORO
Agronomia / UNOESTE - Universidade do Oeste Paulista



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

Botucatu, 24 de fevereiro de 2016

DEDICO,

Aos meus pais,

Maria Batista e Napoleão Batista, que sempre me motivaram a estudar mostrando que sem esforço não se consegue chegar a lugar algum e sempre fizeram todo o impossível para que eu tivesse acesso ao conhecimento. Obrigada por acreditarem em mim sempre, obrigada pelo amor e carinho e principalmente pela compreensão, durante todos esses anos da minha vida. Vocês são o que me mantém sempre forte.

A minha irmã,

Kalinne Alves, pelo carinho, amor e palavras de fortalecimento quando precisei.

OFEREÇO,

A minha madrinha Dinalva Gouveia, pelo incentivo, carinho e por sempre está presente em minha vida quando preciso.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pois sem Ele jamais teria concretizado mais esse sonho, a Ele dedico tudo o que tenho, o que sou e o que possa vir a ter ou ser.

Aos meus pais que são meu alicerce, e minha força nos momentos mais difíceis.

A minha irmã a qual tenho o maior amor do mundo.

Aos meus avós maternos Fideralina Batista da Silva (*in memória*) que infelizmente não esta mais presente para ver essa conquista que tanto sonhou e Damião Ferreira da Silva, e aos avós paternos Severina da Cruz Gouveia Alves e José Batista Alves (*in memória*), pelo carinho e atenção dado em vida.

Ao Prof. Dr. Juliano Carlos Calonego, pela paciência, apoio, motivação, confiança e amizade fatores os quais contribuíram imensamente para meu crescimento não só profissional mais também pessoal.

Ao professor Carlos Alexandre Costa Crusciol, por disponibilizar a área para condução desse experimento.

À COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR (CAPES) pela bolsa concedida durante o decorrer do curso.

A minha segunda mãe Guiomar, que sempre torceu para que esse dia chegasse.

Aos meus padrinhos Antonio Fernandes e Dinalva Gouveia, pela torcida positiva sempre.

Aos amigos de curso Tiara Guimarães, Igor Vilela e João Paulo Rigon pela amizade e ajuda durante a condução do experimento.

Aos amigos Doglas Bassegio e Marcos Sarto, pela amizade e conselhos os quais levarei comigo onde estiver.

Em especial agradeço a minha grande amiga Jéssyca Dellinhares pela amizade e ajuda, por sempre está presente em tudo, tanto nos momentos bons como nos mais difíceis, por está ao meu lado me fortalecendo, e também pela ajuda durante toda a condução do experimento.

As amigas Magali Teresopolis, Yara Chahla, Fernanda Bortolheiro e Leysimar Pittz (minha vizinha) as quais pude compartilhar bons momentos de convivência diária, obrigada meninas pela paciência, carinho e amizade.

Aos meus grandes amigos Débora Tuane e Ovídeo Paulo, pela amizade de longa data, e a amiga Rita de Cássia que foi uma pessoa fundamental com suas palavras nessa reta final.

Aos amigos unespianos Letusa Momesso, Sueko Tanaka, Miriam Buchler, Laís Melo, Samara Zanetti, Leandro Moscoso Giovanna Lundgren pela amizade, pelos momentos de descontração e também pela contribuição nos dias de coleta.

Aos funcionários do Departamento de Produção Vegetal – Setor Agricultura, Eliane, Casimiro, Cirinho, Camargo e Mateus pela excelente convivência, alegrias, auxílio e amizade.

Ao responsável pelo Laboratório de Relação Solo-Planta Dorival Pires de Arruda, pela amizade e ensinamentos transmitidos.

A toda minha família que de modo geral sempre estão na torcida pelo meu melhor.

A todos que de uma forma ou de outra tiveram alguma participação.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	VIII
LISTA DE TABELAS	IX
1 RESUMO	1
2 ABSTRACT	3
3 INTRODUÇÃO	5
4 REVISÃO DE LITERATURA	7
4.1 Acidez do solo como limitante para o desenvolvimento das plantas	7
4.2 Calcário e silicato como corretivos da acidez do solo	8
4.3 Dinâmica da matéria orgânica do solo	10
4.4 Emissões de gases de efeito estufa e sua mitigação em solos agrícolas	11
5 MATERIAL E MÉTODOS	14
5.1 Caracterização e localização do experimento	14
5.2 Histórico, tratamentos e delineamento experimental	16
5.3 AVALIAÇÕES	18
5.3.1 Amostragem e análise dos teores de C e N da Palha	18
5.3.2 Amostragem e análise de solo quanto aos teores de C orgânico e N (total e microbiano)	18
5.3.3 Coleta dos gases do efeito estufa (GEE)	19
5.3.4 Determinação das amostras de gases do efeito estufa	22
5.3.5 Temperatura e Umidade do solo	23
5.3.6 Porosidade Preenchida por Água	25
5.3.7 Cálculo da produtividade de milho (safra 2014/2015) por unidade de massa de C equivalente emitido para a atmosfera	25
5.4 Análise estatística	26
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	27

6.1	Estoque de C e N no solo.....	27
6.2	C e N da Biomassa Microbiana	31
6.3	Massa de matéria seca de palha, teor de N e C, estoque de N e C na palha e a relação C/N após o cultivo de verão (milho) 2014/2015 e o cultivo de inverno 2015	33
6.4	Emissões de gases de efeito estufa em função dos sistemas de produção e dos corretivos	38
6.5	Emissão acumulada de C-CH ₄ , C-CO ₂ e N-N ₂ O.....	44
6.6	Índice de eficiência de carbono (IEC)	46
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	48
8	CONCLUSÕES	49
9	REFERENCIAS	50

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Precipitação pluviométrica e temperatura mínima e máxima diária entre novembro de 2014 e outubro de 2015.	16
Figura 2. Esquema de montagem das câmaras estáticas para coleta das amostras de gases do efeito estufa.	21
Figura 3. Detalhe da câmara de coleta de gases do efeito estufa no campo.....	21
Figura 5. Relação entre umidade volumétrica e a gravimétrica g g^{-1} das amostras. *significativo ao nível de 5% de probabilidade.	24
Figura 6. Fluxo de CH_4 (A), N_2O (B) e CO_2 (C), nos sistemas de produção conforme as épocas de amostragens. Barras verticais correspondem ao DMS pelo teste t a 5 % de probabilidade.	40
Figura 8. Umidade do solo (A), temperatura do Solo (B) e PPA (C) nos sistemas de produção nos dias das coletas dos GEE.	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Propriedades químicas do solo por ocasião da instalação do experimento em 2006.	15
Tabela 2. Propriedades granulométricas do solo da área experimental.	15
Tabela 3. Densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), por ocasião da caracterização da área experimental.	15
Tabela 4: Esquema de sucessão de culturas.	17
Tabela 5. Estoque de C no solo nas camadas em função dos sistemas de produção e corretivos.	29
Tabela 6. Estoque de N no solo nas camadas em função dos sistemas de produção e corretivos.	30
Tabela 7. Desdobramento de estoque de N no solo nas camadas de 0-10 e 10-20 cm em função dos sistemas de produção e corretivos.	31
Tabela 8. Teores de nitrogênio de biomassa microbiano do solo (N_{BMS}) e do carbono de biomassa microbiana do solo (C_{BMS}) na camada de 0-10 cm em função dos sistemas de produção e corretivos.	32
Tabela 9. Desdobramento dos teores de nitrogênio de biomassa microbiano do solo (N_{BMS}) e do carbono de biomassa microbiana do solo (C_{BMS}) na camada de 0-10 cm em função dos sistemas de produção e corretivos.	33
Tabela 10. Matéria seca de palha (MS), teor de N e C, estoque de N e C na palha e a relação C/N após o cultivo de verão 2014/2015 em função dos sistemas de produção e corretivos....	34
Tabela 11. Desdobramento da interação para o acúmulo de N após a safra de verão (milho) 2014/2015 em função dos sistemas de produção e corretivos.	35
Tabela 12. Matéria seca de palha (MS), teor de N e C, estoque de N e C na palha e a relação C/N após o cultivo de inverno (sistemas) 2015 em função dos sistemas de produção e corretivos.	36

Tabela 13. Desdobramento da interação para matéria seca de palha (MS), teor de N, estoque de N e C na palha e a relação C/N após o cultivo de inverno (sistemas) 2015 em função dos sistemas de produção e corretivos.....	37
Tabela 14. Emissões de C-CH ₄ , C-CO ₂ e N-N ₂ O acumuladas, em função dos sistemas de produção e corretivos.	45
Tabela 15. Desdobramento de C-CO ₂ acumulado em função dos sistemas de produção e corretivos.....	46
Tabela 16. Índice de eficiência de carbono (IEC) em função dos sistemas de produção e corretivos.....	47

1 RESUMO

A rotação de culturas em sistema de semeadura direta podem aumentar o estoque de C no solo e reduzir as emissões de gases de efeito estufa, no entanto o emprego de corretivos de solo pode prejudicar esses benefícios. Dentro deste enfoque o trabalho teve como objetivo avaliar a emissão anual de gases de efeito estufa e o estoque de C no sistema solo-planta em função do uso de diferentes corretivos da acidez do solo e de rotações de culturas em sistema de semeadura direta de longa duração. A pesquisa foi realizada, na Fazenda Experimental Lageado, pertencente à Faculdade de Ciências Agrônômicas – UNESP, localizada no município de Botucatu (SP), e foi conduzida nos anos agrícolas de 2014/2015. O delineamento estatístico experimental foi em blocos casualizados dispostos em esquema de parcelas subdivididas. As parcelas foram constituídas por quatro sistemas de produção (I. Sistema “Safrã consorciada com Forrageira”; II. Sistema “Safrã – safrinha”; III. Sistema “Safrã – Adubo Verde/Planta de Cobertura”; IV. Sistema “Safrã Pousio”) e as subparcelas por duas fontes de corretivos de acidez aplicados em outubro de 2012 e uma testemunha (I – Correção com calcário dolomítico; II – Correção com silicato de cálcio e magnésio; III – Sem correção). As amostragens de gases para a determinação dos fluxos do CO₂, N₂O e CH₄ provenientes do solo foram realizadas após a safra de verão em 2014/2015 e após a de inverno em 2015, em um total de 17 coletas de gases. Foram analisadas as quantidades de palha produzida em cada cultivo e os aportes médios de C e N adicionados ao solo no cultivo de inverno e verão. Foram avaliados também os estoques de C e N do solo nas profundidades de

0-10, 10-20, 20-40 cm, e C e N da biomassa microbiana na profundidade de 0-10 cm. Os resultados foram submetidos à análise de variância ($p < 0.05$) e as médias foram comparadas pelo teste t ($p < 0.05$). As rotações de culturas em Sistema Semeadura Direta e o uso de corretivos não aumentaram os estoques de C orgânico total e de N total no solo, tão pouco da Biomassa Microbiana. Apesar de não contribuir para os estoques no solo, a rotação de culturas com sistemas envolvendo forrageira e adubo verde resultaram em menores emissões de CO₂ especialmente na safra. Por outro lado, no cultivo de outono-inverno, o aporte de resíduos sobre o solo não reduziu as emissões, especialmente de N₂O. A correção do solo não aumentou as emissões acumuladas de CO₂, porém, na comparação entre os corretivos, a maior emissão de CO₂ ocorreu com o uso de silicato. Os sistemas de produção com uso de forrageira e adubo verde no inverno, e o uso de corretivos da acidez, principalmente o silicato, aumentou a produtividade de grãos de milho por unidade de massa de carbono equivalente emitido para a atmosfera.

Palavras Chaves: rotação de culturas, semeadura direta, efeito estufa.

GREENHOUSE GAS EMISSIONS AND CARBON STOCK IN THE SOIL-PLANT SYSTEM INFLUENCED BY THE PRODUCTION SYSTEM AND THE SURFACE LIME APPLICATION

Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: MICHEY DA SILVA ALVES

Adviser: JULIANO CARLOS CALONEGO

2 ABSTRACT

Crop rotation in no tillage can increase the stock of C in the soil and reduce emissions of greenhouse gases, though the use of soil amendments can undermine these benefits. Within this approach the work aimed to evaluate the annual emission of greenhouse gases and carbon storage in the soil-plant system due to the use of different corrective of soil acidity and crop rotations in long-tillage system duration. The survey was conducted in the Experimental Farm Lageado, belonging to the Faculty of Agricultural Sciences - UNESP, located in Botucatu (SP), and was conducted in the agricultural year 2014/2015. The plots consisted of four production systems (I. System "Safrá intercropped with forage"; II System "Safrá - off-season."; III System "Safrá - Green manure / cover plant."; IV System "Safrá Fallow.") and the subplots by two sources of acidity corrective applied in October 2012 and a control (I - Correction with dolomitic lime II - Correction with calcium and magnesium silicate III - No correction). The gas samples for the determination of CO₂ flows, N₂O and CH₄ from soil were performed after summer season 2014/2015 and further in the winter in 2015. The quantities of straw produced in each culture medium and supply of C and N added to the soil in winter and summer crops were analyzed. They also evaluated the stocks of C and N soil at 0-10, 10-20, 20-40 cm, and C and N microbial biomass at a depth of 0-10 cm. The results were submitted to analysis of variance ($p < 0.05$) and the means were compared using the t test ($p < 0.05$). Crop rotations System direct sowing and the use of lime did not increase the total organic carbon stocks and total N in the soil, as little of Microbial Biomass. Although not contributed to the stocks in the soil, crop rotation with systems involving forage and green manure resulted in lower CO₂ emissions especially in the harvest. On the other hand, in the autumn-winter, the residue inputs on the ground did not reduce emissions, especially N₂O. The soil

remediation did not increase the accumulation of CO₂, however, in the comparison between the correctives, the most CO₂ emission occurred with the use of silicate. The production systems with use of fodder and green manure in winter, and the use of limestone, mainly silicate, increased productivity of corn grain per unit mass of carbon equivalent emitted into the atmosphere.

Keywords: crop rotation, tillage, greenhouse effect.

3 INTRODUÇÃO

A ação das práticas agrícolas na emissão de gases que causam o efeito estufa é assunto de grande interesse, em particular quando se trata do CO_2 , o principal componente do efeito estufa adicional (resultante de atividades antrópicas). Atividades agrícolas envolvendo o manejo do solo tais como o seu preparo, têm afetado a dinâmica dessa emissão (REICOSKY ; LINDSTROM, 1993; BAYER et al., 2000; LA SCALA JUNIOR et al., 2001; LAL, 2003).

A atividade agrícola pode modificar verdadeiramente a quantidade e qualidade da matéria orgânica do solo (MOS) (SIX et al., 2002), tornando-se responsável pelo aumento das emissões de gases de efeito estufa, tais como: o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4) e o óxido nitroso (N_2O), da biosfera para a atmosfera (SCHUMAN et al., 2002).

A calagem é uma prática substancial para a garantia do sucesso da produtividade das culturas, auxiliando a neutralização da acidez do solo, o fornecimento de cálcio e magnésio e a redução da toxidez de alumínio. No sistema plantio direto, a calagem é concretizada mediante a aplicação do calcário na superfície do solo, sem incorporação. Sendo essa técnica bastante questionada, pois o calcário é um produto que apresenta baixa solubilidade em água. Outro problema é a correção da acidez do subsolo, a qual limita, na

maioria dos casos, o crescimento radicular e a absorção de água e nutrientes pelas culturas. (Costa et al., 2015)

Devido à calagem em alguns casos não corrigir a acidez e a deficiência de cálcio em subsuperfície, num tempo racional o qual evita que o agricultor corra risco com a ocorrência de veranicos. O silicato devido ser um material mais solúvel pode então ser uma alternativa viável na correção do solo em profundidade e em menor tempo que o calcário (ALCARDE; RODELA, 2003), e ainda fornece silício às plantas. O silicato tem a maior disponibilização de fósforo, já que os ânions silicatos competem com os ânions fosfato pelos sítios de adsorção do solo.

A emissão de C-CO₂ e a atividade basal que decorre da ação decompositora dos microrganismos heterotróficos no solo dependem das condições de solo, particularmente do conteúdo de MOS e disponibilidade de resíduos vegetais, os quais se constituem nas principais fontes de C à microbiota e têm influência nas propriedades químicas, físicas e biológicas (VARGAS; SCHOLLES, 2000; COSTA et al., 2003; CIOTTA et al., 2004). Os sistemas de manejo se diferenciam quanto à adição de resíduos vegetais e consequentemente quanto ao estoque de C no solo, indicando que o estudo das emissões de C-CO₂ devam ser associados ao conteúdo de C no solo e na palha, ou seja, devendo-se considerar as emissões de C-CO₂ por unidade de C orgânico na MOS e em resíduos vegetais.

A correção da acidez do solo pode por um lado aumentar o sequestro de C devido ao aumento da produção de fitomassa pelas culturas, mas por outra aumentar a atividade microbiana e a emissão de CO₂ via respiração. Além disso, em condições maiores valores de pH as reações de desnitrificação são mais aceleradas, o que promove maior emissão de N₂O.

No entanto, pesquisas sobre a dinâmica da correção da acidez nos diferentes sistemas de produção agrícola com os corretivos do solo, silicato e calcário, a partir da aplicação superficial dos mesmos em SPD, em experimentações de longa duração, são praticamente inexistentes, mas extremamente importantes para que se possa conhecer a influência dos corretivos no estoque de C e na emissão de gases de efeito estufa.

Neste sentido o objetivo do trabalho foi avaliar a emissão anual de gases de efeito estufa em função do uso de diferentes corretivos da acidez do solo e de rotações de culturas em Sistema Semeadura Direta de longa duração e verificar se as emissões desses gases podem ser compensadas pelo aumento dos estoques de C no solo e palha com a prática desses manejos.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Acidez do solo como limitante para o desenvolvimento das plantas

A calagem é a prática mais utilizada para neutralizar a acidez do solo e reconstruir sua capacidade de produção e diminuir os níveis de elementos tóxicos. Enquanto que no sistema convencional de preparo de solo, o calcário é incorporado no solo através da aração e gradagem. Prática a qual desestrutura os agregados do solo, expondo o solo e aumentando a suscetibilidade à erosão. Além do mais, a desestruturação dos agregados com a incorporação do calcário promove a mineralização da matéria orgânica antes protegida. Sendo assim, o interesse da aplicação superficial de calcário para controle da acidez do solo desde a implantação do sistema plantio direto (SPD) tem como objetivo, preservar as propriedades físicas do solo (COSTA, 2015).

Estudos comparando aplicação de calcário mostraram que quando ele é incorporado, seu efeito pode ser até três vezes maior que o aplicado em superfície, chegando ao alcance do sistema radicular de 40 cm de profundidade, aumentando a produtividade de grãos de soja em até 31% (BERTOLUZZI et al., 2014). No entanto, Caires et al. (2008) verificaram que, mesmo o calcário aplicado na superfície em sistema de plantio direto, ocorre melhorias na acidez não só nas camadas superficiais do solo.

A acidez do solo é um dos principais motivos capazes de reduzir a capacidade produtiva dos solos tropicais. Fazendo-se necessário a correção de todo o perfil de solo para que o sistema radicular das culturas explore maior volume de solo (NOLLA, 2004). Para correção do solo, são aplicadas substâncias, capazes de neutralizar prótons da solução do solo. As substâncias utilizadas como corretivo de acidez são principalmente os óxidos, hidróxidos, silicatos e carbonatos (ALCARDE, 1992).

A acidificação do solo ocorre de forma natural, sendo resultante da lixiviação de cátions básicos solúveis (Ca, Mg, K) e/ou remoção pelas colheitas, logo após pela sua substituição por cátions ácidos (H e Al) no complexo de troca catiônica, esse processo é acelerado pela adição de certos fertilizantes nitrogenados (ZIGLIO et al., 1999).

Sendo a calagem uma das atividades mais usadas para correção da acidez do solo, quando executada de modo adequado, eleva o pH e a saturação por bases. A elevação do pH tem influência direta na redução da toxidez por Al, alterando em alguns casos a disponibilidade de nutrientes para as plantas (AZEVEDO; KÄMPF; BOHNEN, 1996; MIRANDA; MIRANDA, 2000).

No plantio direto, a correção da acidez do solo é praticada por meio da distribuição do calcário na superfície, sem incorporação. Alguns trabalhos têm mostrado respostas pouco eloquentes da soja à aplicação de calcário na superfície e altas produtividades da cultura em solos ácidos, sob plantio direto (CAIRES et al., 1998; PÖTTKER; BEN, 1998).

Sua menor resposta as culturas em sistema de plantio direto, pode estar ligada ao seu menor efeito tóxico do alumínio, decorrente da formação de complexos orgânicos solúveis nos restos de plantas (MIYAZAWA et al., 1996), ou devido os teores de Ca, Mg e K mostrarem disponibilidade suficiente no perfil do solo para manter uma relação ajustada como o Al (CAIRES et al., 1998).

4.2 Calcário e silicato como corretivos da acidez do solo

A baixa fertilidade de um solo ácido pode ser corrigida tanto pela adição de adubo verde quanto pela calagem, principalmente em solos com cargas dependentes do pH (Hunter et al., 1995).

Ritchey et al. (1982) e Caires et al. (1998), observaram que devido os materiais corretivos utilizados serem pouco solúveis e os produtos da reação do calcário terem mobilidade restrita, a ação da calagem geralmente fica limitada às camadas superficiais do solo. Em contrapartida, outros pesquisadores demonstraram que

esses benefícios provavelmente ocorrem na subsuperfície do solo, mesmo com aplicação superficial de calcário (OLIVEIRA; PAVAN, 1996; RHEINHEIMER et al., 2000; CORRÊA et al., 2007, SORATTO; CRUSCIOL, 2008).

A movimentação mínima do solo no SPD promove modificações químicas no solo em função do acúmulo de resíduos vegetais, corretivos e fertilizantes na sua superfície, as mesmas ocorrem de forma gradual e progressiva, a partir da superfície do solo, afetando tanto a disponibilidade de nutrientes quanto o processo de acidificação do solo (COSTA, 2015).

O material mais utilizado como corretivo no Brasil é o calcário, porém, a utilização de resíduos siderúrgicos com a mesma finalidade tem se mostrado eficiente. Sendo assim, alguns trabalhos comparando os efeitos do calcário com os das escórias de siderurgias, na correção da acidez do solo (GOMES et al., 1965; ALCARDE; RODELA, 2003). Para esses pesquisadores, o sucesso com o emprego da escória como corretivo da acidez do solo está diretamente relacionado ao aumento do pH, Ca, Mg e a própria neutralização do Al tóxico (LÉLIS, 2012).

Além do calcário, outros materiais também podem ser utilizados como corretivos de acidez do solo, na condição que contenham um “princípio ativo” ou “constituente neutralizante”, carbonatos, óxidos, hidróxidos, e silicatos de cálcio e/ou magnésio (ALCARDE, 1985). Os silicatos de cálcio e magnésio têm sua composição parecida com a dos carbonatos, e estas fontes podem substituir, com vantagens, o calcário (CARVALHO-PUPATTO et al., 2004; RAMOS et al., 2006).

As plantas podem ser divididas de acordo com sua capacidade de absorção e acúmulo de Si nos órgãos, e esta quantificação é variável em cada espécie. Podendo ainda o fornecimento de Si acarretar maior estabilidade produtiva, em razão da maior tolerância ao estresse hídrico, uma vez que a quase totalidade da produção de grãos está situada em áreas com ocorrência de veranicos (MENEGALE, 2015).

A substituição total ou parcial do carbonato de Ca (CaCO_3) e, ou, Mg (MgCO_3) pelo silicato de Ca (CaSiO_3) e, ou, Mg (MgSiO_3), os quais apresentam reações semelhantes à do calcário, que, além de elevar o pH, podem disponibilizar o ânion silicato (H_3SiO_4^-), que, por sua vez, pode concorrer com o ânion fosfato diácido pelos mesmos sítios de adsorção e pode ser utilizado como uma opção para a correção da acidez do solo (CARVALHO et al., 2000). A hidrólise do ânion silicato promove a liberação de hidroxilas (OH^-), neutralizando os H^+ e elevando o pH do solo. Com o aumento do pH, ocorre a precipitação do Al^{3+} na forma de hidróxido de Al ($\text{Al}(\text{OH})_3$), de baixa solubilidade e,

portanto, não tóxica para as plantas, já que não se mantém ativa em solução (KONDÖRFER; NOLLA, 2003). Após a ação alcalinizante do solo pelo CaSiO_3 , há a formação do H_4SiO_4 , que se transforma em H_3SiO_4^- em pH próximo de 7, e pode ser adsorvido aos óxidos de Fe e Al da fração argila, competindo com o H_2PO_4^- pelos mesmos sítios de adsorção (HINGSTON et al., 1972). Essa competição, conforme Carvalho et al. (2000), ocorre quando se aplica o Si antes do calcário e do P das fertilizações.

4.3 Dinâmica da matéria orgânica do solo

A matéria orgânica do solo (MOS) constitui o maior reservatório de carbono da superfície terrestre. Onde mais da metade deste C assimilado é transportado para o solo, via ciclagem das raízes, exsudatos de raízes e deposição de serapilheira, que auxiliam para a formação da matéria orgânica do solo (MONTAGNINI e NAIR, 2004).

O acúmulo de C no solo é essencial para a redução das taxas de emissão de CO_2 na atmosfera e para o aumento da qualidade do solo e da água e, conseqüentemente, da sustentabilidade da produção agrícola (GAMA-RODRIGUES, A. C. 2004; LAL et al., 2004).

A biota do solo tem importante papel nos processos de decomposição da matéria orgânica, ciclagem de nutrientes e estruturação do solo (SWIFT et al., 1979), de modo que parte deste material transformado permanece no solo na forma de carbono, nitrogênio, fósforo e enxofre, os quais são essenciais para o crescimento vegetal. Por esta razão, estes organismos exercem função importante no funcionamento e na sustentabilidade do agroecossistema, atuando na formação e qualidade dos solos (SALES, 2012).

A emissão de CO_2 do solo é natural da atividade microbiana na decomposição da matéria orgânica do solo (MOS), da respiração das raízes das plantas e da concentração de CO_2 existente no solo. A decomposição de MOS depende de fatores tais como temperatura do solo, conteúdo da umidade do solo, quantidade de carbono orgânico e o potencial de decomposição do carbono do solo (REICOSKY; LINDSTROM, 1993). A decomposição de resíduos de culturas é ainda afetada por fatores adicionais como qualidade e localização dos resíduos e o conteúdo do nitrato do solo (GARNIER et al., 2003).

No Plantio Direto existe maior proteção dos agregados e também maior conservação de carbono no solo. Enquanto que na agricultura convencional, onde o solo é freqüentemente revolvido, existe um aumento na taxa de renovação de macroagregados e diminuição da formação de novos microagregados dentro de macroagregados. Essa combinação diminui a proteção da MOS nesses microagregados (SIX et al., 2006).

Portanto, é necessário um balanço entre o tempo de renovação para a formação de novos macroagregados e a entrada de novas fontes de carbono que permitam a oclusão de carbono jovem dentro dos agregados, mas muitas vezes os macroagregados se formam e se rompem em taxas muito mais rápidas que a entrada de novas fontes de carbono (SIX et al., 2006), já que a instabilidade dos macroagregados parece ser mais intensa em solos temperados do que em solos tropicais devido às ligações de óxidos de Fe e Al e argilas (OLIVEIROS, 2008).

4.4 Emissões de gases de efeito estufa e sua mitigação em solos agrícolas

Os solos agrícolas podem atuar tanto como dreno ou fonte de C atmosférico, dependendo do sistema de manejo adotado. A diminuição das emissões de CO₂ à atmosfera e, seu armazenamento na MOS estão relacionados com a adoção de sistemas conservacionistas de manejo. Os sistemas de preparo sem revolvimento do solo em que são adotados sistemas de culturas com alto aporte de resíduos vegetais promovem a mitigação das emissões de CO₂, o que fica evidente pelo aumento dos estoques de C no solo (BAYER et al., 2011).

Embora o setor agrícola seja um dos principais responsáveis pelo aumento na concentração dos GEE na atmosfera, especialmente pela aptidão agrícola do Brasil, o manejo da agricultura destaca-se também devido o seu poder em atuar como fator dreno dos gases, contribuindo para diminuição do forçamento radiativo da atmosfera (GOMES, 2006). Calcula-se que cerca de 20 a 30% das emissões dos GEE possam ser recuperados por meio do manejo agrícola (BAYER, 2007).

O balanço positivo de N em solos agrícolas tropicais é essencial, e até considerado como pré-requisito para que ocorra o sequestro de C (URQUIARGA et al., 2010; BODDEY et al., 2010). Geralmente, em função da manutenção de cobertura do solo, ocorre um desbalanceamento entre C e N, o que limita o sequestro de C na maioria dos agroecossistemas brasileiros. Culturas de cobertura que facilitam o balanço positivo de N estimulam o incremento de C no solo. Então, o resíduo vegetal influenciará na dinâmica da MOS tanto em função da quantidade de C adicionado, como pela qualidade do material (URQUIARGA et al., 2010).

Vários estudos mostraram maiores emissões de N₂O em solos sob PD do que em PC, e isso tem sido relacionado com a condição de maior adensamento ou compactação do solo não revolvido, que refletiria negativamente na difusão do O₂. Mesmo o solo em PD, apresentar condições favoráveis à emissão de N₂O, estudos realizados em regiões

temperadas, tropicais e subtropicais não apresentam resultados decisivos sobre os efeitos dos sistemas de preparo de solo nas emissões de N_2O (BAYER et al., 2011). Em pesquisa baseada em 32 experimentos, foi possível observar grande variação nas emissões de N_2O , onde os valores variam de 0,3 a 9690 $\text{mg m}^{-2} \text{N}$, na região temperada, e de -7,0 a 420,9 $\text{mg m}^{-2} \text{N}$, nas regiões tropical e subtropical, não havendo destaque de maiores emissões nos solos sob PD do que em PC (ZANATTA, 2009).

Em contrapartida, pesquisas têm indicado que a melhoria nas propriedades físicas do solo, principalmente a formação de macroagregados no solo em PD permitem maior difusividade de O_2 no perfil do solo, minimizando assim as emissões de N_2O , ao nível daquelas observadas em sistemas naturais (METAY et al., 2007; JANTALIA et al., 2008). Em estudo realizado por Zanatta (2009), observou que geralmente as maiores emissões de N_2O do solo parecem estar relacionadas a solos com elevados teores de MO e com problemas de drenagem, não sendo nítida a relação com o tipo de preparo.

A adição de resíduos culturais ao solo tem sido relacionada com o aumento das emissões de N_2O nos solos agrícolas (BAGGS et al., 2006). No sul do Brasil experimentos de longa duração têm comprovado, que nos primeiros dias após o manejo das plantas de cobertura, elevados índices de emissão de N_2O (GOMES et al., 2009; ESCOBAR et al., 2010), isso é decorrente da disponibilidade do C e N lábil durante a decomposição dos resíduos, sendo pouco expressivas no decorrer do período de produção. O tipo de manejo utilizado com o resíduo vegetal, pode influenciar o comportamento dos resíduos quanto à emissão de N_2O . E a incorporação ao solo dos resíduos de gramíneas favorece a mineralização do N e intensifica as emissões de N_2O do solo (GOMES, 2006; ZANATTA, 2009).

A emissão de N_2O em solos agrícolas também é altamente favorecida pela aplicação de adubos nitrogenados minerais e orgânicos (DOBBIE; SMITH, 2003; GOMES, 2006; JONES et al., 2007; SANTOS, 2009; DENEGA, 2009; ZANATTA et al., 2010). Alguns fatores são determinantes na emissão do N_2O , tais como a temperatura, pH, presença de amônio e nitrato, MO, porosidade do solo e umidade. No entanto, o fator predominante no solo é o espaço poroso ocupado por água ou porosidade preenchida pela água (PPA), aliado à temperatura. Sendo assim, solos aerados que apresentam um PPA entre 35 e 60% têm formação de N_2O como um subproduto da nitrificação. Já em PPA acima de 70% ocorrem condições que facilitam as reações que resultam em desnitrificação (JANTALIA et al., 2006).

Apesar de aumentar o influxo de CO_2 por meio da utilização de leguminosas, a fixação biológica de N possibilita a redução das emissões de N_2O para a atmosfera pela utilização gradual do N. Porém, são insignificantes quando comparadas as emissões oriundas da adubação nitrogenada (RIGON, 2013).

A produção de CH_4 é influenciada por fatores intrínsecos dos solos (NEUE et al., 1994; SASS et al., 1994; SETYANTO et al., 2002) e de clima (SCHÜTZ et al., 1990), além de fatores relacionados aos sistemas de manejo do solo, irrigação e disponibilidade de C (SCHÜTZ et al., 1991; WASSMANN et al., 2000; COSTA, 2005). Especificamente, o tipo de solo é um fator a ser estudado quanto à sua influência nas emissões de CH_4 sob alagamento. As propriedades químicas e mineralógicas dos solos alteram o comportamento do potencial de oxirredução (Eh), o qual reflete no equilíbrio dinâmico do sistema redox que envolve principalmente O, N, Fe, Mn, S e C (PONNAMPERUMA, 1972).

Em estudo pioneiro no sul do Brasil (COSTA et al., 2008), avaliaram emissões de CH_4 por três safras agrícolas consecutivas em PD e PC. Na média das safras, a emissão de metano no solo em PC nesse período foi de $28 \text{ g m}^{-2} \text{ CH}_4$, já os sistemas PD e cultivo mínimo emitiram 25 % menos CH_4 nesse mesmo período. Certamente, o revolvimento da camada arável, além de incorporar resíduos vegetais, facilita o crescimento de raízes do arroz em profundidade no solo, o que, aumenta a disponibilidade de fontes de C orgânico para a produção de CH_4 . Ao localizar resíduos vegetais e exsudatos radiculares em zonas mais profundas e reduzidas do solo sob inundação, intensifica a condição que permite a maior produção e emissão de CH_4 (BAYER et al., 2011).

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Caracterização e localização do experimento

O experimento vem sendo conduzido desde 2006 na Fazenda Experimental Lageado, pertencente à Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP, localizada no município de Botucatu (SP), apresentando como coordenadas geográficas 48° 23' de longitude Oeste de Greenwich e 22° 51' de latitude Sul, com altitude de 765 metros.

Antes da instalação do experimento realizaram-se amostragem para análises química do solo, densidade do solo (Ds) e porosidade total (Pt) do solo até 0,60 m de profundidade; e para análises granulométricas até a profundidade de 0,40 m, cujos resultados estão contidos nas Tabelas 1, 2 e 3. As análises químicas foram realizadas de acordo com a metodologia proposta por Raij et al. (2001) e as físicas de acordo com Embrapa (1997) e Kiehl (1979).

O solo do local é do tipo LATOSSOLO VERMELHO distroférico típico argiloso, profundo, ácido (EMBRAPA, 2006). De acordo com a classificação de Köppen, o clima predominante na região é do tipo Cwa, que caracteriza clima tropical de altitude, com inverno seco e verão quente e chuvoso (CUNHA; MARTINS, 2009).

As temperaturas mínimas e máximas e precipitações pluviométricas diárias estão apresentadas na Figura 1, conforme estação agrometeorológica da FCA, distante 3 km da área experimental.

Tabela1. Propriedades químicas do solo por ocasião da instalação do experimento em 2006.

Prof.	P _{resina}	M.O	pH	K	Ca	Mg	H+Al	Al	Si	V
(cm)	mg dm ⁻³	g dm ⁻³	CaCl ₂			mmol _c dm ⁻³		mg dm ⁻³		%
0 – 5	8	23	4,7	2,0	21	9	50	4	7,5	27
5 – 10	7	19	4,4	1,1	11	6	69	6	6,3	25
10 – 20	2	18	4,0	0,6	10	4	61	5	6,2	24
20 – 40	3	17	4,0	0,7	12	4	64	6	6,0	24
40 – 60	2	15	4,0	0,6	9	4	80	12	6,7	22

Fonte: Castro (2009).

Tabela 2. Propriedades granulométricas do solo da área experimental.

Prof. (cm)	Areia	Argila	Silte	Textura do Solo
	g/kg			
0 – 10	489	415	96	Argilosa
10 – 20	435	462	103	Argilosa
20 – 40	385	509	106	Argilosa

Fonte: Castro (2009).

Tabela 3. Densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), por ocasião da caracterização da área experimental.

Prof. (cm)	Ds	Pt
	Mg m ⁻³	
0 – 5	1,38	0,40
5 – 10	1,41	0,38
10 – 20	1,40	0,42
20 – 40	1,25	0,43
40 – 60	1,17	0,47

Fonte: Castro (2009).

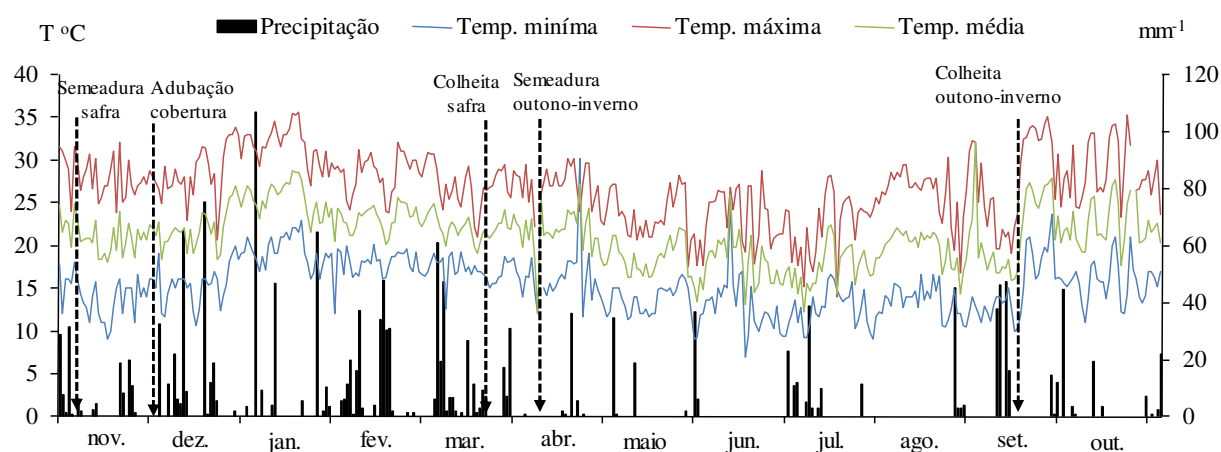


Figura 1. Precipitação pluviométrica e temperatura mínima e máxima diária entre novembro de 2014 e outubro de 2015.

5.2 Histórico, tratamentos e delineamento experimental

A área experimental vem sendo cultivada no SPD desde o ano agrícola 2002/2003 e desde 2006 ela mantém os tratamentos utilizados no presente experimento.

Os sistemas de produção de grãos escolhidos representam a grande maioria das áreas cultivadas com culturas graníferas atualmente no Estado de São Paulo e na região dos Cerrados (Tabela 4).

O delineamento estatístico experimental foi em blocos casualizados dispostos em esquema de parcelas subdivididas. As parcelas foram constituídas por quatro sistemas de produção, alterando a cultura de entressafra (outono-inverno) e mantendo a mesma cultura na safra em todas as parcelas. Os sistemas de produção utilizados foram os seguintes: I – Safra/Forageira; II – Safra/Safrinha; III – Safra/Adubo Verde; IV – Safra/Pousio e as subparcelas por duas fontes de corretivos de acidez aplicados em outubro de 2012 e uma testemunha (I – Correção com calcário dolomítico; II – Correção com silicato de cálcio e magnésio; III – Sem correção).

No dia 20 de outubro 2014, antes da semeadura do milho (safra verão), foi feita a dessecação da área, que devido às estiagens só tinham plantas daninhas. E no dia 01/12/2014 foi feita adubação de cobertura no milho. No dia 26 de março de 2015 foi feita a colheita do milho, e no dia 07 de abril foram semeadas as culturas de entressafra, triticale (Sistema Safrinha), aveia preta (Sistema Adubo Verde) e braquiária (Sistema Forrageira). No dia 02 de setembro foi feita dessecação da área, e logo após no dia 17 de setembro realizou-se colheita da área, respectivamente.

Tabela 4: Esquema de sucessão de culturas.

Estação	Sistema I (Forrageira)	Sistema II (Safrinha)	Sistema III (Plantas de Cobertura)	Sistema IV (Pousio)
2006/07				
Safra	Soja	Soja	Soja	Soja
Entresafra	Braquiária	Aveia Branca	Milheto	Pousio
2007/08				
Safra	Milho	Milho	Milho	Milho
Entresafra	Braquiária	Feijão	Guandú	Pousio
2008/09				
Safra	Arroz	Arroz	Arroz	Arroz
Entresafra	Braquiária	Mamona	Crotalária	Pousio
2009/10				
Safra	Soja	Soja	Soja	Soja
Entresafra	Braquiária	Sorgo	Sorgo	Pousio
2010/11				
Safra	Milho	Milho	Milho	Milho
Entresafra	Braquiária	Crambe	Crambe	Pousio
2011/12				
Safra	Feijão	Feijão	Feijão	Feijão
Entresafra	Braquiária	Trigo	Milheto	Pousio
2012/13				
Safra	Arroz	Arroz	Arroz	Arroz
Entresafra	Braquiária	Trigo	Crotalária	Pousio
2013/14				
Safra	Soja	Soja	Soja	Soja
Entresafra	—	—	—	—
2014/15				
Safra	Milho	Milho	Milho	Milho
Entresafra	Braquiária	Triticale	Aveia Preta	Pousio

As parcelas tinham 162 m², sendo 5,4 m de largura e 30 m de comprimento, enquanto as subparcelas tinham 54 m², sendo 5,4 m de largura e 10 m de comprimento. A área útil foi constituída pelas linhas centrais, desprezando-se uma linha de cada lado das subparcelas e 1 m em ambas as extremidades. As doses dos corretivos foram

calculadas objetivando elevar a saturação por bases (V%) a 70%. Assim, em outubro de 2006 e em outubro de 2012, antes da semeadura da primeira safra agrícola, foram aplicados 3,8 Mg ha⁻¹ de calcário (PN = 98%, RE = 92%, PRNT = 90%, CaO = 36% e MgO = 12%) e 4,1 t ha⁻¹ de silicato (PN = 93%, RE = 86%, PRNT = 80%, CaO = 34%, MgO = 10% e SiO₂ = 22%).

5.3 AVALIAÇÕES

5.3.1 Amostragem e análise dos teores de C e N da Palha

A amostragem de palha sobre o solo foi realizada no início da época de coleta de gases de efeito estufa, no dia 02/04/2015, após a colheita da cultura do milho (safra verão 2014/2015) e no dia 07/11/2015, após o cultivo das safras de outono-inverno de cada tratamento.

Para a determinação da produção de palha e do estoque de C e N nos resíduos vegetais depositados sobre o solo, as plantas do sistema “safrinha” foram coletadas no momento da colheita. As plantas do sistema “planta de cobertura” e do sistema “forrageira”, assim como as plantas daninhas existentes no sistema “pousio” foram amostradas por ocasião do manejo com dessecantes, sendo plantas de cobertura manejadas por ocasião do florescimento pleno e as forrageiras e as plantas daninhas no sistema pousio dessecadas por ocasião da semeadura da cultura de verão. As amostras foram compostas por quatro subamostras por subparcelas. As coletas foram realizadas por meio de um quadro de amostragem de dimensões 0,5 m × 0,5 m, sendo posteriormente acondicionadas em sacos de papel, e secas em estufa de aeração forçada a 60° C até massa constante. Posteriormente, as amostras foram moídas em moinhos elétricos tipo “Willey”, peneiradas (malha de 1 mm), acondicionadas em sacos de papel e armazenadas em sacos plásticos. Em seguida, foram determinados os teores de C e N em analisador elementar (LECO-TruSpec® CHNS), sendo possível o cálculo da relação C/N e do total de C e N (em Mg ha⁻¹) acumulados pela palha e depositados sobre o solo.

5.3.2 Amostragem e análise de solo quanto aos teores de C orgânico e N (total e microbiano)

Antes da semeadura da cultura de verão, safra 2014/2015, em outubro de 2014 foram coletadas amostras de solo nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, por meio de trado tipo sonda, sendo cada amostra composta por quatro subamostras por subparcela. Essas amostras de solo foram secas ao ar, destorroadas, passadas em peneira de 2 mm, moídas em

moinho de bolas, passadas em peneiras de 100 mesh e analisadas quanto aos teores de C orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT), por meio de analisador elementar automático (Modelo TruSpec™ CHNS, da LECO®) (SWIFT, 1996). Os estoques de C e N foram determinados pelas equações 1 e 2.

Para C e N presentes na biomassa microbiana do solo, as amostras foram coletadas na profundidade de 0-10 cm, em outubro de 2015 após a colheita de inverno (sistemas). Essas amostras foram separadas em duas partes, sendo que uma parte foi submetida à determinação de umidade em estufa a 105 °C e o restante armazenado em congelador a -20°C, no interior de sacos plásticos, por aproximadamente 3 meses, conforme Stenberg et al. (1998). Em seguida foram analisadas utilizando a metodologia de Irradiação-Extração, descrito em Mendonça e Matos (2005), adaptado de Islam; Weil (1998) e Brookes et al. (1985), no Laboratório de Solo-Planta da FCA/UNESP, Botucatu-SP.

$$\text{Est C} = (\text{CO} \times \text{Ds} \times e)/10 \quad (1)$$

Onde:

Est C = estoque de C orgânico em determinada profundidade (Mg.ha⁻¹)

CO = teor de C orgânico total na profundidade amostrada (g.kg⁻¹)

Ds = densidade do solo da profundidade (kg.dm⁻³)

e = espessura da camada considerada (cm)

$$\text{Est N} = (\text{CO} \times \text{Ds} \times e)/10 \quad (2)$$

Onde:

Est N = estoque de N em determinada profundidade (Mg.ha⁻¹)

CO = teor de N total na profundidade amostrada (g.kg⁻¹)

Ds = densidade do solo da profundidade (kg.dm⁻³)

e = espessura da camada considerada (cm)

5.3.3 Coleta dos gases do efeito estufa (GEE)

Foi procedida a coleta das amostras de gases por meio da metodologia de Bowden et al. (1990). Foram confeccionadas câmaras de coleta, as quais são compostas por duas partes, sendo uma base de aço galvanizado, constituída por uma circunferência de centro aberto, com dimensões de 0,30 m de diâmetro e 0,13 m de altura, tendo na borda uma calha

externa em forma de “U”, a qual recebe água no momento da avaliação para vedação da câmara. A outra parte é composta por uma tampa plástica com 0,09 m de altura e 0,30 m de diâmetro, com um orifício no centro com 5 mm de diâmetro, onde foi colocado uma tampa de borracha, na qual acopla-se a seringa para a retirada das amostras. Na Figura 2 consta um esquema da câmara de coleta dos gases no campo.

As coletas de gases de efeito estufa (GEE) foram realizadas em diferentes datas após a semeadura da cultura de verão na safra 2014/2015 (06/11/2014) e após a semeadura das culturas de entressafra no ano de 2015 (07/04/2015). A amostragem foi realizada com maior frequência nos primeiros dias após a semeadura das culturas, espaçando mais as coletas com o passar do tempo. Essa frequência de amostragem baseou-se nos resultados obtidos por La Scala et al. (2009) e Teixeira et al. (2010), em que as emissões de gases são maiores logo após o revolvimento do solo, reduzindo com o passar do tempo. Assim, considerou-se que a semeadura é um processo que promove o revolvimento do solo na linha de semeadura. As amostras foram coletadas com 3, 6, 10, 18, 36, 61, 95 e 141 dias após a semeadura do milho e 2, 4, 6, 9, 17, 30, 63, 94 e 168 após a instalação dos sistemas das espécies vegetais, sendo as câmaras de coleta instaladas na área um dia antes de cada período de amostragem.

Assim, na safra de 2014/2015, cuja semeadura da cultura foi feita no dia 06 de novembro, realizou-se as coletas nos dias 09, 12, 16 e 24 de novembro, 13 de dezembro de 2014, 07 de janeiro, 10 de fevereiro e 28 de março de 2015, sendo essa última coleta realizada após a colheita. Na safra de 2015, onde foi feita a semeadura no dia 07 de abril, realizou-se as coletas nos dias 09, 11, 13, 16 e 24 de abril, 07 de maio, 09 de junho, 10 de julho e 22 de setembro de 2015, sendo essa última também realizada após a colheita e manejo das plantas.

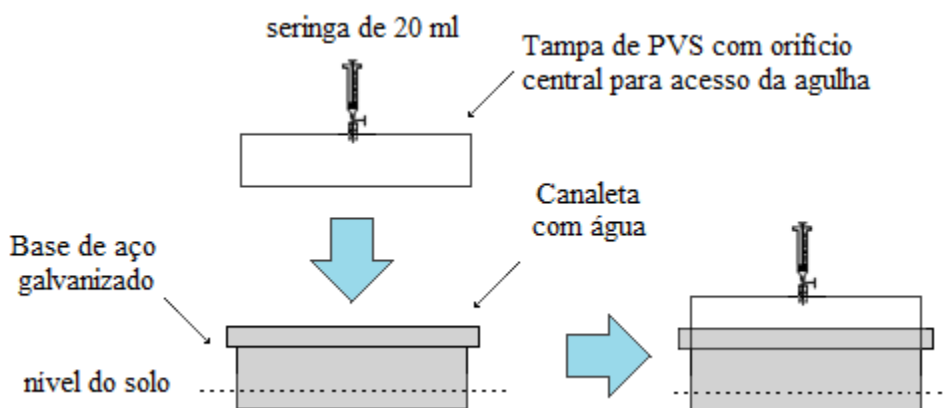


Figura 2. Esquema de montagem das câmaras estáticas para coleta das amostras de gases do efeito estufa.

As coletas das amostras foram realizadas sempre no mesmo horário, no período da manhã, entre as 8 e 10 horas. Os períodos de incubação das amostras após o fechamento das câmaras foram de 0, 10, 20 e 40 minutos. Após cada época de coleta as amostras foram mantidas nas seringas com torneira de 3 vias na posição fechada, e encaminhadas imediatamente para a análise dos gases N_2O , CO_2 e CH_4 .

Nas duas épocas de amostragem as câmaras foram instaladas um dia antes do início das amostragens, ou seja, logo após a semeadura das culturas e mantidas na área até a última data de amostragem.



Figura 3. Detalhe da câmara de coleta de gases do efeito estufa no campo.

5.3.4 Determinação das amostras de gases do efeito estufa

A quantificação dos gases foi realizada por meio de cromatógrafo gasoso Shimadzu® - GC 2014, modelo “Greenhouse”, com fonte selada de Ni63. O princípio de detecção baseia-se no decaimento desse radio nuclídeo, emissor puro de partículas β^- (beta negativo). O equipamento é provido de dois detectores: de ionização de chama (FID) o qual quantifica o CO_2 e CH_4 , com auxílio do metanador, o qual transforma o CO_2 em CH_4 para ser quantificado, enquanto que o detector por captura de elétrons (ECD) determina o N_2O . As condições cromatográficas empregadas serão: detector FID a 250°C , detector ECD a 325°C , Metanador a 350°C , coluna empacotada a 70°C , com gás de arraste N_2 , com sistema “back-flush” e injeção manual.

As curvas padrão foram realizadas por meio de quatro soluções gasosas padrão White Martins®, contendo as concentrações de 270, 648, 2063 e 7164 ppm de CO_2 ; 0,69, 2,06, 3,05 e 6965 ppm de CH_4 e 305, 693, 1092 e 1885 ppb de N_2O , sendo realizadas em replicata para melhor ajuste da curva.

A partir dos dados de concentração dos gases em cada tempo de incubação de ar no interior da câmara será ajustada as regressões lineares e em seguida calculado o fluxo dos gases, utilizando a equação 3, proposta por Jantalia et al. (2008).

$$f = \frac{\Delta C}{\Delta t} \times \frac{v}{a} \times \frac{m}{Vm} \quad (3)$$

Onde:

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

v e a : volume e área da câmara, respectivamente;

m e Vm : a massa molar do gás e volume molar.

O volume e a área da câmara correspondem, respectivamente, a $0,012716 \text{ m}^3$ e $0,07065 \text{ m}^2$; a massa molar dos gases CO_2 , CH_4 , N_2O são: 44,01; 16,042 e 44,0128 g mol^{-1} , respectivamente. Para o cálculo do volume molar, utilizar-se-á equação do gás ideal (Equação 4).

$$f = P \times V = \eta \times R \times T \quad (4)$$

Onde:

P e V correspondem à pressão e o volume respectivamente;

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

Os resultados de fluxo de N_2O , CH_4 e CO_2 foram submetidos à correlação de Pearson com a umidade do solo, temperatura do solo e porosidade do solo preenchida por água. A emissão acumulada de cada GEE durante o período de estudo foi determinada por meio da integração de área sob a curva de emissão, utilizando o programa Origin 7.0 (Originlab, 2002). As emissões acumuladas de CH_4 , CO_2 e N_2O foram convertidas em $kg\ ha^{-1}$ de equivalente C (C- CH_4 e C- CO_2) e equivalente de nitrogênio (N- N_2O).

5.3.5 Temperatura e Umidade do solo

Simultaneamente às coletas das amostras de gases foram monitoradas a temperatura e a umidade do solo próximo às câmaras de coleta, na profundidade de 0 a 5 cm, em cada subparcela e em cada dia de coleta, por meio do equipamento Procheck Soil Moisture e sensor 5TM (Decagon Devices), sendo os valores médios apresentados na Figura 4.

Este sensor está calibrado para emitir valores de umidade volumétrica ($m^3\ m^{-3}$). Porém, para o cálculo da porosidade preenchida por água os valores foram transformados em umidade gravimétrica (Ug) ($kg\ kg^{-1}$), por meio de um experimento de bancada em que foi promovido um gradiente de umidade com solo coletado na camada de 0 a 10 cm de profundidade das áreas experimentais. Assim, após realizar as leituras de umidade por meio do equipamento, o solo foi pesado úmido e após secar em estufa de aeração forçada por 48 horas a $105^\circ C$, estabelecendo dessa forma uma correlação que está apresentada na Figura 5.

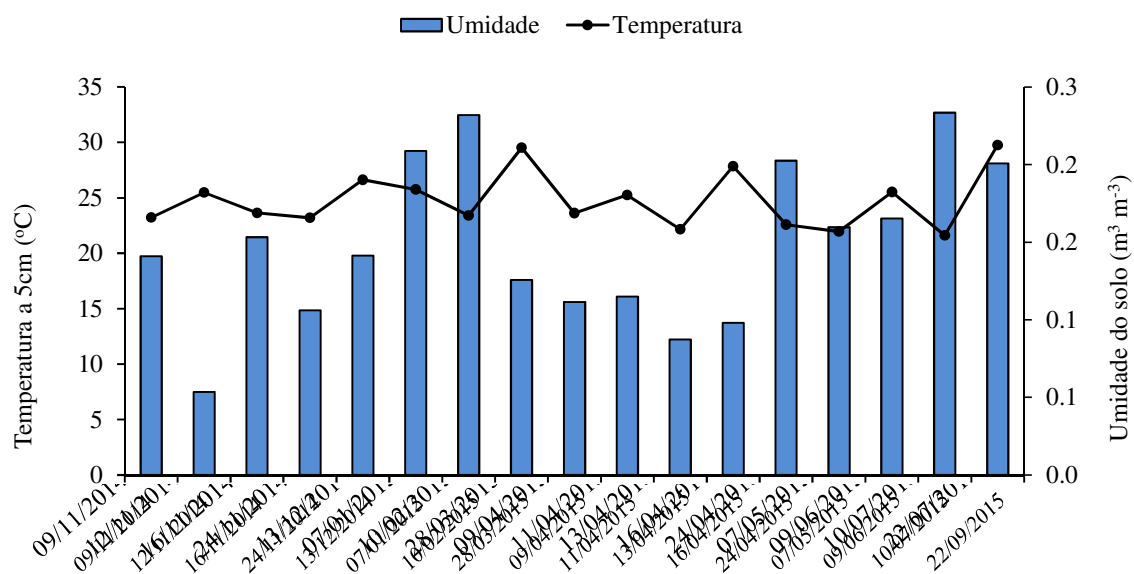


Figura 4. Valores médios para a umidade e temperatura do solo do experimento.

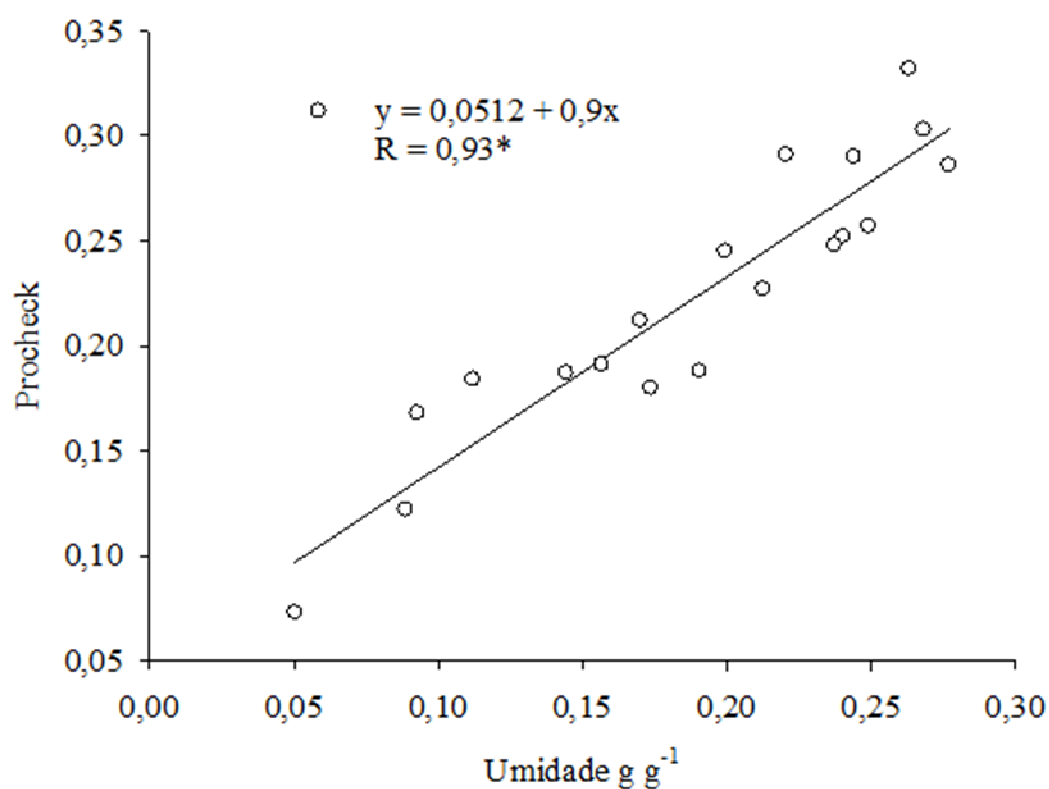


Figura 5. Relação entre umidade volumétrica e a gravimétrica g g⁻¹ das amostras.

*significativo ao nível de 5% de probabilidade.

5.3.6 Porosidade Preenchida por Água

Foi determinada a porosidade do solo preenchida pela água (PPA%) na camada de 0 a 5 cm, em cada subparcela em cada época de coleta de gases a partir dos dados de umidade gravimétrica (Ug), densidade do solo (Ds) e porosidade total, por meio da equação:

$$PPA (\%) = \frac{(Ug \times Ds)}{Pt} \quad (5)$$

Onde:

Ug = Umidade gravimétrica ($m^3 m^{-3}$)

Ds = Densidade do solo ($Mg m^{-3}$)

Pt = Porosidade total ($g g^{-1}$)

5.3.7 Cálculo da produtividade de milho (safra 2014/2015) por unidade de massa de C equivalente emitido para a atmosfera

As emissões acumuladas de C-CH₄ e N-N₂O foram convertidas em equivalente carbono (C-eq) e somadas com a emissão acumulada de C-CO₂. Isso foi feito levando-se em consideração que o potencial relativo de aquecimento global do CH₄ e do N₂O é de 23 e 296 vezes maior que a do CO₂, respectivamente, sendo o CO₂ considerado como referência (IPCC, 2001). Apesar de esses gases serem emitidos em taxas bem menores do que o CO₂, seus forçamentos radiativos são maiores. Os cálculos para a conversão das emissões de C-CH₄ e de N-N₂O em C-equivalente (C-eq) estão expressos nas equações 6 e 7, respectivamente (PAVEI, 2005).

- 1 kg C-CH₄ = 126,86 kg de C-CO₂
- 1 kg de N-N₂O = 8,36 kg de C-CO₂

$$C\text{-eq (C-CH}_4\text{)} = C\text{-CH}_4 \times (16/12) \times 23 \times (12/44) \quad (6)$$

$$C\text{-eq (N-N}_2\text{O)} = N\text{-N}_2\text{O} \times (44/28) \times 296 \times (12/44) \quad (7)$$

De posse dos resultados de C-eq e das produtividades da cultura do milho (dados não apresentados), calculou-se produtividade de milho (safra 2014/2015) por unidade de massa de C-equivalente emitido para a atmosfera (BHATIA et al., 2010), denominado de Índice de Eficiência de Carbono (IEC), conforme equação 8.

$$\text{IEC} = \text{produtividade de grãos} / \text{C-equivalente} \quad (8)$$

5.4 Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância ($p < 0.05$) e as médias foram comparadas pelo teste t ($p < 0,05$) por meio do software Sisvar (FERREIRA, 2011).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Estoque de C e N no solo

O uso dos diferentes sistemas de produção durante os nove anos de condução do experimento afetaram os estoques de C no solo apenas na camada de 20-40, com menor estoque de C no sistema envolvendo pousio na entressafra cm (Tabela 5). Assim como observado nos primeiros 6 anos de realização do experimento (CASTRO et al., 2015), a maior produção de palha pelos sistemas Safrinha, Forrageira e Pousio não resultaram em maior acúmulo de carbono orgânico total (COT) até 20 cm de profundidade. Segundo Castro et al. (2015), o maior aporte de C pela palhada tem maior influência no aumento dos estoques de carbono orgânico particulado (COP), que constitui a fração lábil da MOS, e, portanto, é uma fração facilmente decomponível que nem sempre será convertida em uma fração mais estável, que realmente contribuiria para o aumento dos estoques de C no solo. Já o maior estoque de C na camada de 20-40 cm com, os sistemas envolvendo o cultivo de alguma espécie vegetal na entressafra (Tabela 5) pode ser explicada por se tratar de uma camada onde a atividade microbiana é menor, havendo, portanto, maior estabilidade do C adicionado pelas raízes das plantas.

Os maiores estoques de C na camada de 20-40 cm nos sistemas com cultivo de Forrageira, Safrinha e Adubo Verde está acompanhado também dos maiores

estoques de N nessa camada com esses sistemas de produção (Tabela 6). De acordo Souza et al. (2009), o estoque de C no solo está relacionado à disponibilidade de N no sistema solo planta.

Quanto ao efeito isolado dos tratamentos envolvendo os corretivos da acidez nos estoques de C do solo, observou-se maior estoque de C com o tratamento testemunha em relação aos tratamentos com silicato e calcário, na camada de 0 a 10 cm, e em relação ao tratamento com aplicação de calcário, na camada de 20 a 40 cm. Esse resultado pode ser explicado pela maior densidade do solo nas subparcelas que não receberam os corretivos da acidez, como observado por Castro et al. (2011) nos primeiros anos desse experimento. A densidade do solo é utilizada no cálculo do estoque de C, conforme mencionado no item 5.3.2. Esperava-se que os tratamentos com aplicação de corretivos promovesse maior estoque de C no solo pelo fato de promover o aumento na produção de fitomassa aérea e radicular pelas culturas. Apesar de Castro et al. (2015) ter observado, nos primeiros 6 anos do experimento, maior produção de fitomassa pelas plantas cultivadas em solo corrigido, no presente estudo não observou-se maior aporte de palha, C e N entre os anos de 2014 e 2015 com o uso de corretivos da acidez (Tabelas 10 e 12). Por outro lado, também não se observou maior emissão de CO₂ para a atmosfera nas subparcelas que receberam calcário ou silicato (Tabela 15), restando, portanto, a única hipótese de aumento dos estoques de C no tratamento testemunha devido ao aumento da densidade do solo, como já mencionado.

Houve interação significativa entre os fatores de variação para os resultados de estoque de N nas camadas de 0-10 e 10-20 cm de profundidade (Tabela 7). Na camada de 0-10 cm observou-se para os sistemas Forrageira e Adubo Verde maiores estoques de N na ausência de corretivos. Os sistemas Forrageira e Adubo Verde foram os que mais adicionaram N ao solo nos primeiros 6 anos do experimento (CASTRO et al., 2015), e o sistema forrageira foi o que mais aportou N via palha das plantas cultivadas no outono-inverno (Tabela 12). O efeito dos corretivos pode ser explicado por um possível aumento da mineralização do N orgânico como aumento do pH do solo. Rosolem et al. (2003) observaram aumento das taxas de mineralização e nitrificação do N em solos corrigidos, e, consequentemente, aumento da lixiviação de N no perfil do solo.

Tabela 5. Estoque de C no solo nas camadas em função dos sistemas de produção e corretivos.

Tratamentos	Estoque de N (Mg ha^{-1})		
	0–10 cm	10–20 cm	20–40 cm
Sistemas			
Forrageira	20,67	30,16	20,70 a
Safrinha	20,33	29,03	20,83 a
Adubo verde	19,78	31,63	20,07 a
Pousio	20,55	31,67	18,82 b
CV (%)	7,75	8,89	6,73
Corretivos			
Testemunha	22,14 a	31,18	21,07 a
Silicato	20,59 b	30,91	20,05 ab
Calcário	18,27 c	29,78	19,20 b
CV (%)	9,91	8,84	9,85
($P > F$)			
Sistemas (S)	0,551	0,113	0,019
Corretivos (C)	<0,000	0,318	0,044
Interação S $\times$ C	0,0508	0,040	0,557

Médias seguidas por letras diferentes na coluna, diferem entre si pelo teste t ($p \leq 0,05$).

Tabela 6. Estoque de N no solo nas camadas em função dos sistemas de produção e corretivos.

Tratamentos	Estoque de N (Mg ha ⁻¹)		
	0–10 cm	10–20 cm	20–40 cm
Sistemas			
Forrageira	1,63 ab	2,28	4,13 a
Safrinha	1,53 b	2,33	4,16 a
Adubo verde	1,55 ab	2,55	4,01 a
Pousio	1,65 a	2,49	3,76 b
CV (%)	7,60	9,75	6,71
Corretivos			
Testemunha	1,70 a	2,42	4,21 a
Silicato	1,63 a	2,46	4,01 ab
Calcário	1,44 b	2,35	3,84 b
CV (%)	12,23	8,66	9,85
(<i>P</i> > <i>F</i>)			
Sistemas (S)	0,123	0,060	0,019
Corretivos (C)	0,028	0,334	0,045
Interação S × C	0,025	0,009	0,557

Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste t ($p \leq 0,05$).

Tabela 7. Desdobramento de estoque de N no solo nas camadas de 0-10 e 10-20 cm em função dos sistemas de produção e corretivos.

Sistemas	Corretivos		
	Testemunha	Silicato	Calcário
Estoque de N 0–10 cm (Mg ha ⁻¹)			
Forrageira	1,90 aA	1,72 aA	1,27 bB
Safrinha	1,45 aB	1,63 aA	1,53 aAB
Adubo verde	1,74 aA	1,58 abA	1,34 bAB
Pousio	1,73 aAB	1,60 aA	1,62 aA
Estoque de N 10–20 cm (Mg ha ⁻¹)			
Forrageira	2,32 aB	2,31 aB	2,22 aB
Safrinha	2,10 bB	2,34 abB	2,54 aA
Adubo verde	2,63 aA	2,75 aA	2,27 bAB
Pousio	2,65 aA	2,44 aB	2,37 aAB

Médias seguidas pela mesma letra (minúsculas nas linhas para comparação entre corretivos e maiúsculas nas colunas para sistemas não diferem entre si pelo teste t ($p \leq 0,05$)).

6.2 C e N da Biomassa Microbiana

O N e C da biomassa microbiana foram influenciados pela interação entre os fatores (sistemas e corretivos) (Tabela 8), e, portanto, não serão discutidos os efeitos isolados e sim o desdobramento (Tabela 9).

Os maiores teores de N na biomassa microbiana foram obtidos com o sistema envolvendo safrinha na entressafra na ausência de corretivos (71,63 mg kg⁻¹) e com o sistema envolvendo o cultivo de adubo verde com a correção do solo com silicato (70,74 mg kg⁻¹). O C da biomassa microbiana não aumentou com a utilização de sistemas que visam aumentar os resíduos no solo, tendo o sistema com pousio proporcionado os maiores teores de C microbiano, principalmente na ausência de corretivos, seguido pelo tratamento com uso de silicato. Santos et al (2004) estudando o efeito de diferentes sistemas de manejo em um Planossolo hidromórfico, observou que o sistema sob condições naturais, apresentou numericamente o maior teor de carbono microbiano na camada de 0-5 cm. Esse fato se deve há um fornecimento constante de material orgânico mais susceptível a decomposição, permanecendo o solo coberto, com menor variação e níveis mais adequados de temperatura e umidade (SANTOS et al., 2004).

Quando foi utilizado calcário, independentemente do sistema empregado, os valores de C da biomassa microbiana foram semelhantes. Araújo (2015) verificou que o uso do gesso não alterou os estoques de carbono associado aos minerais (CM) na camada de 0-40 cm. A biomassa microbiana pode ser utilizada como indicador biológico da qualidade do solo (GRISI; GRAY, 1986; GAMA-RODRIGUES, 1999), compreendendo a fração ativa da matéria orgânica do solo. Considerado o parâmetro mais sensível às mudanças iniciais no conteúdo total de matéria orgânica do solo, podendo ser utilizada para indicar o seu nível de degradação, em função do sistema de manejo utilizado (POWLSON et al., 1987).

Tabela 8. Teores de nitrogênio de biomassa microbiano do solo (N_{BMS}) e do carbono de biomassa microbiana do solo (C_{BMS}) na camada de 0-10 cm em função dos sistemas de produção e corretivos.

Tratamentos	N _{BMS}	C _{BMS}
	mg kg ⁻¹	
Sistemas		
Forrageira	39,62 b	168,18 b
Safrinha	57,36 a	172,27 b
Adubo verde	57,31 a	155,45 b
Pousio	33,64 b	244,69 a
CV (%)	18,41	18,41
Corretivos		
Testemunha	49,41 a	198,18
Silicato	49,83 a	179,43
Calcário	41,71 b	177,84
CV (%)	14,43	14,41
Probabilidade	(P > F)	
Sistemas (S)	<0,000	0,019
Corretivos (C)	0,003	0,444
Interação S × C	<0,000	0,004

Medias seguidas por letras diferentes na coluna, diferem entre si pelo teste t ($p \leq 0,05$).

Tabela 9. Desdobramento dos teores de nitrogênio de biomassa microbiano do solo (N_{BMS}) e do carbono de biomassa microbiana do solo (C_{BMS}) na camada de 0-10 cm em função dos sistemas de produção e corretivos.

Sistemas	Corretivos		
	Testemunha	Silicato	Calcário
N_{BMS} (mg kg ⁻¹)			
Forrageira	33,76 bC	39,67 abC	45,43 aBC
Safrinha	71,63 aA	57,87 bB	42,58 cB
Adubo verde	45,41 bB	70,74 aA	53,74 bA
Pousio	44,83 aB	31,04 bC	25,05 bC
C_{BMS} (mg kg ⁻¹)			
Forrageira	137,72 aB	171,81 aB	195,00 aA
Safrinha	151,36 aB	193,63 aBC	171,81 aA
Adubo verde	200,45 aB	95,45 bC	170,45 abA
Pousio	303,18 aA	256,81 aA	174,09 bA

Médias seguidas pela mesma letra (minúsculas nas linhas para comparação entre corretivos e maiúsculas nas colunas para sistemas não diferem entre si pelo teste t ($p \leq 0,05$)).

6.3 Massa de matéria seca de palha, teor de N e C, estoque de N e C na palha e a relação C/N após o cultivo de verão (milho) 2014/2015 e o cultivo de inverno 2015

O acúmulo de palha após o cultivo de verão (realizada 7 dias após a colheita da área) variou em função dos sistemas e dos corretivos de acidez, não havendo interação significativa entre os fatores testados. As maiores quantidades de palha foram advindas do sistema safrinha, seguida pelo adubo verde, pousio e forrageira. Já para os corretivos, observou-se maior acúmulo de palha com o uso de silicato em relação ao uso de calcário. A produção de palha com esses corretivos não diferiram da produção obtida com o tratamento testemunha (Tabela 10).

O teor de N na palha não teve influência dos tratamentos, obtendo-se valor médio de 7,78 g kg⁻¹. Já para a quantidade de N na palha sobre o solo após a colheita do milho houve interação significativa entre os fatores testados. O sistema safrinha, independentemente do corretivo aplicado, resultou nas maiores quantidades de N na palha. Isso se deve ao acúmulo de N ter grande influência da produção de palha, uma vez que o teor de N não variou, como observado no presente trabalho (Tabela 11).

Assim como para o teor de N, o teor de C (Tabela 10) não foi influenciado pelos tratamentos, cujo valor médio obtido foi de 431 g kg⁻¹. O acúmulo de C também foi influenciado pelo acúmulo de palha no sistema, assim as maiores quantidades de C foram observadas no sistema safra e adubo verde, seguidos pela safrinha e pelo pousio. Já os corretivos não afetaram o acúmulo de C na palha.

A relação C/N da palha foi influenciada apenas pelos sistemas (Tabela 10), com maior relação obtida com o uso de adubo verde em relação ao sistema com forrageira e ao pousio, no entanto não diferiu do sistema safrinha.

Tabela 10. Matéria seca de palha (MS), teor de N e C, estoque de N e C na palha e a relação C/N após o cultivo de verão 2014/2015 em função dos sistemas de produção e corretivos

Tratamentos	MS Mg ha ⁻¹	Teor de N g kg ⁻¹	Acúmulo de N kg ha ⁻¹	Teor de C g kg ⁻¹	Acúmulo de C Mg ha ⁻¹	C/N
Sistemas						
Forrageira	5,05 b	8,39	43,63 b	421	2,01 b	51,32 c
Safrinha	6,79 a	7,54	60,27 a	438	3,12 a	60,56 ab
Adubo verde	6,70 a	6,85	51,01 a	430	3,16 a	64,99 a
Pousio	4,99 b	8,33	39,23 b	438	2,09 b	54,64 bc
CV (%)	14,54	18,60	12,29	8,92	21,79	12,06
Corretivos						
Testemunha	6,12 ab	7,52	49,26	426	2,55	58,14
Silicato	6,46 a	7,21	47,83	440	2,79	63,26
Calcário	5,08 b	8,60	48,51	427	2,44	52,23
CV (%)	24,31	22,71	20,48	7,44	23,83	24,28
Probabilidade	$(P > F)$					
Sistemas (S)	<0,000	0,083	<0,000	0,741	<0,000	0,004
Corretivos (C)	0,030	0,084	0,921	0,409	0,286	0,105
Interação S × C	0,093 ns	0,998	0,011	0,106	0,338	0,973

Médias seguidas por letras diferentes na coluna, diferem entre si pelo teste t ($p \leq 0,05$).

Tabela 11. Desdobramento da interação para o acúmulo de N após a safra de verão (milho) 2014/2015 em função dos sistemas de produção e corretivos.

Sistemas	Corretivos		
	Testemunha	Silicato	Calcário
Acúmulo de N (kg ha^{-1})			
Forrageira	28,78 bC	53,18 aA	48,93 aAB
Safrinha	67,12 aA	58,00 aA	55,70 aA
Adubo verde	55,40 aBC	44,94 aAB	52,70 aA
Pousio	45,74 aB	35,22 aB	36,72 aB

Médias seguidas pela mesma letra (minúsculas nas linhas para comparação entre corretivos e maiúsculas nas colunas para sistemas não diferem entre si pelo teste t ($p \leq 0,05$)).

Nas avaliações da palhada deixada sobre o solo (50 dias após a colheita) pelas culturas de entressafra, com exceção do teor de C na palha, houve interação significativa entre os fatores testados para os resultados de produção de matéria seca, teor de N, acúmulo de N, acúmulo de C e relação C/N (Tabela 12). Assim como observado nos primeiros 6 anos do experimento (CASTRO et al., 2015), a maior produção de palha, e, conseqüentemente, a maior quantidade de C e N adicionados por essa palha, foi observado no sistema forrageira, independente do uso de corretivo da acidez. Entre os demais sistemas não observou-se grandes diferenças no aporte de C pela palha das plantas na entressafra, inclusive quando comparada com o sistema pousio (Tabela 13). O calcário favoreceu o acúmulo de palha da forrageira e da cultura de safrinha em relação ao silicato, e resultou em maior aporte C e N pela palha apenas no sistema safrinha (Tabela 13).

Rigon (2013) observou benefícios no acúmulo de N na palha pela braquiária (forrageira), em 33 e 75% em relação ao consórcio da braquiária com o sorgo e sob o cultivo do sorgo grânifero em sistema solteiro, respectivamente. Menezes e Leandro (2004), em experimento objetivando avaliar o potencial dentre dez espécies de cobertura para uso em sistema de plantio direto, em experimento conduzido em Goiânia-GO, sob Latossolo Vermelho, também observaram resultados significativos para a braquiária, onde inicialmente apresentou um crescimento muito baixo, mas, depois, sua produção de fitomassa superou 12 t ha^{-1} .

Diferentemente dos cultivos de verão, a relação C/N da palha de entressafra foi influenciada pela interação dos fatores (Tabela 13), cuja maior relação foi obtida do sistema safrinha com aplicação de silicato (32,17).

Tabela 12. Matéria seca de palha (MS), teor de N e C, estoque de N e C na palha e a relação C/N após o cultivo de inverno (sistemas) 2015 em função dos sistemas de produção e corretivos.

Tratamentos	MS Mg ha ⁻¹	Teor de N g kg ⁻¹	Acúmulo de N kg ha ⁻¹	Teor de C g kg ⁻¹	Acúmulo de C Mg ha ⁻¹	C/N
Sistemas						
Forrageira	7,83 a	19,16	177,84 a	451 ab	4,48 a	23,77
Safrinha	3,87 b	17,51	71,51 b	438 b	1,97 b	26,15
Adubo verde	3,75 b	18,24	65,38 b	437 b	1,62 b	24,30
Pousio	4,34 b	18,34	58,30 b	463 a	1,93 b	25,91
CV (%)	25,57	18,39	55,85	4,89	29,97	18,35
Corretivos						
Testemunha	4,71	19,08 a	99,08	453	2,63	24,23 b
Silicato	4,99	16,95 b	83,38	442	2,40	26,65 a
Calcário	5,15	18,90 a	97,31	448	2,46	24,22 b
CV (%)	15,56	9,87	23,66	3,96	17,18	9,74
Probabilidade	$(P > F)$					
Sistemas (S)	<0,000	0,699	<0,000	0,555	<0,000	0,531
Corretivos (C)	0,277	0,004	0,109	0,236	0,319	0,012
Interação S × C	0,004	<0,000	0,023	0,876	0,009	<0,000

Médias seguidas por letras diferentes na coluna, diferem entre si pelo teste t ($p \leq 0,05$).

Tabela 13. Desdobramento da interação para matéria seca de palha (MS), teor de N, estoque de N e C na palha e a relação C/N após o cultivo de inverno (sistemas) 2015 em função dos sistemas de produção e corretivos.

Sistemas	Corretivos		
	Testemunha	Silicato	Calcário
		MS (Mg ha ⁻¹)	
Forrageira	7,59 abA	7,30 bA	8,61 aA
Safrinha	4,07 abB	3,05 bC	4,48 aB
Adubo verde	3,49 aB	4,11 aC	3,65 aB
Pousio	3,67 bB	5,49 aB	3,87 bB
		Teor de N (g kg ⁻¹)	
Forrageira	20,47 aA	17,69 bA	19,33 abAB
Safrinha	17,44 bB	13,69 cB	21,39 aA
Adubo verde	20,75 aA	17,29 bA	16,71 bB
Pousio	17,68 aB	19,16 aA	18,17 aB
		Acúmulo de N (kg ha ⁻¹)	
Forrageira	183,65 aA	187,11 aA	162,77 aA
Safrinha	68,53 bB	41,05 bB	104,96 aB
Adubo verde	77,45 aB	57,56 aB	61,22 aC
Pousio	66,69 aB	47,93 aB	60,28 aC
		Acúmulo de C (Mg ha ⁻¹)	
Forrageira	4,86 aA	4,62 aA	3,96 bA
Safrinha	2,04 aB	1,39 bC	2,49 aB
Adubo verde	1,56 aB	1,58 aAB	1,71 aC
Pousio	2,07 aB	2,02 aB	1,70 aC
		C/N	
Forrageira	22,19 aB	25,49 aB	23,63 aAB
Safrinha	25,96 bA	32,17 aA	20,32 cB
Adubo verde	21,93 bB	24,93 abB	26,03 aA
Pousio	26,84 aA	24,01 aB	26,89 aA

Médias seguidas pela mesma letra (minúsculas nas linhas para comparação entre corretivos e maiúsculas nas colunas para sistemas não diferem entre si pelo teste t ($p \leq 0,05$)).

6.4 Emissões de gases de efeito estufa em função dos sistemas de produção e dos corretivos

As emissões de CH_4 , N_2O e CO_2 em função dos sistemas de produção em cada época de amostragem, estão representadas nas Figuras 6A, 6B e 6C, respectivamente.

O fluxo de CH_4 (Figura 6A), ao longo dos cultivos não variou significativamente em razão dos sistemas. No entanto, observa-se um pico de aumento simultâneo de emissões nos sistemas forrageira, safrinha e pousio aos 30 DAS, mas sem diferir estatisticamente. Devido o fator dreno ou fonte CH_4 ser geralmente insignificante muitas vezes nem entra nos cálculos dos GEE. Porém, seu consumo por solos agrícolas somando à pastagens e florestas, em escala mundial é de 6% (LEMER; ROGER 2001). Assim não podem ser desconsiderados, pois junto com o estoque de C do solo, eles são os únicos drenos biológicos para os GEE em equivalente de C. Em SSD, o fator dreno do CH_4 no solo é dependente do período e do sistema de rotação de culturas (BAYER et al., 2012). No entanto Omonode et al 2007, em trabalho com SSD por 30 anos, não foi observaram valores crescentes de oxidação de CH_4 no solo sob sucessão do milho e soja.

Em relação ao N_2O , observou-se (Figura 6B) queda nos primeiros 15 DAS, no entanto sem diferenças significativas entre os sistemas. Em seguida, observou-se aumentos simultâneos sem diferenças entre os sistemas.

O fluxo de N_2O sofreu interferência dos sistemas na coleta que antecedeu a colheita do milho (Figura 6B), onde o sistema adubo verde apresentou os menores fluxos, diferindo do sistema forrageiro com valores superiores. Após a colheita do milho, houve aumento nos fluxos de N_2O , sendo esse aumento explicado pelo maior aporte de N na palha de milho no sistema safrinha (Tabela 10). Rigon (2013) observou maiores picos de emissão quando o cultivo possuía baixa quantidade de palha. Alta emissão de N_2O se deve pela presença de N labil e pela alta umidade do solo, que permite maior taxa de mineralização do N, e consequentemente maior emissão de N_2O (FIERER; SCHIMEL, 2002; BEARE et al., 2009; FOLLETT et al., 2005; ZHONG et al., 2011). Além disso, essa alta umidade promoveu alta PPA (Figura 8C), que pode favorecer o processo de desnitrificação, que é o principal fator de emissão gasosa de N. Após a colheita das culturas nos sistemas, verificou-se menor emissão de N_2O no sistema pousio, em relação ao sistema safrinha e o sistema forrageira, cujos obtiveram as maiores emissões (Figura 6B).

Observou-se que logo após a semeadura do milho houve uma maior emissão de CO_2 no sistema forrageira, podendo esse resultado estar relacionado à maior quantidade de C lábil disponível nesse tratamento, o qual teve a sua oxidação acelerada com

um leve revolvimento do solo ocasionado no processo de semeadura. Segundo Rigon (2013) a quantidade de palha e ao revolvimento de solo com no do sulco de semeadura propicia maior difusão do CO₂, além da exposição da MOS devido à quebra dos agregados e também o aumento da oxigenação do solo, propiciando aumento da oxidação da MOS (RIGON, 2013).

No cultivo do milho, 34 DAS foi observado aumento simultâneos nas emissões de CO₂ em função dos sistemas, no entanto sem diferenças significativas entre os mesmos (Figura 6C). Esse aumento coincidiu com aumento da umidade do solo (Figura 8A), mesmo com aumento da PPA (Figura 8C). Isto, se deve as emissões dos GEE serem condicionadas às condições climáticas, sendo influenciadas tanto pela umidade no solo como pela umidade na palha.

Nos dias que antecederam a colheita do milho houve variação em função dos sistemas, onde o sistema que continha adubo verde resultou nas menores emissões. Também se observou diferença no sistema adubo verde em relação ao sistema forrageira. Sistemas com plantas de cobertura em rotação com o alto aporte de resíduos vegetais tem sido apontado como alternativa eficiente no acúmulo de MOS (BAYER et al, 2000; ZANATTA et al., 2007). Os benefícios da adoção dessas plantas são reforçadas pela utilização de leguminosas como planta de cobertura quanto ao seu efeito no acúmulo de M.O e redução nas emissões de GEE do solo pra atmosfera (SAINJU et al., 2002; DIEKOW et al., 2005; GOMES 2006).

Da mesma forma, nos dias que antecederam a colheita das culturas de entressafra, observaram-se diferenças significativas entre os sistemas, cujo sistema forrageira resultou em menores emissões em comparação com o sistema safrinha e adubo verde. Isso pode esta relacionado à menor quantidade de palha produzida pela cultura do milho, a qual consequentemente, acumulou menor quantidade de C e N na palha. Além disso, em média, a palha do milho nesse sistema foi a que apresentou maior relação C/N em comparação às demais (Tabela 12). Resíduos com baixa relação C/N são mais facilmente decompostos pelos microrganismos do solo do que os resíduos com alta relação (AITA; GIACOMINI, 2007). Medeiros (2011), conduzindo experimento em Latossolo Vermelho também observou a relação entre emissão de GEE e quantidade de palha sobre solo, onde as emissões de CO₂ foram maiores no SSD em comparação com o PC, sendo este efeito atribuído aos maiores estoques de C na camada superficial, que esta aliado a alta presença de resíduos e atividade biológica.

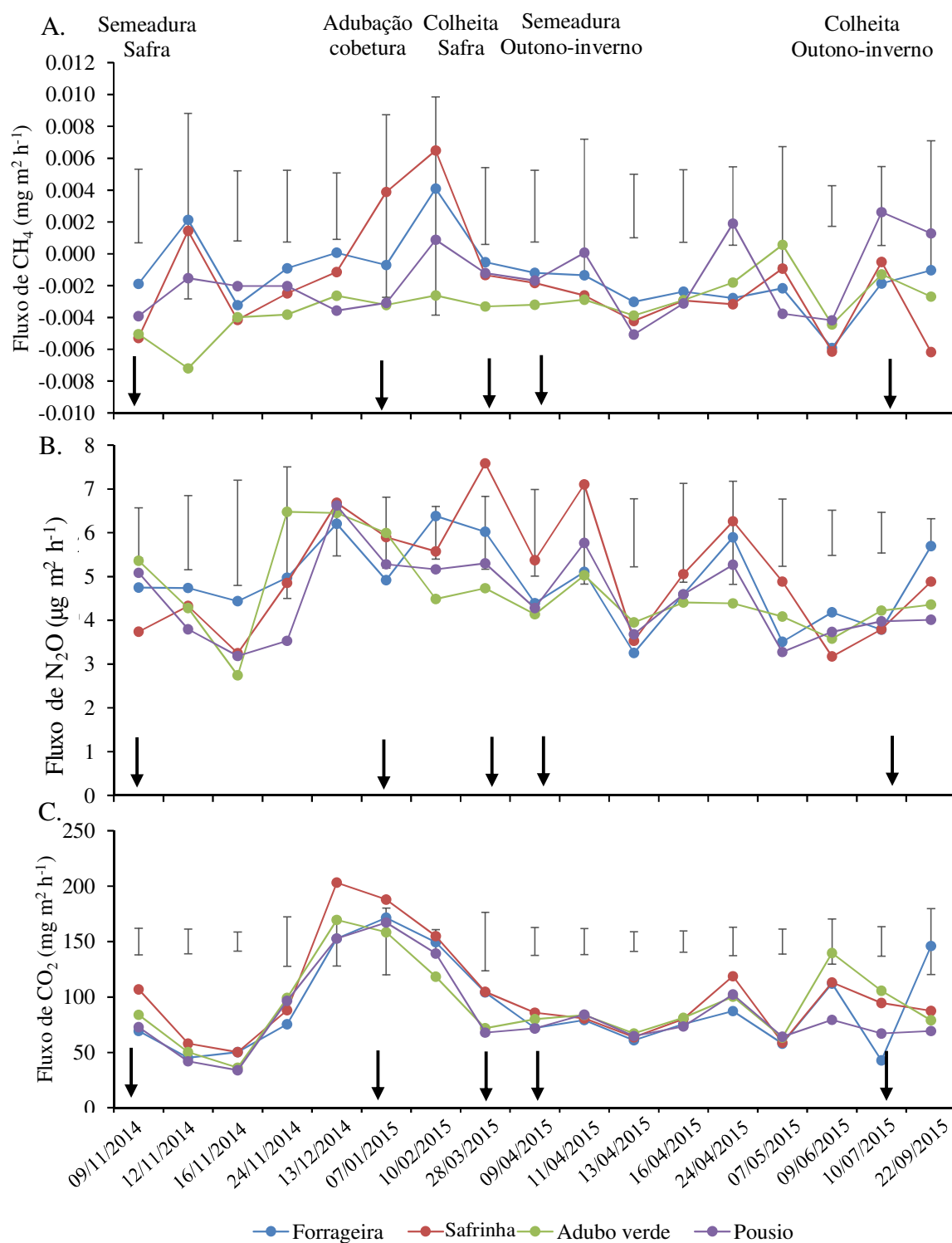


Figura 6. Fluxo de CH_4 (A), N_2O (B) e CO_2 (C), nos sistemas de produção conforme as épocas de amostragens. Barras verticais correspondem ao DMS pelo teste t a 5 % de probabilidade.

O fluxo de CH_4 , como observado para os sistemas, não variou em função dos corretivos ao longo do estudo (Figura 7A). Todavia, aos 30 DAS, houve um pico de fluxo de CH_4 somente nas subparcelas onde não foi realizada a correção do solo (Testemunha), no entanto, não diferiu estatisticamente dos corretivos. De acordo com Glatzel e Stahr (2001), para que ocorra a emissão de CH_4 no solo não é necessário ambiente anaeróbico 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.

Em relação ao fluxo de N_2O , observa-se diferença após a semeadura de verão para os corretivos, onde a correção com calcário resultou em menores emissões, em comparação com a testemunha, que por sua vez não diferiu do silicato. Observou-se também queda simultânea nas emissões nos primeiros dias após a semeadura. No cultivo da safra de verão (milho), aproximadamente 60 a 90 DAS, houve maior emissão de N_2O no tratamento testemunha em relação aos tratamentos com uso de corretivos (Figura 7B). No cultivo de inverno, o fluxo de N_2O apenas variou em razão dos corretivos após a colheita das culturas, onde a correção do solo com calcário resultou em menores emissões em comparação com o silicato e a testemunha.

Nos cultivos de verão e inverno, a emissão de CO_2 (Figura 7C) não variou em razão da correção do solo. No entanto como observado para as demais emissões e para os sistemas, houve um pico aos 30 DAS no cultivo de verão nas emissões de CO_2 , como já explicado anteriormente.

De uma forma geral, não se observou aumento nas emissões de GEE com o uso de corretivos da acidez, como sugerido na literatura, em função de um possível aumento da atividade microbiana em condições de aumento do pH do solo, ou mesmo em função do CO_2 proveniente do CaCO_3 (MgCO_3) (MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO, 2014). 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, e as propriedades emergentes do ciclo do C no solo melhoram a qualidade do solo. E as práticas de manejos que visam o acúmulo de matéria orgânica no solo são extremamente importantes para minimizar a emissão de CO_2 para a atmosfera, entre outros efeitos (BAYER et al., 2011).

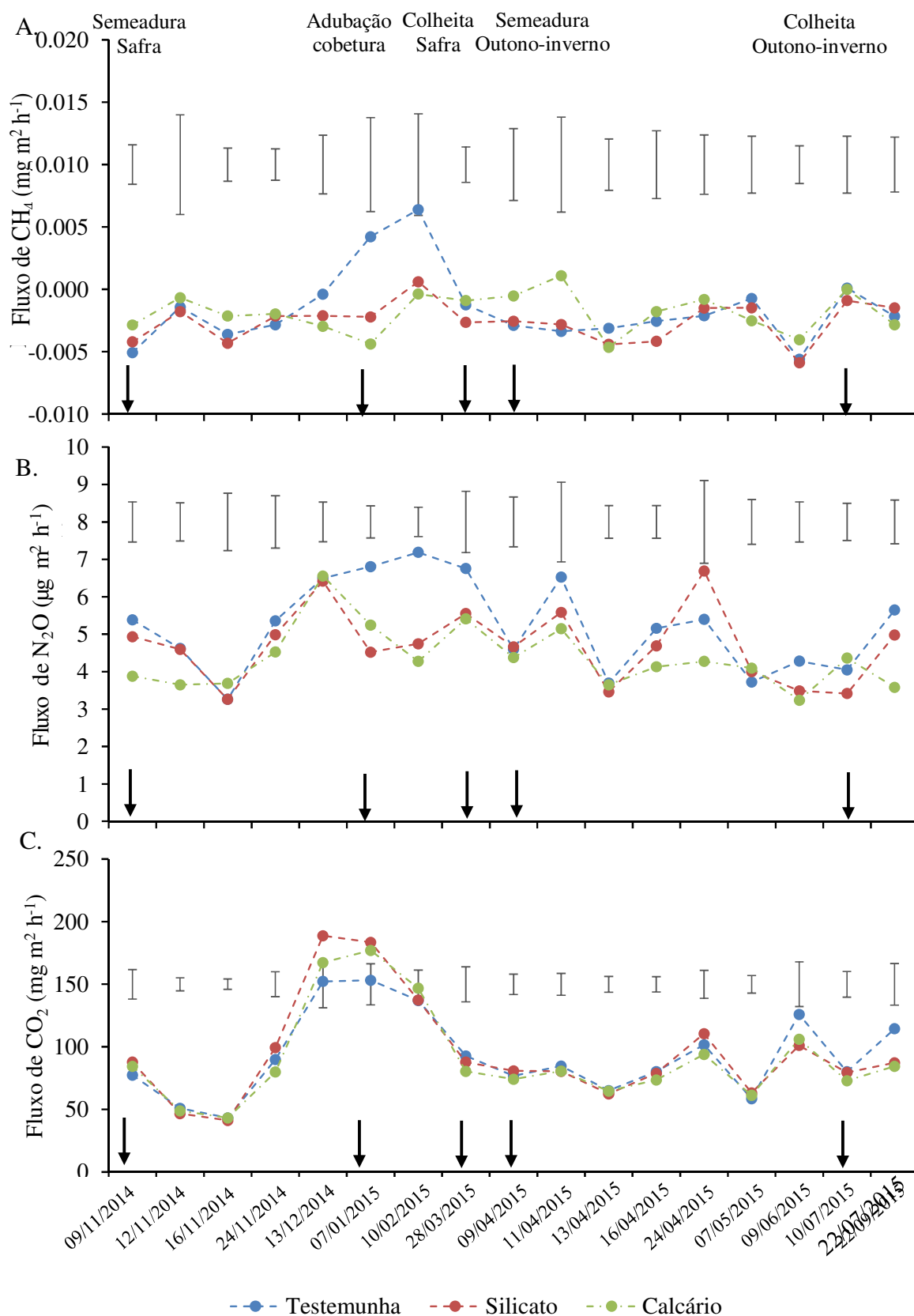


Figura 7. Fluxo de CH_4 (A), CO_2 (B) e N_2O (C), nos corretivos conforme as épocas de amostragens. Barras verticais correspondem ao DMS pelo teste t a 5 % de probabilidade.

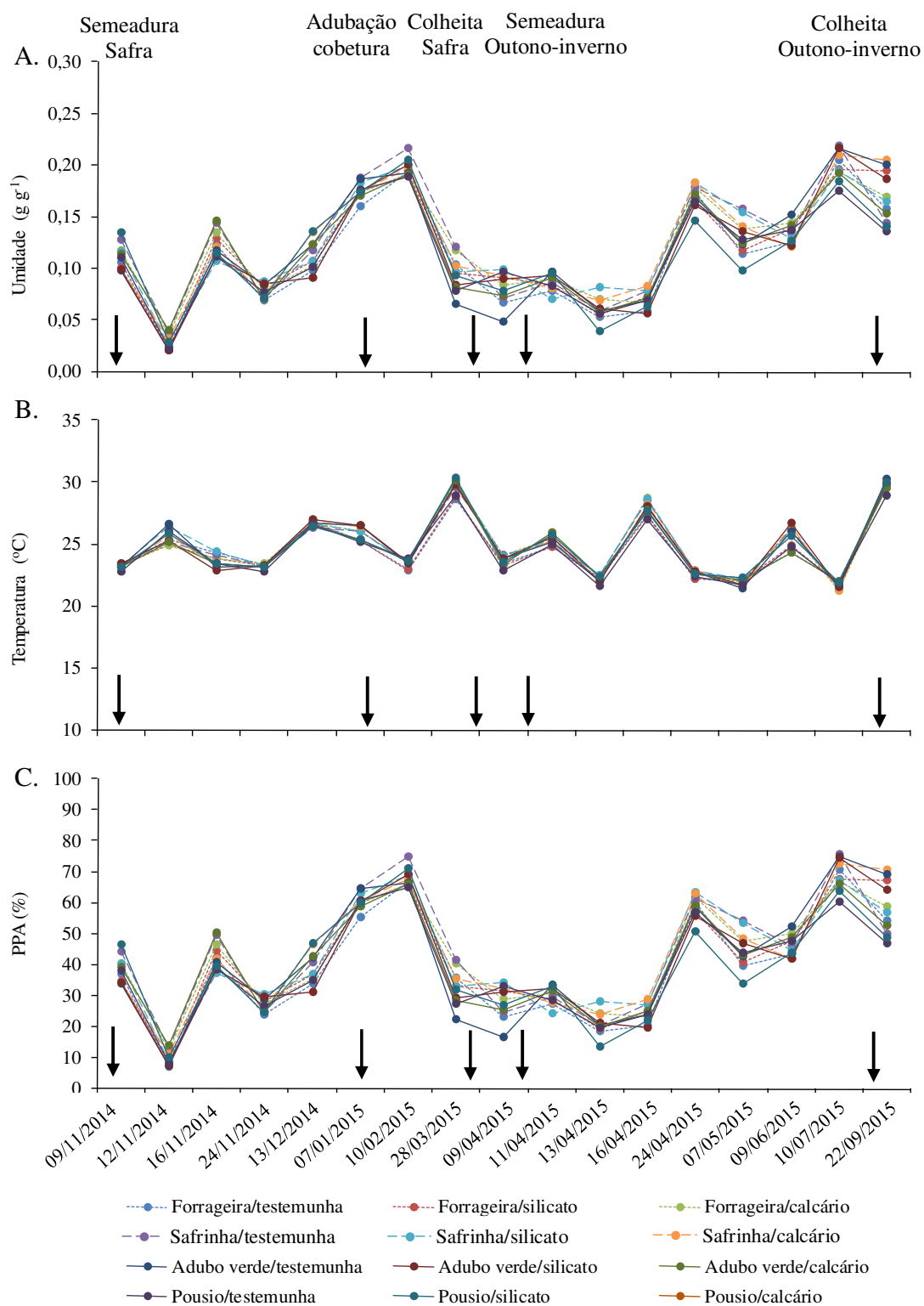


Figura 8. Umidade do solo (A), temperatura do Solo (B) e PPA (C) nos sistemas de produção nos dias das coletas dos GEE.

6.5 Emissão acumulada de C-CH₄, C-CO₂ e N-N₂O

A emissão acumulada de C-CH₄ não foi afetada pelos fatores testados, bem como não houve interação significativa entre os fatores (Tabela 14), possivelmente devido ao alto coeficiente de variação. No entanto, o sistema adubo verde, foi o que possuiu as maiores médias de emissões. Rigon (2013), também observou que o tratamento com pousio durante a primavera propiciou as menores taxas de oxidação do CH₄ tanto com o girassol como com o triticales como culturas antecessoras. Isto pode ser explicado devido à ausência de cobertura vegetal, uma vez que pode interferir na população de microorganismos metanotróficos responsáveis pela oxidação do CH₄.

Para a emissão acumulada de C-CO₂ houve interação entre os fatores testados (Tabela 15).

Já o acúmulo de N-N₂O foi influenciado apenas pelo fator corretivo, onde se observou maior emissão acumulada no tratamento testemunha (sem correção do solo) (Tabela 14). Rigon (2013) observou maiores somatórias de fluxo de N₂O para cultivos de crotalária como cultura de primavera, tanto em sucessão ao girassol como ao triticales. Isso se deve à qualidade do resíduo de leguminosa, tendo na sua composição maior quantidade de N, quando comparada a gramíneas no geral, o que propicia maior mineralização e superior emissão de N₂O, assim como verificado também por Zanatta (2009). No entanto, tal fato se deve ao presente trabalho não utilizar como adubação verde uma leguminosa, que por sua vez fixaria nitrogênio ao solo.

Tabela 14. Emissões de C-CH₄, C-CO₂ e N-N₂O acumuladas, em função dos sistemas de produção e corretivos.

Tratamentos	C-CH ₄	C-CO ₂	N-N ₂ O
	kg ha ⁻¹		
Sistemas			
Forrageira	-0,06	2210	242
Safrinha	-0,055	2370	246
Adubo verde	-0,15	2210	225
Pousio	-0,08	1960	220
CV (%)	259,41	16,16	11,01
Corretivos			
Testemunha	-0,036	2200	263 a
Silicato	-0,114	2230	222 b
Calcário	-0,109	2130	214 b
CV (%)	203,78	9,52	9,17
Probabilidade	(P > F)		
Sistemas (S)	0,716	0,111	0,083
Corretivos (C)	0,386	0,360	<0,000
Interação S × C	0,920	0,021	0,231

Médias seguidas por letras diferentes na coluna, diferem entre si pelo teste t ($p \leq 0,05$).

Em relação ao desdobramento para o acúmulo de C-CO₂ (Tabela 15), verificou-se menor emissão acumulada no sistema pousio, independentemente da correção do solo, provavelmente em função da menor disponibilidade de C e N lábeis nesse sistema (Tabelas 10, 11 e 12), apesar nos maiores teores de C_{BM} no sistema pousio (Tabelas 8 e 9).

Os fatores que condicionam a emissão de CO₂ pelo solo são: incorporação de resíduos, oxigenação do solo e diminuição da umidade na superfície, pois aumenta a rugosidade superficial que se associada ao vento contribui para esta diminuição (REICOSKY et al., 1997). O preparo do solo geralmente condiciona aumento de curta duração na atividade microbiana gerando maior respiração e liberação de C-CO₂ do solo (AMADO et al., 2001; CAMPOS et al., 2006). Portanto, é esperado que haja valores mais elevados de efluxo de C-CO₂ com o preparo do solo. Incrementos no estoque do carbono orgânico total (COT), carbono lábil, maior umidade, maior estoque nitrogênio total, menor amplitude térmica, maior quantidade de resíduos aportados ao solo podem favorecer a maior

atividade biológica sob PD. Neste caso o efluxo de C-CO₂ do solo passa a ser um indicador de qualidade do solo (AMADO et al., 2001).

Tabela 15. Desdobramento de C-CO₂ acumulado em função dos sistemas de produção e corretivos.

Sistemas	Corretivos		
	Testemunha	Silicato	Calcário
	C-CO ₂ (kg ha ⁻¹)		
Forrageira	2220 abA	2450 aA	1950 bB
Safrinha	2350 aA	2320 aAB	2440 aA
Adubo verde	2400 aA	2100 bB	2120 abB
Pousio	1820 bB	2080 aB	2000 aA

Médias seguidas pela mesma letra (minúsculas nas linhas para comparação entre corretivos e maiúsculas nas colunas para sistemas não diferem entre si pelo teste t ($p \leq 0.05$)).

6.6 Índice de eficiência de carbono (IEC)

Levando em conta o potencial de aquecimento global de cada gás (IPCC, 2001), calcularam-se os fluxos de N₂O, CH₄ e de CO₂ em carbono equivalente (C-CO₂), para determinação do índice de eficiência de carbono (IEC) em função da produtividade de milho da safra 2014/2015. Não houve interação dos fatores para o IEC (Tabela 16), sendo assim, observaram-se maiores valores para os sistemas que proporcionam aporte de resíduos sobre o solo, forrageira e adubo verde. Já o pousio e o sistema com safrinha não diferiram. A utilização de silicato resultou em benéficos, seguido pelo calcário. Ou seja, esses sistemas são manejos mais eficazes, pois, apresentam maior produtividade de grãos por unidade de massa de C-eq para a atmosfera, em relação ao custo ambiental.

A avaliação de uma rotação de culturas não pode se limitar apenas à maior ou menor emissão de GEE, já que também afetam a produtividade das plantas (CALONEGO; ROSOLEM, 2010; NASCENTE et al., 2013), importante para a economia de uma nação e para a oferta de alimentos cuja demanda é crescente (FAO, 2005). Dessa forma, necessita-se de uma avaliação conjunta do efeito das rotações de culturas no fluxo de GEE e na produtividade de alimento.

Tabela 16. Índice de eficiência de carbono (IEC) em função dos sistemas de produção e corretivos.

Tratamentos	IEC kg kg ⁻¹
Sistemas	
Forrageira	0,50 a
Safrinha	0,36 b
Adubo verde	0,48 a
Pousio	0,34 b
CV (%)	10,11
Corretivos	
Testemunha	0,25 c
Silicato	0,53 a
Calcário	0,48 b
CV (%)	9,65
Probabilidade	($P > F$)
Sistemas (S)	<0,000
Corretivos (C)	<0,000
Interação S × C	0,357

Médias seguidas por letras diferentes na coluna, diferem entre si pelo teste t ($p \leq 0,05$).

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As emissões dos GEE são influenciadas por uma gama de fatores que interagem conjuntamente, como umidade, temperatura, estoques de C e N no solo e na palha, entre outros. Dessa forma, fica difícil eleger um sistema que promova uma menor ou maior emissão dos GEE sem que se faça uma avaliação integrada dessas variáveis. Além disso, o crescimento da população mundial segue uma curva exponencial, o que significa uma demanda cada vez maior por alimentos. O aumento da produção no setor do agronegócio também é uma necessidade para a economia brasileira e muitos outros países. Por isso, os sistemas de manejo do solo e os sistemas de produção visam sempre maiores produtividades para atender essa demanda, porém, é necessário conciliar as técnicas que aumentam a produtividade com menor custo ambiental, incluindo menores emissões de C e outros gases de efeito estufa para a atmosfera.

8 CONCLUSÕES

As rotações de culturas em Sistema Semeadura Direta e o uso de corretivos não aumentaram os estoques de C orgânico total e de N total no solo, tão pouco da Biomassa Microbiana.

Apesar de não contribuir para os estoques no solo, a rotação de culturas com sistemas envolvendo forrageira e adubo verde resultaram em menores emissões de CO₂ especialmente na safra. Por outro lado, no cultivo de outono-inverno, o aporte de resíduos sobre o solo não reduziu as emissões, especialmente de N₂O.

A correção do solo não aumentou as emissões acumuladas de CO₂, porém, na comparação entre os corretivos, a maior emissão de CO₂ ocorreu com o uso de silicato.

Os sistemas de produção com uso de forrageira e adubo verde no inverno, e o uso de corretivos da acidez, principalmente o silicato, aumentou a produtividade de grãos de milho por unidade de massa de carbono equivalente emitido para a atmosfera.

9 REFERENCIAS

AITA, C. GIACOMINI, S. J. Matéria orgânica do solo, nitrogênio e enxofre nos diversos sistemas de exploração agrícola. In: YAMADA, T.; STIPP E ABDALLA, S. R.; VITTI, G. C. Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira. Piracicaba, SP: **International Plant Nutrition Institute** (INPI), 2007. Cap. 1, p. 1-41.

ALBUQUERQUE, J.A. Manejo da calagem e seu efeito sobre componentes da acidez de um Oxisol sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.527-535, 2004.

ALCARDE, J. C. Corretivos da acidez dos solos: características de qualidade. In: MALAVOLTA, E. (Coord.). **Seminário sobre corretivos agrícolas**. Piracicaba: Fundação Cargil, 1985. cap.3, p.97-117.

ALCARDE, J. C. **Corretivos da acidez dos solos: características e interpretações técnicas**. São Paulo: ANDA, 1992. 26p. (Boletim Técnico, 6)

ALCARDE, J. C.; RODELLA, A. A. **Qualidade e legislação de fertilizantes e corretivos**. In: Tópicos em ciência do solo. v.3. Viçosa: SBCS, 2003, p.291-334.

ALCARDE, J.C. **Corretivos da acidez dos solos: Características e interpretações técnicas**. 2 ed. São Paulo, 1992. 26p. (Boletim Técnico, 6)

ALVAREZ, A.C.C. **Combinações de gesso, silicato e calcário aplicados superficialmente no sistema plantio direto de arroz e feijão irrigados por aspersão**. 2008. 128f. Tese (Doutorado em Agricultura), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu.

AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; ELTZ, F. L. F.; BRUM, A. C. R. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa v.25, p.189-197, 2001.

ARAÚJO, L. G. **Uso do gesso e sua influência na produção de cana-de-açúcar, atributos químicos e estoque de carbono no solo de cerrado**. 2015. 101f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade de Brasília / Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Brasília.

AZEVEDO, A. C.; KÄMPF, N.; BOHNEN, H. Alterações na dinâmica evolutiva de Latossolo Bruno pela calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa v. 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 & Tillage Research**, Amsterdam, v. 90, p. 60-76, 2006.

BAYER, C. **Desafios no manejo da matéria orgânica do solo e seqüestro de C na agricultura conservacionista**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, v.31, 2007, Gramado. SBCS, 2007.

BAYER, C. et al. Methane emission from soil under long-term no-till cropping systems. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.124, p.1–7, 2012.

BAYER, C.; AMADO, T.J.; TORNQUIST, C.G.; CERRI, C.E.C.; DIECKOW, J.; ZANATTA, J. A & NICOLOSO, R. S. Estabilização do carbono no solo e mitigação das

emissões de gases de efeito estufa na agricultura conservacionista. Tópicos ciência do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2011. v.7. p.55-118.

BAYER, C. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 54, n.1, p.101-109, 2000.

BEARE, M. H.; GREGORICH, E. G.; GEORGES, P. Compaction effects on CO₂ and N₂O production during drying and rewetting of soil. **Soil Biology Biochemistry**. Oxford, v. 41, n.3, p. 611–621, 2009.

BERNI, R.F.; PRABHU, A.S. Eficiência relativa de fontes de silício no controle de bruçona nas folhas em arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.38, n.2, p.195-201, 2003.

BODDEY et al., Carbon accumulation at depth in Ferralsols under zero-till subtropical agriculture. **Global Change Biology**, Urbana, v.16, p.784-795, 2010.

BORTOLUZZI, E.C.; PARIZE, G.L.; KORCHAGIN, J.; SILVA, V.R. da.; RHEINHEIMER D.S. dos.; KAMINSKI, J. Soybean root growth and crop yield in response to liming at the beginning of a no-tillage system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.38, n.1, p.262-271, 2014.

BOWDEN, R.D.; STEUDLER, P.A. & MELILLO, J.M. Annual nitrous oxide fluxes from temperate forest soil in the Northeastern United State. **Journal Geophysical Research**, Weinheim, v. 95, p.13997-14005, 1990.

BROOKES, P. C. et al. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 20, n.6, p. 837-842, 1985.

CAIRES, E. F. CHUEIRI, W. A., MADRUGA, E. F. Redução da acidez e movimentação de bases do solo pelo uso de calcário e gesso na superfície e resposta da soja e do milho cultivados em plantio direto. **Revista Plantio direto**, Passo Fundo, p.30-1, 1996. Edição especial.

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 de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. n.2, p.27–34, 1998.

CAIRES, E. F.; FONSECA, A. F.; MENDES, J.; CHUEIRI, W.; 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, n.2, p.315-327, 1999.

CAIRES, E.F. Correção da acidez do solo em sistema de plantio direto. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, IPNI, n.141, p.1-13, 2013.

CALONEGO, J. C; ROSOLEM, C. A. **Soybean Root Growth and Yield in Crop Rotations under Chiseling and No-Till**. *European Journal of Agronomy*. v.33, p.210-249, 2010.

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

CARVALHO, R. et al. Dessorção de fósforo por silício em solos ácidos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.1, p.69-74, 2000.

CARVALHO-PUPATTO, J. G.; BÜLL, L. T.; CRUSCIOL, C. A. C. Atributos químicos do solo, crescimento radicular e produtividade do arroz de acordo com a aplicação de escórias. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.12, p.1213-1218, 2004.

CIOTTA, M.N.; BAYER, C.; ERNANI, P.R.; FONTOURA, S.M.V.; WOBETO, C. & CORRÊA, J. C.; BÜLL, L. T.; CRUSCIOL, C. A. C.; MARCELINO, R. Correção da acidez e mobilidade de íons em Latossolo com aplicação superficial de escória, lama cal, lodos de esgoto e calcário. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v.42, n.9, p.1307–1317, 2007.

CORRÊA, J. C.; BÜLL, L. T.; CRUSCIOL, C. A. C.; MARCELINO, R. Correção da acidez e mobilidade de íons em Latossolo com aplicação superficial de escória, lama cal, lodos de esgoto e calcário. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v.42, n.9, p.1307–1317, 2007.

COSTA, C. H. M., et al. GESSAGEM NO SISTEMA PLANTIO DIRETO. **Jornal of Agronomic Sciences**, Umuarama, v.4, n. especial, p.201-215, 2015.

COSTA, C. H. M., **Calagem superficial e aplicação de gesso em sistema plantio direto de longa duração: efeitos no solo e na sucessão milho/crambe/feijão-caupi**. Botucatu, 2015. 97f. Tese (Doutorado em Agronomia), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu.

COSTA, F.S. et al., Variação diária da emissão de metano em solo cultivado com arroz irrigado no Sul do Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria v.38, n.7, p.2049-2053, 2008.

COSTA, F.S.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; FONTOURA, S.M.V. & WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas de plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Viçosa v.27, n.3, p.527-535, 2003.

COSTA, F.S.; ZANATTA, J.A. & BAYER, C. Emissões de gases do efeito estufa em agroecossistemas e potencial de mitigação. In: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.O., eds. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais. 2**. Porto Alegre, Metropole, 2008. p.545-559.

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

DENEGA, G.L. **Emissão de óxido nitroso e dióxido de carbono após aplicação de dejetos de suínos e bovinos em um Argissolo**. 2009. 92p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Santa Maria.

DIEKOW, J.; et al. Soil C and N stocks as affected by cropping systems and nitrogen fertilization in a southern Brazil Acrisol managed under no-tillage for 17 year. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 81, p. 87-95, 2005.

DOBBIE, K. & SMITH, K. Nitrous oxide emissions factors for agricultural soil in Great Britain: The impact of soil waterfilled pore space and other controlling variables. **Global Change Biology**, Oxford, v.9. p.204-218, 2003.

EMBRAPA. Centro Nacional e Pesquisa em Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa-SPI; Rio de Janeiro: Embrapa-Solos, 2006. 306 p.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Pesquisa do Solo. **Manual de métodos de análises de solo**. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

ESCOBAR, L.F.; AMADO, T.J.C.; BAYER, C.; CHAVEZ, L.F.; ZANATTA, J.A. & FIORIN, J.E. Postharvest nitrous oxide emissions from a subtropical Oxisol as influenced by summer crop residues and their management. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, n.2, p.507-516, 2010.

FAGERIA, N. K.; ZIMMERMANN, F. J. P. Influence of pH on growth and nutrient uptake by crop species in an Oxisol. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.29, n.17, p.2675-2682, 1998.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência & Agrotecnologia**, Lavras, v.35, n.6, p.1039-1042, 2011.

FIERER, N.; SCHMEL, J. P. Effects of drying-rewetting frequency on soil and nitrogen transformations. **Soil Biology Biochemistry**, Oxsford, v.34, p.777–787, 2002.

FOLLETT, R. F.; SHAFER, S. R.; FRANZLUEBBERS, A.J. Research and implementation needs to mitigate greenhouse gas emissions from agriculture in the USA. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.83, p.159-166, 2005.

FORSTER, P.; RAMASWAMY, V.; ARTAXO, P.; BERNTSEN, T.; BETTS, R.; FAHEY, D.W.; HAYWOOD, J.; LEAN, J.; LOWE, D.C.; MYHRE, G.; NGANGA, J.; PRINN, R.; RAGA, G.; SCHULZ, M.; VAN DORLAND, R. Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing. **In:** SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M.; CHEN, Z.; MARQUIS, M.; AVERYT, K.B.; TIGNOR, M.; MILLER, H.L. (Ed.). *Climate change 2007: the physical science basis. contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge; New York: Cambridge University Press, 2007. p.129-234.

GARNIER, P.; NEEL, C.; AITA, C.; RECOUS, S.; LAFOLIE, F.; MARY, B. Modelling carbon and nitrogen dynamics in a bare soil with and without straw incorporation. **European Journal Soil Science**, v.54, p.555–568, 2003.

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

GOMES, A. G.; GARGANTINI, H.; BLANCO, H. G. Comportamento de escórias de siderúrgica como corretivo da acidez do solo. **Bragantia**, Campinas, v.24, n.15, p.173-179, 1965.

GOMES, J. **Emissão de gases do efeito estufa e mitigação do potencial de aquecimento global por sistemas conservacionistas de manejo do solo**. 2006. 126p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

GOMES, J. et al., Soil nitrous oxide emissions in long-term cover crops-based rotations under subtropical climate, **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.106, n.1, p.36–44, 2009.

GOUSSAIN, M.M.; MORAES, J.C.; CARVALHO, J.G.; NOGUEIRA, N.L.; ROSSI, M.L. Efeito da aplicação de silício em plantas de milho no desenvolvimento biológico da lagarta do cartucho *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (*Lepidoptera: Noctuidae*). **Neotropical Entomology**. v.31, n.2, p.305-310, 2002.

HINGSTON, F. J.; POSNER, A. M.; QUIRK, J. P. Anion adsorption by goethite and gibbsite. I. The role of the proton in determining adsorption envelopes. **Journal of Soil Science**, Londres, v.23, n.2, p.177-192, 1972.

HUNTER, D. J.; YAPA, L. G. G.; HUE, N. V.; EAQUB, M. Comparative effects of green manure and lime on the growth of sweet corn and chemical properties of an acid oxisol in Western Samoa. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.26, p.375-388, 1995.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2001: Synthesis Report**. Summary for Policymakers. IPCC Plenary XVIII. Wembley, UK. 34p. 2001.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Microwave irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. **Biology and Fertility of Soils**, New York, v. 27, p. 408-416, 1998.

JANTALIA, C. P. Fluxes of nitrous oxide from soil under different crop rotations and tillage systems in the South of Brazil. **Nutrient Cycling in Agroecosystem**, Dordrecht, v.82, n.2, p.161–173, 2008.

JANTALIA, C.P.; TORRE, R.M.; MACEDO, R.O.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M. Acumulação de carbono no solo em pastagens de Brachiaria. In: ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; AITA, C.; BODDEY, R.M.; JANTALIA, C.P.; CAMARGO, F.A.O. (Ed.). **Manejo de sistemas agrícolas: impactos no sequestro de C e nas emissões de gases de efeito estufa**. Porto Alegre: Gênese, 2006. p.157-170.

JONES, S.K.; REES, R.M.; SKIBA, U.M. & BALL, B.C. Influence of organic and mineral N fertiliser on N₂O fluxes from a temperate grassland. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.121, p.74-83, 2007.

KIEHL, E.J. **Manual de edafologia: relações solo-planta**. Revista Ceres, São Paulo v.22, 262 p, 1979.

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

LA SCALA JR., N. et al. First-order decay models to describe soil C-CO₂ loss after rotary tillage. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.66, n.5, p.650-657. 2009.

LAL, R. Global potential of soil carbon sequestration to mitigate the greenhouse effect. **Critical Review in Plant Science**, Boca Raton, v.22, n.2, p.151-184, 2003.

LECO CORPORATION. **TruSpec CHN/CHNS Carbon/Hydrogen/Nitrogen/Sulfur Determinators**: Instruction Manual. 1. ed. St JOSEPH, 2011. 532p.

LÉLES, E. P. **Corretivos de acidez e fontes de fósforo na disponibilidade de P no solo, nutrição e produção do amendoim e do capim marandu**. 2012. 133f. Tese (Doutorado em Agricultura), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu.

LEMER, J. AND ROGER, P. Production, oxidation, emission and consumption of methane by soils : a review. **European Journal of Soil Biology**, v. 37, p. 25-50, 2001.

MA, J.F. & YAMAJI, N. Silicon uptake and accumulation in higher plants. **Trends in Plant Science**, v.11, p.342-397, 2006.

MCT - Ministério da Ciência, Tecnologia e Informação - **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**. Disponível em: http://www.mct.gov.br/upd_blob/0235/235580.pdf. Acesso em: 26/02/2016

MEDEIROS, J. C. et al. Linking physical quality and CO₂ emissions under long-term no till and conventional-till in a subtropical soil in Brazil. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.338, p.5-10, 2011.

MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. **Matéria orgânica do solo: Métodos de análises**. 1. ed. Viçosa-MG, UFV, 2005. 107p.

MENEGALE, M. L. C et al. SILÍCIO: INTERAÇÃO COM O SISTEMA SOLO – PLANTA. **Jornal of Agronomic Sciences** Umuarama, v.4, n. especial, p.435 - 454, 2015.

MENEZES, L. A. S. & LEANDRO, W. M. Avaliação de espécies de cobertura do solo com potencial de uso em sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.34, n.3, p.173-180, 2004.

METAY, J. A.; MARAUX, F.; FEIGL, B. J.; FELLER, C. N₂O and CH₄ emissions from soils under conventional and no-till management practices in Goiânia (Cerrados, Brazil) **Geoderma**, Amsterdam, v.141, p.78-88, 2007.

MIRANDA, L. N.; MIRANDA, J. C. C. Efeito residual do calcário na produção de milho e soja em solo Glei pouco húmico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, n.1, p.209–215, 2000.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; SANTOS, J. C. F. Effects of addition of crop residues on the leaching of Ca and Mg in Oxisols. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PLANT-SOIL INTERACTIONS AT LOW pH, 4., Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; EMBRAPA; CPAC, 1996.

NASCENTE, A.S. et al. Upland rice yield as affected by previous summer crop rotation (soybean or upland rice) and glyphosate management on cover crops. **Planta Daninha**, Viçosa, v.41, n.1, p.147-155, 2013.

NEUE, H.U. & SASS, R. Trace gas emissions from rice fields. In: PRINN, R.G., ed. Global atmospheric-biospheric chemistry. **Environmental Science Research**, v.48, p.119-148, 1994.

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

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

OMONODE, R. A. et al. 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.

PAVEL, M. A. **Decomposição de resíduos culturais e emissões de gases de efeito estufa em sistemas de manejo do solo em Ponta Grossa (PR)**. 2005. 114 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

PINHEIRO, E. F. M. et al. Impact of pre-harvest burning versus trash conservation on soil carbon and nitrogen stocks on a sugarcane plantation in the Brazilian Atlantic forest region, **Plant and Soil**, Dordrecht, v.333, n. 1-2, p.71-80, 2010.

PONNAMPERUMA, F.N. The chemical of submerged soils. **Advances in Agronomy**, v.24, n.22, p.29-96, 1972.

PÖTTKER, D.; BEN, J. R. Calagem para uma rotação de culturas no sistema plantio direto. **Revista Brasileira Ciência Solo**, Viçosa v. 22, p.675-684, 1998.

PRABAGAR, S.; HODSON, M.J.; EVANS, D.E. Silicon amelioration of aluminium toxicity and cell death in suspension cultures of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.), **Environmental and Experimental Botany**. v.70, n.2-3, p.266-276, 2011.

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.

PULZ AL; CRUSCIOL CAC; LEMOS LB; SORATTO RP. Influência de silicato e calcário na nutrição, produtividade e qualidade da batata sob deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.4, p.1651-1659, 2008.

RAMOS, L. 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 do Solo**, Viçosa, v.30, n.5, p.849-857, 2006.

REICOSKY, D.C.; LINDSTROM, M.J. Fall till age method: effect on short-term carbon dioxide flux from soil. **Agronomy Journal**, v.85, p.1237-1243, 1993.

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 semeadura direta com aportes diferenciados de carbono e nitrogênio**. 2013. 98f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu.

RITCHEY, K. D.; SILVA, J.E.; COSTA, U. F. Calcium deficiency in clayey B horizons of savannah Oxisols. **Soil Science**, Baltimore, v.133, n.3, p.378-382, 1982.

ROSOLEM, C.A.; FOLONI, J.S.S.; OLIVEIRA, R.H. Dinâmica do nitrogênio no solo em razão da calagem e adubação nitrogenada, com palha na superfície. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, n.2, p.301-309, 2003.

SAINJU, U. M. et al. Soil Greenhouse Gas Emissions Affected by Irrigation, Tillage, Crop Rotation, and Nitrogen Fertilization, **Journal of Environmental Quality**, Siebeldingen, v.41 n. 6, p.1774-1786, 2012.

SALES, K. R. R. N. **Qualidade do Carbono em frações da matéria orgânica e classes de agregados de solos sob sistemas agroflorestais de cacau por espectroscopia na região do infravermelho**. 2012. 67f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal), Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. Campos dos Goytacazes.

SANTOS, G.F. **Emissão de óxido nitroso e mineralização do carbono de plantas de cobertura e de dejetos de suínos e bovinos em plantio direto de mamona**. 2009. 100f. Tese (Mestrado em Ciência do Solo), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

SASS, R.L. & FISCHER, F.M. CH₄ emission from paddy fields in United States gulf coast area. In: MINAMI, K.; MOSIER, A.R. & SASS, R.L., eds. CH₄ and N₂O: Global emissions and controls from rice fields and other agricultural and industrial sources. Tokyo, Yokendo Publishers, 1994. p.65-77.

SCHUMAN, G.E.; JANZEN, H.H. & HERRICK, J.E. Soil carbon dynamics and potential carbon sequestration by rangelands. **Environ. Poll.**, v.116, p.391-396, 2002.

SCHÜTZ, H.; SEILER, W. & CONRAD, R. Influence of soil temperature on methane emission from rice paddy fields. **Biogeochemistry**, v.11, p.77-95, 1990.

SETYANTO, P. et al..Soil controlling factors of methane gas production from flooded rice fields in Pati District, Central Java.Indonesia. **Journal Agricultural Science**, Belgrade, v.3 p. 20-31, 2002.

SIX, J.; FELLER, C.; DENEFF, K.; OGLE, S.M.; SÁ, J.C.M. & ALBRECHT, A. Soil carbon matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils: Effects of notillage. **Agronomie**, v.22, p.755-775, 2002.

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

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Nutrição e produtividade de grãos da aveia-preta em função da aplicação de calcário e gesso em superfície na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.2, p.715-725, 2008.

SOUZA, E. D. et al. Estoques de carbono orgânico e de nitrogênio no solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, n.6, p.1829-1836, 2009.

STENBERG, B. et al. Microbial biomass and activities in soil as affected by frozen and cold storage. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v.30, n.3, p.393-402, 1998.

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**, Jaboticabal, v.30, p.224-231, 2010.

URQUIAGA, S. et al. Variações nos estoques de carbono e emissões de gases de efeito estufa em solos das regiões tropicais e subtropicais do Brasil: uma análise crítica. **Informações Agronômica**, Campinas, v.130, p.12-21, 2010.

VARGAS, L.K. & SCHOLLES, D. Biomassa microbiana e produção de C-CO₂ e N mineral de um Podzólico Vermelho-Escuro submetido a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, p.35-42, 2000.

ZANATTA, J. A. **Emissão de óxido nitroso afetada por sistemas de manejo do solo e sistemas de manejo**. 2009. 79f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo), Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

ZANATTA, J. A. et al. Soil organic carbono accumulation and carbono costs related to tillage, cropping sustems and nitrogen fertilization in a subtropical Acrisol. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.94, p.510-519, 2007.

ZANATTA, J.A.; BAYER, C.; VIEIRA, F.C.B.; GOMES, J. & TOMAZI, M. Fluxos de óxido nitroso e de metano em Gleissolo influenciados pela aplicação de fertilizantes nitrogenados no Sul do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 2010. (In Press)

ZHONG, Z.; NELSON, L. M.; LEMKE, R. L. Nitrous oxide emissions from grain legumes as affected by wetting/drying cycles and crop residues, **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.47, p.687-699, 2011.

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