

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

**EMIÇÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA EM ÁREAS DE
SISTEMA SEMEADURA DIRETA COM APORTES
DIFERENCIADOS DE CARBONO E NITROGÊNIO**

JOÃO PAULO GONSIORKIEWICZ RIGON

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

BOTUCATU – SP

Agosto – 2013

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

**EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA EM ÁREAS DE
SISTEMA SEMEADURA DIRETA COM APORTES
DIFERENCIADOS DE CARBONO E NITROGÊNIO**

JOÃO PAULO GONSIORKIEWICZ RIGON

Orientador: Juliano Carlos Calonego

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

BOTUCATU – SP

Agosto – 2013

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

R572e Rigon, João Paulo Gonsiorkiewicz, 1986-
Emissão de gases de efeito estufa em áreas de sistema
semeadura direta com aportes diferenciados de carbono e ni-
trogênio / João Paulo Gonsiorkiewicz Rigon. - Botucatu :
[s.n.], 2013
vii, 98 f. : tabs., grafs., ils. color., fots. color.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2013
Orientador: Juliano Carlos Calonego
Inclui bibliografia

1. Efeito estufa (Atmosfera). 2. Gases estufa. 3. Dióxi-
do de carbono. 4. Nitrogênio. 5. Plantio direto. I. Calone-
go, Juliano Carlos. II. Universidade Estadual Paulista "Jú-
lio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de
Ciências Agronômicas. III. Título.

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

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: “EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA EM ÁREAS DE SISTEMA
SEMEADURA DIRETA COM APORTES DIFERENCIADOS DE CARBONO
E NITROGÊNIO”

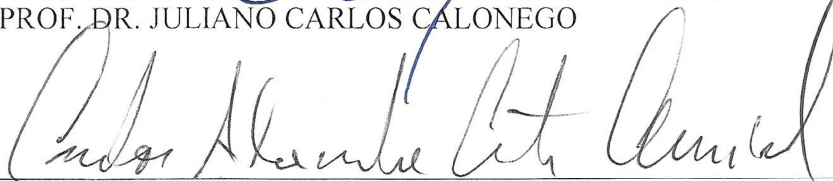
ALUNO: JOÃO PAULO GONSIORKIEWICZ RIGON

ORIENTADOR: PROF. DR. JULIANO CARLOS CALONEGO

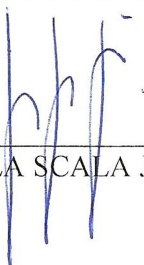
APROVADO PELA COMISSÃO EXAMINADORA:



PROF. DR. JULIANO CARLOS CALONEGO



PROF. DR. CARLOS ALEXANDRE COSTA CRUSCIOL



PROF. DR. NEWTON LA SCALA JUNIOR

Data da Realização: 01 de agosto de 2013.

DEDICO

*Aos meus pais João Feliciano e Rosane Maria,
e ao meu irmão Carlos Alberto,
pelo amor, carinho e apoio nesta caminhada,
à eles dedico todos os méritos desta conquista*

*À minha namorada Silvia Capuani,
pelo carinho, amizade e
e contribuição na realização do trabalho*

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

À Faculdade de Ciências Agronômicas - FCA/UNESP – pela oportunidade e suporte na realização do mestrado.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela concessão da bolsa de estudo.

Ao orientador Dr. Juliano Carlos Calonego, pelos ensinamentos, incentivo, dedicação e suporte na condução deste experimento.

Aos Doutorandos Gustavo Castoldi e Laércio Pivetta; Mestrando Juan Piero e Pós-Doutorando Juliano Carlos Calonego, pela amizade, e condução em conjunto das áreas experimentais, no desenvolvimento do projeto, e coletas à campo.

Ao amigo e técnico do laboratório de relação solo-planta, Dorival Pires de Arruda, pela amizade e disponibilidade nas análises laboratoriais.

Aos colegas de pós-graduação do Departamento de Produção Vegetal, pelo companheirismo e amizade, que indiretamente contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho.

Aos docentes e funcionários do departamento de Produção e Melhoramento Vegetal.

À toda minha família, pelo apoio e incentivo.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS.....	V
LISTA DE TABELAS.....	VI
1 RESUMO.....	1
2 SUMMARY.....	3
3 INTRODUÇÃO.....	5
4 REVISÃO DE LITERATURA.....	7
4.1 Efeito estufa e o aquecimento global.....	7
4.2 Acúmulo de C e emissão de CO₂ em solos agrícolas.....	8
4.3 Emissão de N₂O em solos agrícolas.....	9
4.4 Emissão/Absorção de CH₄ em solos agrícolas.....	12
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	14
5.1 Caracterização e localização das áreas experimentais.....	14
5.2 Experimento I.....	15
5.2.1 Histórico das sucessões de culturas.....	15
5.2.2 Condução do experimento.....	16
5.2.2.1 Cultura da soja na safra 2011/2012.....	16
5.2.2.2 Culturas de outono-inverno de 2012.....	16
5.2.2.3 Culturas de primavera de 2012.....	17
5.2.2.4 Cultura da soja na safra 2012/2013.....	17
5.2.3 Coleta das amostras de solo.....	18
5.2.4 Coleta das amostras indeformadas.....	18
5.2.4.1 Propriedades físicas do solo.....	19
5.2.5 Coleta de Gases do efeito estufa.....	19
5.2.5.1 Determinação das amostras de gases do efeito estufa.....	21
5.2.6 Temperatura e Umidade do solo.....	22
5.2.7 Porosidade do solo preenchida pela Água (PPA).....	24
5.2.8 Coleta de palha das plantas.....	25
5.2.9 Caracterização bioquímica das espécies.....	25
5.2.10 Produtividade de grãos da Soja.....	26

5.3 Experimento II.....	26
5.3.1 Histórico da área e sucessão de culturas.....	26
5.3.2 Condução da área.....	26
5.3.2.1 Cultura da soja na safra 2011/2012.....	26
5.3.2.2 Culturas de outono-inverno de 2012.....	27
5.3.2.3 Culturas de primavera de 2012.....	27
5.3.2.4 Cultura da soja na safra 2012/2013.....	27
5.3.2.5 Coletas de amostras de solo.....	28
5.4 Estudo estatístico.....	29
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
6.1 Experimento I.....	30
6.1.1 Características físicas do solo.....	30
6.1.2 Aportes de matéria seca, carbono e nitrogênio pelas plantas.....	33
6.1.2.1 Soja (safra 2011/2012).....	33
6.1.2.2 Culturas de outono-inverno.....	35
6.1.2.3 Culturas de primavera.....	38
6.1.3 Estoque de C e N no solo.....	41
6.1.4 Emissão dos gases do efeito estufa (GEE).....	46
6.1.5 Produtividade da soja.....	55
6.2 Experimento II.....	58
6.2.1 Características físicas do solo.....	58
6.2.2 Aporte de matéria seca, carbono e nitrogênio pelas plantas.....	62
6.2.2.1 Soja (2011/2012).....	62
6.2.2.2 Culturas de outono-inverno.....	65
6.2.2.3 Culturas de primavera.....	66
6.2.3 Estoque de C e N.....	69
6.2.4 Emissão dos gases do efeito estufa (GEE).....	73
6.2.5 Produtividade da Soja.....	80
7 CONCLUSÕES.....	83
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	85

LISTA DE FIGURAS

	Página
1. Precipitação pluviométrica e temperatura mínima e máxima diária entre dezembro de 2012 e abril de 2013, na fazenda experimental Lageado (FCA – NESP).....	15
2. Esquema de montagem das câmaras estáticas para coleta das amostras de gases do efeito estufa.....	20
3. Frascos para armazenamento das amostras de gases.....	20
4. Detalhe das câmaras estáticas de coleta de gases do efeito estufa.....	21
5. Valores médios para a umidade e temperatura do solo na mata e do solo Latossolo.....	23
6. Relação entre umidade volumétrica e a gravimétrica $g\ g^{-1}$ das amostras. * significativo ao nível de 5% de probabilidade.....	24
7. Valores médios para a umidade e temperatura do solo na mata e do experimento II (Nitossolo).....	29
8. Fluxo de CO_2 (A), CH_4 (B) e N_2O (C), nas sucessões de culturas de outono / inverno conforme as épocas de amostragens no Latossolo (Experimento I). Barras verticais correspondem ao DMS pelo teste t a 5 % de probabilidade.....	51
9. Umidade do solo (A), temperatura do solo (B) e Porosidade preenchida pela água PPA (C) das sucessões de culturas e mata nos dias das coletas dos GEE do experimento I.....	52
10. Produtividade da soja nas safras de 2012 e 2013 no solo Latossolo para as culturas de outono-inverno e primavera. Barras verticais referem-se ao dms do teste t a 5% de probabilidade, para cada safra e época de sucessão.....	57
11. Fluxo de CO_2 (A), CH_4 (B) e N_2O (C), nas sucessões de culturas de outono / inverno conforme as épocas de amostragens no Nitossolo (Experimento II). Barras verticais correspondem ao DMS pelo teste t a 5 % de probabilidade.....	74
12. Umidade do solo (A), temperatura do solo (B), a 5cm de profundidade e Porosidade preenchida pela água PPA (C), nos dias de coleta das amostras de GEE no solo Experimento II.....	78
13. Produtividade da soja nas safras de 2012 e 2013 no solo Nitossolo para as culturas de outono-inverno e primavera. Barras verticais referem-se ao dms do teste t a 5% de probabilidade, para cada safra e época de sucessão.....	82

LISTA DE TABELAS

	Página
1. Caracterização química e física do solo (Latossolo), no experimento I.....	18
2. Caracterização bioquímica das espécies nos sistemas de sucessões de culturas.....	25
3. Caracterização química e física do solo (Nitossolo), no experimento II.....	28
4. Valores de F para a macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo (Latossolo), nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40, 40-60 e 60-80 cm, no experimento I.....	31
5. Desdobramento dos resultados microporosidade, macroporosidade e porosidade total do solo, na camada de 10 a 20 cm de profundidade, em função das rotações de culturas no experimento I	32
6. Valores de F para os resultados de aporte de palha, C e N e relação C/N dos resíduos de soja, safra 2011/2012, depositados sobre o solo, em função das rotações de culturas no experimento I.....	33
7. Quantidade e qualidade da palha da soja, safra 2011/2012, em função das rotações de culturas no experimento I.....	34
8. Valores de F de aporte de palha, C e N e relação C/N dos resíduos das culturas de outono-inverno depositados sobre o solo, em função das rotações de culturas no experimento I.....	36
9. Quantidade e qualidade da palha das culturas de outono-inverno de 2012, em função das rotações de culturas no experimento I.....	36
10. Valores de F para o aporte de palha, C e N e relação C/N dos resíduos das culturas de primavera depositados sobre o solo, em função das rotações de culturas no experimento I.....	38
11. Quantidade e qualidade da palha das culturas de primavera de 2012, em função das rotações de culturas no experimento I.....	39
12. Valor de F e estoque de C no solo (Mg ha^{-1}), nas diferentes camadas avaliadas e na somatória do perfil, na mata e em função das rotações de culturas no experimento I.....	41
13. Desdobramento dos resultados de estoque de C no solo, em Mg ha^{-1} , das camadas de 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 0-80 cm, em função das rotações de cultura no experimento I.....	43
14. Valor de F e estoque de N no solo (Mg ha^{-1}), nas diferentes camadas avaliadas em função das rotações de culturas no experimento I e na mata.....	44
15. Desdobramento dos resultados de estoque de N no solo, em Mg ha^{-1} , das camadas de 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80, 0-80 cm, em função das rotações de cultura no experimento I.....	45
16. Somatório das emissões de CO_2 e CH_4 ($\text{mg m}^{-2} \text{h}^{-1}$), e N_2O ($\mu\text{g m}^2 \text{h}^{-1}$), referente às 18 épocas de coleta, em cada sucessão de cultura do experimento I.....	49
17. Valores de F e média geral da produtividade da soja nas safras 2012 e 2013 no solo Latossolo.....	56

18. Valores de F para a macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo (Nitossolo), nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40, 40-60 e 60-80 cm, no experimento II.....	59
19. Microporosidade, macroporosidade, porosidade total e densidade do solo, nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40, 40-60 e 60-80 cm de profundidade, em função dos cultivos de outono-inverno e de primavera no experimento II.....	61
20. Valores de F para os resultados de aporte de palha, C e N e relação C/N dos resíduos de soja, safra 2011/2012, depositados sobre o solo, em função das rotações de culturas no experimento II.....	63
21. Quantidade e qualidade da palha da soja, safra 2011/2012, em função das rotações de culturas no experimento II.....	63
22. Valores de F para o aporte de palha, C e N e relação C/N dos resíduos das culturas de outono-inverno, depositados sobre o solo, em função das rotações de culturas no experimento II.....	65
23. Quantidade e qualidade da palha das culturas de outono-inverno, em função das rotações de culturas no experimento II.....	65
24. Valores de F para o aporte de palha, C e N e relação C/N dos resíduos das culturas de primavera, depositados sobre o solo, em função das rotações de culturas no experimento II.....	67
25. Quantidade e qualidade da palha das culturas de primavera, em função das rotações de culturas no experimento II.....	69
26. Valor de F e estoque de C no solo (Mg ha^{-1}), nas diferentes camadas avaliadas e na somatória do perfil, em função das rotações de culturas no experimento II.....	70
27. Valores de F de estoque de N do solo, em função das rotações de culturas no experimento II.....	71
28. Desdobramento de estoque de N no solo, em Mg ha^{-1} , das camadas de 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80, 0-80 cm, em função das rotações de cultura no experimento II e da mata.....	72
29. Somatório das emissões de CO_2 e CH_4 ($\text{mg m}^2 \text{ h}^{-1}$) e N_2O ($\mu\text{g m}^2 \text{ h}^{-1}$), referente às 18 épocas de coleta, em cada sucessão de cultura do experimento II e da mata.....	77
30. Valores de F e média geral da produtividade da soja nas safras 2012 e 2013.....	81

1. RESUMO

Em função dos solos agrícolas atuarem como fonte ou dreno dos gases do efeito estufa, dependendo das práticas de manejo utilizadas, há necessidade de determinar os sistemas que mais contribuam na redução de emissões, promovendo o acúmulo de carbono e matéria orgânica estável no solo. Objetivou-se com este trabalho avaliar as emissões oriundas de diferentes cultivos sob Sistema Semeadura Direta (SSD) e o rendimento da soja, relacionando às características físicas do solo, ao aporte de carbono dos resíduos vegetais ao solo e ao estoque de C e N do solo. O trabalho foi realizado em duas áreas de manejo em SSD por no mínimo oito anos, com diferentes rotações de culturas, na Fazenda Experimental Lageado, Unesp/Botucatu (SP). No experimento I, o solo do tipo Latossolo é cultivado sob SSD há doze anos, sendo as sucessões estudadas nesse experimento implantadas em 2006, e constam do cultivo de sorgo granífero (*Sorghum bicolor*) e braquiária (*Brachiaria ruziziensis*), e o consórcio de ambas no outono/inverno; e pelo cultivo de (*Pennisetum glaucum* L.), sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) e crotalária júncea (*Crotalaria juncea* L.), antecedendo a cultura da soja na safra de verão como subparcelas. O segundo experimento vem sendo conduzido desde 2003, em Nitossolo Vermelho distroférico, estruturado, de textura argilosa, e as parcelas constituídas pelas culturas de inverno triticales (*X Triticosecale Wittmack*) e girassol (*Helianthus annuus* L.), e as subparcelas pelos manejos de primavera envolvendo milheto (*Pennisetum glaucum* L.), sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) e crotalária júncea (*Crotalaria juncea* L.), além da escarificação, realizada em 2003 e 2009. Na safra de verão foi cultivada a soja, em todas as subparcelas. Foram analisadas as quantidades de palha produzida em cada cultivo e os aporte médios de C e N adicionados ao solo no cultivo de inverno e primavera. As características físicas do solo por meio da densidade do

solo, macro, micro e porosidade total nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40, 40-60 e 60-80 cm, além do estoque de C e N nestas profundidades. Foram determinados os fluxos de CO_2 ; CH_4 e N_2O por meio de câmaras estáticas, nos períodos 1; 3; 8; 15; 30 e 60 dias após a semeadura das culturas de outono-inverno; das culturas de primavera e da semeadura da soja no verão, totalizando 18 períodos de amostragens. Foi também determinada a produtividade da soja. Observou-se que a palha das diferentes sucessões proporcionaram efeito sobre os estoques de C e N, tendo a intensidade diferenciado conforme os tipos de solos. As características físicas foram menos influenciadas pelos cultivos, embora no experimento II, a macroporosidade tenha sido maior sob a escarificação. Em relação aos fluxos de gases, os resíduos culturais proporcionam comportamento distintos, influenciados tanto pela quantidade, bem como pela qualidade do material vegetal aportado ao solo, principalmente pela relação C/N e lignina/N, além da influência da temperatura e umidade do solo. Observou-se que os sistemas de semeadura direta independente do tipo de solo, proporcionaram comportamento de oxidação do CH_4 , diferentemente da mata, possivelmente devido a principal fonte nitrogenada ser o cultivo com espécies leguminosas.

GREENHOUSE GAS EMISSIONS IN NO TILLAGE AREAS WITH DIFFERENT CONTRIBUTIONS OF CARBON AND NITROGEN

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

Author: JOÃO PAULO GONSIORKIEWICZ RIGON

Adviser: JULIANO CARLOS CALONEGO

2. SUMMARY

According to the agricultural soils to act as source or sink of greenhouse gases, due to the management practices, need to determine the systems which contribute for reducing emissions by promoting the accumulation of carbon and stable organic matter in soil. The objective of this work was to evaluate the emissions from different crops under no tillage (NT) and soybean grain yield, relating to the soil physical characteristics, the input of carbon from plant residues and the stock of C and N in the soil. The study was carried out in two management areas in NT for at least eight years, with different crop rotations at the Experimental Farm Lageado, Unesp/Botucatu (SP). In the first experiment, the soil was a Rhodic Ferralsol under SSD for twelve years, and the successions studied in this experiment established in 2006 with sorghum (*Sorghum bicolor*) and brachiaria (*Brachiaria ruziziensis*), single or intercropped in the fall/winter, as plots. Pearl millet (*Pennisetum glaucum* L.), sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) and sunn hemp (*Crotalaria juncea* L.), were cropped in the spring, in the subplots, preceding soybean crop in the summer. The second experiment has been conducted since 2003 in Red Nitossols structured, clayey, and the plots constituted by crops winter triticale (X Triticosecale Wittmack) and sunflower (*Helianthus annuus* L.). The subplots and managements spring involving pearl millet (*Pennisetum glaucum* L.), sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) and sunn hemp (*Crotalaria juncea* L.), and chiselling performed in 2003 and 2009. In the summer all experimental units were cropped with soybean. We analyzed the amount of straw produced in each crop and the average input of C and N added in the soil with the crop rotations. We determined the physical characteristics of the soil as soil bulk density, macro, micro, and total porosity at 0-10, 10-20, 20-40, 40-60 and 60-80 cm layer, and the stock of C and N in these depths. Were determined CO₂ fluxes, CH₄ and N₂O using static chambers, in periods of 1, 3, 8, 15, 30 and 60 days after seeding of fall-winter crops, spring

crops and of soybean in the summer, totaling 18 sampling periods. It was also determined the soybean yield in the 2011/2012 and 2012/2013 harvests. It was observed that the crop rotations affected the C and N stocks in the soil, with different intensity depending of the soil types. The physical characteristics were less influenced by cover crops however, in the experiment II, the macroporosity was higher under chiseling. Regarding the gas fluxes, crop residues provides different performance, influenced by the quantity and the quality of the straw, mainly by the C / N and lignin / N relation, and by temperature and soil moisture. It was observed that the no-tillage systems independent of soil type, provided the CH₄ oxidation, different from the forest, possibly because the principal nitrogen source be with leguminous crop.

Keywords: greenhouse gas emissions, cover crop, no-tillage.

3. INTRODUÇÃO

É crescente a preocupação mundial em relação às mudanças climáticas no planeta, atribuindo geralmente ao aumento das emissões dos gases do efeito estufa: dióxido de carbono (CO₂), óxido nitroso (N₂O) e ao metano (CH₄). Apesar deste fenômeno do efeito estufa ser um processo natural, acredita-se que ocorra a intensificação deste processo principalmente pela ação antrópica, a qual conforme pesquisas, propiciou a elevação da temperatura média do globo em 0,6° C no século passado, e exibe uma taxa de aquecimento de 0,21° C por década (SCARPINELLA, 2002; IPCC, 2007).

O setor agrícola, em escala mundial, contribui com 22, 80 e 55% das emissões de CO₂, N₂O e CH₄, respectivamente, enquanto que no Brasil em função da vocação agrícola, a participação deste setor compreende em 75, 91 e 94% das emissões de CO₂, N₂O e CH₄, respectivamente (CERRI & CERRI, 2007).

Frente a estes números, tem-se debatido os reflexos das mudanças climáticas sobre as atividades agrícolas, que, conforme projeções, pode ocasionar a redução das regiões aptas para o cultivo de grãos em todo o país, além da redução da produtividade de inúmeras culturas, alterando profundamente a geografia da produção agrícola, podendo culminar na redução de 25% da área cultivada da soja na próxima década (ASSAD & PINTO, 2008).

Entretanto, as atividades agrícolas, dependendo do manejo utilizado, podem atuar tanto como fonte, bem como dreno dos gases do efeito estufa. O manejo do solo por meio do seu revolvimento ocasiona o fracionamento dos agregados do solo, expondo o C e N orgânicos à intensa atividade dos microorganismos, propiciando o efluxo de CO₂ para a atmosfera. Em contrapartida, a adoção de prática de manejo que aumente o influxo de C no solo, como o Sistema Semeadura Direta (SSD) possibilita reduzir as emissões, principalmente associado a rotações de culturas com alto aporte de resíduos vegetais, possibilitando a atuação de mecanismos de estabilização do C adicionado, na forma de matéria orgânica do solo (MOS) e mitigação do efeito estufa.

A dinâmica do C e N no SSD está diretamente relacionada às espécies cultivadas no sistema de rotação, condicionando por sua vez a emissão de N₂O para a atmosfera, tanto pela necessidade da adubação nitrogenada como por meio do cultivo de leguminosas, que incrementam os teores de N no solo, o que por sua vez tem relação negativa com a capacidade do solo em oxidar o CH₄ da atmosfera, atuando como fator dreno no solo.

Considerando que o fluxo de gases do efeito estufa é resultante das interações entre as condições climáticas e o sistema de rotação de culturas, que por sua vez culmina no aporte e estabilização do C, tais fatores condicionam as características do solo, mesmo que a intensidade seja distinta para cada tipo de solo. Portanto, a hipótese deste trabalho é que as áreas com diferentes sucessões de culturas condicionam as propriedades físicas e químicas do solo, oriundo dos aportes diferenciados de C e N da palha, resultando em emissões de gases do efeito estufa diferenciados.

Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi determinar as sucessões de culturas que resultem em baixas emissões dos gases do efeito estufa e alto rendimento de grãos de soja, em áreas conduzidas por meio do SSD sob ausência de adubação nitrogenada, relacionando os aportes de C e N via matéria seca das culturas e com características do solo como física, estoque de C e N, e a umidade e temperatura do solo.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Efeito estufa e o aquecimento Global

A partir da radiação solar que atinge a Terra, apenas uma fração da energia é capaz de atingir a superfície do solo, pois parte é removida pelo ozônio e moléculas gasosas como o oxigênio. Esta energia de onda curta incide na superfície do solo e é reemitida em comprimento de onda longa, e consecutivamente interage com a presença de inúmeros gases na atmosfera. Temporariamente ocorre a absorção desta energia por meio dos gases do efeito estufa, que em seguida reemitem em todas as direções de modo aleatório, ocasionando a reabsorção desta energia, provocando um aquecimento adicional da superfície terrestre (IPCC, 2007).

Dentre os principais gases de efeito estufa (GEE) destacam-se o CO₂, o N₂O e o CH₄, por serem influenciados pela ação antrópica, como é o caso da atividade agrícola (IPCC, 2007). Desde 1850, quando começaram a serem registradas as temperatura, observou-se que 11 dentre os 12 anos mais quentes situaram-se entre 1995 e 2006, sendo que a década de 1990 foi considerada a mais quente do último milênio (KERR, 2005). Atrelado a isto, ocorreu o aumento na concentração dos GEE da atmosfera, nos últimos 250 anos, com taxa de incremento anual de 2,2 ppm de CO₂, 0,8 ppb de N₂O e 7 ppb de CH₄ (BAIRD, 2002; IPCC, 2007).

Apesar do setor agrícola ser um dos principais responsáveis pelo aumento na concentração dos GEE na atmosfera, principalmente pela vocação agrícola do Brasil, o manejo da agricultura destaca-se também pelo potencial em atuar como fator dreno dos gases, contribuindo para mitigação do forçamento radiativo da atmosfera (GOMES, 2006). Estima-se que cerca de 20 a 30% das emissões dos GEE possam ser compensados por meio do manejo agrícola (BAYER, 2007).

Em razão do CO₂ ser o substrato primário da fotossíntese, o seu incremento poderá aumentar a taxa de crescimento das plantas. Conforme simulações ocorrerão uma maior taxa fotossintética que pode resultar no aumento da produtividade de algumas culturas. A expectativa é que plantas com metabolismo C3 sejam mais beneficiadas do que as plantas C4 (STRECK 2005). Considerando a temperatura média atual e o dobro da concentração de CO₂, os incrementos produtivos das plantas de ciclo C3 e C4, podem chegar a 30 e 10%, respectivamente. No entanto, se o aumento na concentração de CO₂ for acompanhado pelo aumento da temperatura média da atmosfera, mesmo que inferior a 1 °C, pode anular este ganho produtivo (STRECK, 2005).

4.2 Acúmulo de C e emissão de CO₂ em solos agrícolas

O solo é considerado o principal reservatório temporário de C do ecossistema, com cerca de 3,3 vezes mais C do que a atmosfera (LAL, 2004), sendo o sistema de manejo, aliado com as condições climáticas e edáficas, importante fatores responsáveis no processo de influxo ou efluxo do CO₂ do solo para a atmosfera (FRANK et al., 2006).

O preparo do solo juntamente com o sistema de manejo, se destacam dentre as práticas agrícolas que mais influenciam os estoques de C do solo. O não revolvimento do solo e/ou SSD intensificam o processo de estabilização do C no solo, pois minimizam taxa de decomposição da MOS. Além disso, a rotação de culturas proporciona variação no aporte de C fotossintetizado ao solo (CHUNG et al., 2008). Desta forma, sistemas agrícolas com alto aporte de resíduos vegetais com altos teores de C e N, resultam no aumento da MOS, potencializando o influxo de CO₂ (BAYER et al., 2006; COSTA et al., 2008).

Além do sistema de manejo, o tipo do solo constitui um importante fator para proteger e estabilizar o C no solo. Em sistemas conservacionistas, predomina a importância da proteção física da MOS, em função da maior estabilidade dos agregados

(CONCEIÇÃO et al., 2008), principalmente em Latossolos oxídicos, em função da forte interação organomineral existente (SIX et al., 2004). Enquanto que a recalitrância bioquímica, relacionada a composição do material orgânico, tem menor influência sobre a estabilização da MOS (DIECKOW et al., 2009).

O balanço positivo de N em solos agrícolas tropicais é essencial, sendo 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 normalmente limita o sequestro de C na maioria dos agroecossistemas brasileiros, sendo que o cultivo da soja corresponde a um balanço praticamente nulo, em função da grande exportação pelos grãos, aliado à baixa relação C/N e ao baixo teor de C da parte aérea e radicular. Decorrente disto, culturas de cobertura que propiciem balanço positivo de N estimulam o incremento de C no solo. Assim, o resíduo vegetal influenciará a dinâmica da MOS tanto em função da quantidade de C adicionado, como pela qualidade do material (URQUIARGA et al., 2010).

Tem-se verificado que a rápida disponibilidade do N por meio de fontes minerais propicia menor eficiência do solo em acumular C, quando equiparado ao N proveniente de leguminosas (ZANATTA et al., 2007). Isto é atribuído ao efeito estimulador da decomposição da MO nativa em solos, onde o N é limitante à atividade microbiana. Além disso, a emissão de óxido nitroso (N_2O) oriunda do fertilizante apresenta elevado potencial de aquecimento global, ou seja, 296 vezes maior que do CO_2 (IPCC, 2007). Assim como as condições químicas do solo, as propriedades físicas também influenciam as emissões dos GEE.

A compactação do solo, conforme Li et al. (2002), reduz a população de bactérias, fungos e actinomicetos em até 1/3, o que conseqüentemente diminui as emissões de CO_2 . Isto é atribuído a menor difusividade do CO_2 no solo quando a densidade do solo é alta (SGESKAK e BUSSE, 2005). Navara et al. (2012) observaram que as emissões de CO_2 foram reduzidas em 1/3 quando a densidade passou de 1,1 para 1,5 $Mg\ m^{-3}$, assim como reportado por Pengthamkeerat et al. (2005), os quais observaram correlação negativa entre a densidade e o fluxo de CO_2 .

4.3 Emissão de N_2O em solos agrícolas

O N_2O , como já mencionado, apresenta potencial de aquecimento de 298 vezes superior ao CO_2 , (FORSTER et al., 2007). As atividades agrícolas são

consideradas como a principal fonte de emissão de N_2O para a atmosfera (IPCC, 2007), por meio de processos microbiológicos, responsáveis por aproximadamente 90% da emissão global de N_2O (PAUL e CLARK 1996).

Apesar da adubação nitrogenada ser considerada uma prática indispensável para obtenção de altas produtividade de grãos, parte do N torna-se prontamente disponível para a formação gasosa do N, com destaque para N_2O . Em média, cerca de 1,25% do N aplicado na forma de fertilizante sintético é emitido para a atmosfera em forma de N_2O (HOUGHTON et al., 1996), sendo este índice utilizado pelo IPCC para estimar as emissões de N_2O a nível mundial, pois a emissão é altamente favorecida pela aplicação de adubos nitrogenados.

No solo, a produção de N_2O é consequência das transformações do N oriunda de processos microbiológicos de nitrificação e de desnitrificação que podem ou não ocorrer simultaneamente. Essas biotransformações do N podem ocorrer concomitantemente no solo, já que no interior de um agregado, por exemplo, podem desenvolver-se zonas de aerobiose e anaerobiose (FARQUHARSON e BALDOCK, 2008; BAGGS e PHILIPPOT, 2010).

A nitrificação requer condições aeróbias e está diretamente relacionada ao suprimento de $N-NH_4^+$, pela oxidação biológica de formas reduzidas de N, mediada principalmente por bactérias autotróficas. Neste processo as bactérias oxidam o $N-NH_4^+$ no solo produzindo o $N-NO_3^-$. Enquanto que, a desnitrificação ocorre em condições de anaerobiose por meio de bactérias heterotróficas facultativas, as quais dependem da disponibilidade de C orgânico e de $N-NO_3^-$ (BAGGS e PHILIPPOT, 2010).

Embora a emissão por nitrificação seja possível, a emissão de N_2O por meio da desnitrificação é muito superior. Na redução em formas gasosas do nitrogênio por bactérias anaeróbicas facultativas o NO_3^- é utilizado como aceptor final de elétrons na ausência de O_2 , ocorrendo assim a desnitrificação e formação de N_2O .

Inúmeros fatores são determinantes na emissão do N_2O , tais como a temperatura, pH, presença de amônio e nitrato, MO, porosidade do solo e umidade. Porém o fator predominante no solo é o espaço poroso ocupado por água ou porosidade preenchida pela água (PPA), aliado à temperatura. Assim, solos aerados que apresentem 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).

A forma de aplicação de N mineral, bem como sua fonte, alteram significativamente as emissões de N_2O . Conforme Dobbie & Smith (2003), fertilizantes amoniacais e amídicos propiciam menores emissões de N_2O para a atmosfera. Também considera-se a eficiência no aproveitamento da planta, sendo que o uso de inibidores da nitrificação ou desnitrificação podem constituir de metodologias viáveis, podendo reduzir as emissões em até 96% (SNYDER et al, 2009).

No SSD, as emissões de N_2O podem ocorrer devido a pontos redutores no solo. Isto ocorre devido ao aumento da microporosidade, aliada ao alto teor de água e aumentando da disponibilidade de N (DRURY et al., 2004). Além da estratégia de aumentar o influxo de CO_2 por meio da utilização de leguminosas, a fixação biológica de N possibilita reduzir as emissões de N_2O para a atmosfera pela utilização gradual do N.

A melhoria das condições físicas do solo por meio do manejo conservacionista, proporcionando a formação de macroagregados e, conseqüentemente, uma melhora da difusividade do O_2 no perfil do solo, minimizando as emissões de N_2O (METAY et al., 2007). De acordo com levantamento realizado por Zanatta (2009), as maiores emissões de N_2O estariam mais relacionadas com solos com alto teor de MO (Organossolos) e com problemas de drenagem (Gleissolos), e não especificamente ao tipo de manejo de solo.

A disponibilidade de N é afetada pela qualidade e quantidade do resíduo vegetal, e conseqüentemente as emissões de N_2O , sendo maiores os valores quando o material aportado ao solo for facilmente decomponível. A taxa de mineralização dos resíduos vegetais além do sistema de manejo adotado, é influenciada pela relação C:N e também das características bioquímicas, as quais envolvem os teores de celulose, hemicelulose e lignina (AITA e GIACOMINI, 2007), assim como observado por Millar e Baggs (2004).

Em solos sob SSD, a emissão de N_2O relaciona-se ao aporte de resíduos culturais, sendo a emissão mais expressiva logo após ao manejo das plantas, pois ocorre a disponibilidade do C e N lábeis nesta etapa. Em função da constituição química da palhada (relação C:N, teor de lignina e polifenóis) ocorre mineralização adicional do N da palha de espécies fabáceas do que de gramíneas, e, portanto, maior emissão de N_2O (ZANATTA, 2009). Porém, a magnitude das emissões de N_2O associada ao N presente na palha é ainda pouco conhecida especialmente em ambientes tropicais.

Apesar do cultivo de leguminosa, em geral, propiciar maior emissão de N_2O , ocorre com a utilização destas espécies maior potencial de acúmulo de C e N no sistema, o que possibilita reduzir a utilização de adubação nitrogenada, apresentando vantagens tanto do ponto de vista econômico como ambiental.

O N contido nos resíduos vegetais, por propiciar liberação mais lenta comparativamente ao N inorgânico, permite absorção mais gradual e reduz o potencial de emissão do N_2O do solo.

4.4 Emissão/Absorção de CH_4 em solos agrícolas

O fluxo de CH_4 é o resultado líquido entre a produção oriunda da metanogênese e a oxidação por processos de metanotrofia (BALL et al., 1999; BAGGS et al., 2006). Geralmente, solos não perturbados são considerados como agentes oxidantes de CH_4 , porém, quando ocorre a conversão e a mobilização do solo para a exploração agrícola, normalmente o solo atua como fonte de CH_4 para a atmosfera, intensificado com a utilização de fertilizantes nitrogenados (SUWANWAREE e ROBERTSON, 2005; MOJEREMANE et al, 2011). A utilização de fertilizantes nitrogenados aumentam as emissões de N_2O decorrentes das altas taxas de nitrificação e principalmente da desnitrificação (STEHFEST e BOUWMAN, 2006); e ao mesmo tempo, inibe a ação de microorganismos metanotróficos, responsáveis pela oxidação do CH_4 no solo (HUTSCH, 2001; LIU e GREAVER de 2009; ARONSON e HELLIKER, 2010; ACTON e BAGGS, 2011).

Estratégias agrícolas têm sido sugeridas para reduzir as emissões de CH_4 por meio da conservação do solo juntamente com sistemas de rotação de culturas, a ponto de restaurar o fator dreno dos solos agrícolas (USSIRI et al., 2009). O consumo ou emissão de CH_4 do solo sob SSD é dependente do período e do sistema de rotação de culturas (BAYER et al., 2012). Desta forma, estima-se que a taxa de oxidação de CH_4 em SSD pode ser de 4,5 a 11 vezes maior comparado ao manejo convencional (HÜTSCH, 1998; JACINTHE e LAL, 2006). Este processo ocorre até 25 cm de profundidade, porém, a compactação tem efeito negativo direto na difusão do oxigênio, prejudicando o sumidouro de CH_4 no perfil do solo. Isto vem sendo atribuído às condições físicas, químicas e biológicas favoráveis para microorganismos do solo em geral, englobando as bactérias metanotróficas, responsáveis pela oxidação do CH_4 (HUTSCH, 2001). Entretanto, são necessários vários anos caracterizando um efeito em longo prazo por meio

do sistema de manejo do solo (SUWANWAREE e ROBERTSON, 2005; LAL, 2006; REGINA e ALAKUKKU, 2010).

O SSD com plantas de cobertura e comerciais em sistema solteiro e consórcio tem grande influência sobre as propriedades físicas do solo e sua qualidade, o que pode condicionar o fator dreno ou fonte de CH₄ no solo. Esta característica está relacionada à melhora nas características de agregação, teor de matéria orgânica e biomassa microbiana, apesar de ao mesmo tempo, propiciar condições favoráveis a metanogênese pela grande quantidade de C lábil, pela estreita relação de C:N de resíduos, resultando na alta atividade biológica (SEGHERS et al., 2003; BAGGS et al, 2006; VIEIRA et al, 2007).

A redução da necessidade de nitrogênio pela utilização de leguminosas contribui significativamente para o fator dreno de CH₄ do solo (FONTOURA e BAYER, 2009), pois o amônio compete com a enzima mono-oxigenase responsável pela oxidação do CH₄ (MAJUMDAR e MITRA, 2004), a ser assimilado na massa microbiana ou transformado em CO₂, que representa potencial 32 vezes menor de absorção de radiação solar em relação ao CH₄ (BOUWMAN, 1990).

Semelhanças fisiológicas e bioquímicas são verificadas entre as bactérias oxidantes da amônia e CH₄, as quais afetam as taxas de emissões entre CH₄ e N₂O no solo. Pouco se sabe sobre a extensão e da importância desta competição, havendo controvérsia na literatura quanto ao efeito do nitrogênio no solo e a oxidação de CH₄ (BODELIER e LAANBROEK, 2004). Para Acton e Baggs (2011), o aumento da nitrificação por meio da oxidação da amônia e consequente emissão de N₂O pela aplicação de nitrogênio proporciona a redução da capacidade de absorção do CH₄ no solo. Sob uma meta-análise, observou-se uma redução de 38% na oxidação do CH₄ em resposta a aplicação de nitrogênio no solo (LIU e GREAVES, 2009). No entanto, este fato não está elucidado, havendo trabalhos em que solos com altas taxas de mineralização não proporcionaram a redução da oxidação do CH₄ (JACINTHE e Lal, 2005). Isto pode estar atrelado a uma mudança gradativa de microrganismos metanotróficos, que ocorrem nos solos dependendo do seu manejo, por microrganismos nitrificadores, acentuados em solos intensamente adubados, o que relaciona-se a adubação nitrogenada (CASTRO et al. 1994).

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. Caracterização e localização das áreas experimentais

Os experimentos foram realizados nas safras agrícolas 2011/2012 e 2012/2013, em áreas manejadas em SSD por no mínimo oito anos, na Fazenda Experimental Lageado da FCA/Unesp, em Botucatu-SP. A localização geográfica das áreas está definida pelas seguintes coordenadas: latitude 22°49'S, longitude 48°25' W e altitude de 786 m. Os solos das áreas são de textura argilosa de relevo suave ondulado, classificados como Latossolo Vermelho-Amarelo estruturado (experimento I) e Nitossolo Vermelho distroférico estruturado (experimento II) (EMBRAPA, 2006).

Conforme classificação de Koppen, o clima é do tipo CWa, ou seja, mesotérmico com inverno seco. A estação seca é bem definida e ocorre entre os meses de maio a setembro. A precipitação média anual é de aproximadamente 1.514 mm, com temperatura média do mês mais quente superior a 22 °C e a do mês mais frio entre 3 e 18 °C. As temperaturas mínimas e máximas e precipitações pluviométricas diárias estão apresentadas na figura 1, conforme estação agro-meteorológica da FCA, distante 3 km da área experimental.

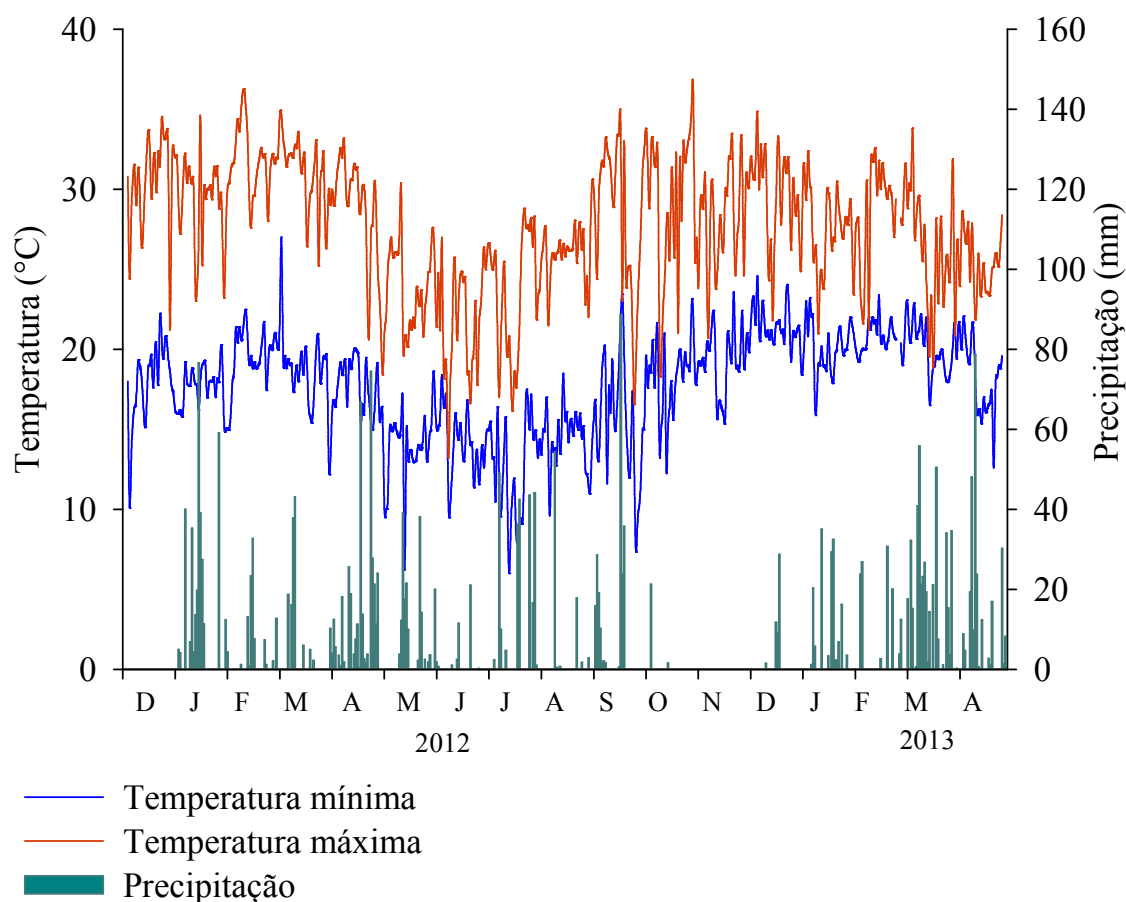


Figura 1. Precipitação pluviométrica e temperatura mínima e máxima diária entre dezembro de 2012 e abril de 2013, na fazenda experimental Lageado (FCA – UNESP).

5.2 Experimento I

5.2.1 Histórico das sucessões de culturas

A área foi conduzida entre os anos de 2001 e 2005 em SSD, com a rotação soja/aveia-preta. A partir de 2006 iniciou-se um experimento com diferentes rotações culturas envolvendo plantas de cobertura e consórcio entre plantas em SSD. Deste então é cultivado o sorgo granífero (*Sorghum vulgare*), a braquiária (*Urochloa ruziziensis*) e o consórcio entre ambas no outono-inverno. Na primavera são cultivadas as espécies de cobertura: milheto (*Pennisetum glaucum* L.) crotalária juncea (*Crotalaria juncea* L.) e sorgo forrageiro, antecedendo a soja como cultura de verão (*Glycine max* (L.) Merrill).

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com parcelas subdivididas, com quatro repetições. Foram consideradas parcelas aquelas cultivadas com braquiária, sorgo e sorgo+braquiária e as subparcelas foram cultivadas com o milheto, a

crotalária e o sorgo forrageiro. Nos anos de 2006, 2007 e 2008 utilizou-se o cober crop (*Sorghum bicolor* (L.) Moench x *Sorghum sudanense* Piper Stapf) no lugar do sorgo forrageiro como planta de cobertura na primavera.

Uma área de mata nativa, distante 300 m do experimento I, foi considerada como aérea de referência.

5.2.2 Condução do experimento

5.2.2.1 Cultura da soja na safra 2011/2012

A cultivar de soja Dow Agrosiences 5D688 RR, de ciclo semiprecoce, foi semeada em 12/12/2011, por meio da semeadura - adubadora Semeato[®] (Personale-Drill) de fluxo contínuo sob espaçamento de 0,45 m, com população de semeadura de 355 mil sementes ha⁻¹. As sementes foram tratadas com fungicida Carboxin+Thiran e inoculante *Bradyrhizobium* sp. A adubação de semeadura foi realizada com 50 kg ha⁻¹ de K₂O e 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅, na forma de cloreto de potássio e superfosfato triplo, respectivamente.

Foi realizado o controle de plantas daninhas por meio do herbicida Glyphosate em 12/01/2012, e na mesma data foi procedida a aplicação do inseticida Lufenuron, assim como em 08/02/2012, 29/02/2012 e 28/03/2012 por meio dos inseticidas Tiamexotam, Metamidofós e Acefato, respectivamente. Nessas datas também aplicou-se os fungicidas Pyraclostrobin + Epoxiconazol, Azoxystrobin + Cyproconazol e Pyraclostrobin + Epoxiconazol, respectivamente.

Por meio de 6 sub amostragens de 1 m de comprimento, perfazendo uma área de 2,7 m² por parcela, realizou-se a colheita da cultura da soja no dia 13/04/2012. As amostras foram trilhadas mecanicamente. O teor de umidade foi ajustado para 13% a base úmida e os valores convertidos em kg ha⁻¹. O restante da área experimental foi colhida com colhedora automotriz.

5.2.2.2 Culturas de outono-inverno de 2012

Em 27/04/2012 foi realizada a semeadura da *Brachiaria ruziziensis* e do sorgo forrageiro, com espaçamentos entrelinhas de 0,17 e 0,34 m, respectivamente, por meio da semeadora adubadora de fluxo contínuo Semeato[®] (Persojale-Drill) sem a utilização de adubação. Utilizou-se 22 e 11 kg ha⁻¹ de sementes, respectivamente. Para o consórcio, foram utilizados os mesmos espaçamentos e quantidades de sementes, sendo

que as sementes da brachiaria foram depositadas na caixa de adubo da semeadora e distribuídas na mesma linha de semeadura do sorgo.

Em 22/05/2012 foi procedido o controle de plantas invasoras por meio do herbicida 2,4-D. O manejo das culturas foi realizado em 09/10/2012 por meio do herbicida não seletivo Glyphosate.

5.2.2.3 Culturas de primavera de 2012

As culturas de primavera foram semeadas em 17/10/2012, utilizando a mesma semeadora-adubadora já descrita, sem qualquer adubação e no espaçamento de 0,17 m entre linhas.

Foram utilizados 25 kg ha⁻¹ de sementes de milho cultivar ADR-300, 30 kg ha⁻¹ de sementes de crotalaria juncea cultivar IAC-KR1 e 15 kg ha⁻¹ de sementes de sorgo forrageiro cultivar Silotec-20. Em 03/12/2011, por ocasião do florescimento, as plantas foram manejadas quimicamente com aplicação de Glyphosate.

5.2.2.4 Cultura da soja na safra 2012/2013

A cultivar de soja Monsoy M7211 RR foi semeada em 05/12/2012 por meio da semeadora já descrita no item 5.3.2.1, com espaçamento entre linhas de 0,45 m, com população de 445 mil sementes ha⁻¹. As sementes foram tratadas com fungicida Carboxin + Thiran, inseticida Thiamethoxam e inoculante *Bradyrhizobium* sp. Utilizou-se a adubação de 250 kg ha⁻¹ do formulado 0-20-20.

Por meio da aplicação do herbicida Glyphosate em 09/01/2013 fez-se o controle das plantas daninhas. Enquanto que os controles de pragas e doenças foram realizados em 06/02/2013 como inseticida Lambda-cialotrina+Thiamethoxam juntamente com o fungicida Pyraclostrobin+Epoxiconazol; em 25/02/2013 com o inseticida Metomil e fungicida Pyraclostrobin+Epoxiconazol; em 01/03/2013 por meio dos inseticidas Lambda-cialotrina+Thiamethoxam + Clorantraniliprole e o fungicida Pyraclostrobin + Epoxiconazol; e em 09/04/2013 com inseticida Lambda-cialotrina+Thiamethoxam. Junto à quarta aplicação, também foi aplicado o herbicida dessecante Paraquat.

A colheita foi realizada em 16/04/2013 por meio da colhedora de parcelas, em 6 linhas de 4 m cada na área útil de cada parcela, totalizando 10,8 m². As amostras foram pesadas e a produtividade foi calculada em kg ha⁻¹, após correção da umidade para 13%.

5.2.3 Coleta de amostras de solo

Para a determinação dos teores de N e C, os quais foram utilizados também para a determinação do estoque de C e N do solo, foram procedidas amostragens de solo após a colheita da soja da primeira safra, em 16/04/2012. Foram coletadas 3 subamostras por subparcela nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 cm, sendo determinados os teores de N-total e C orgânico total, por meio de analisador elementar automático (Modelo TruSpec™ CHNS, da LECO®) (SWIFT, 1996), sendo que parte das amostras foram utilizadas para caracterização física e química do solo, conforme tabela 1.

Tabela 1. Caracterização química e física do solo (Latossolo), no experimento I.

Profundidade (cm)	pH	P mg dm ⁻³	Al troc H+Al Ca Mg K					Areia Argila Silte		
			-----mmol _c dm ⁻³ -----					-----g kg ⁻¹ -----		
0-10	5,2	14,7	0,6	26,8	56,6	24,0	1,0	501	405	95
10-20	4,7	11,8	2,3	40,1	34,5	16,1	0,7	475	455	71
20-40	4,1	6,8	8,1	62,3	19,6	11	0,5	413	505	82
40-60	3,8	5,6	17	98,7	12,2	7,5	0,4	375	505	120
60-80	3,7	5,8	21,4	123,4	11,7	7,1	0,3	388	510	102

Com a determinação da densidade do solo e das concentrações de C orgânico e N totais será possível calcular o estoque de C e N nas diferentes camadas amostradas e no perfil do solo (Silva et al., 2004; Machado, 2005; Janzen, 2005).

5.2.4 Coleta de amostras indeformadas

Foi realizada a coleta das amostras indeformadas em 21/12/2011, para determinar as características físicas do solo como densidade, macro, micro e porosidade total, pelo método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997). Foram abertas trincheiras com dimensões aproximadas de 40 cm de largura, 50 cm de comprimento e 80 cm de profundidade. As amostragens foram realizadas no centro das camadas de 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 cm, utilizando um suporte de aço para anel volumétrico, denominado “castelinho”, que, com o auxílio de marreta de 1 kg, introduziu os anéis volumétricos de 5 cm de altura por 4,8 cm de diâmetro no solo. Após a coleta das amostras, ainda no campo, foi retirado o excesso de solo dos bordos dos anéis com o auxílio de um estilete. Posteriormente, os anéis volumétricos foram vedados com tampas plásticas para evitar possíveis danos e deformações, e armazenados em refrigerador a 2 °C, até serem processados.

5.2.4.1 Propriedades físicas do solo

As amostras indeformadas foram colocadas para saturar em bandejas plásticas com cerca de 2/3 da altura dos anéis. Para evitar a perda de solo, o bordo inferior do anel foi envolvido com tecido de poliéster e atilho de borracha, permitindo somente a passagem da água. Após 48 horas de imersão das amostras, obteve-se a massa saturada das amostras, e em seguida, por meio de mesa de tensão adaptada de Kiehl (1979), iniciou-se a drenagem das amostras na tensão de 0,006 MPa, obtendo a massa úmida das amostras em equilíbrio nessa tensão, para em seguida serem colocadas para secar a 105° C por 48 horas em estufa de aeração forçada para obtenção de massa de solo seco.

Obteve-se a D_s como quociente da massa das amostras secas a 105° C e o volume do anel volumétrico (BLAKE e HARTGE, 1986). Considerando que a tensão de drenagem de 0,006 MPa é necessária para retirar a água situada nos macroporos, foi possível determinar o volume de microporos de acordo com procedimentos descritos em Embrapa (1997). Com a diferença entre a massa das amostras saturadas com água e secas a 105 °C, e com volume conhecido das amostras, calculou-se a P_t (EMBRAPA, 1997). Sendo assim, a macroporosidade foi obtida pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade.

5.2.5 Coleta de Gases do efeito estufa

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 gasosas. Na figura 2 consta um esquema da câmara de coleta dos gases.

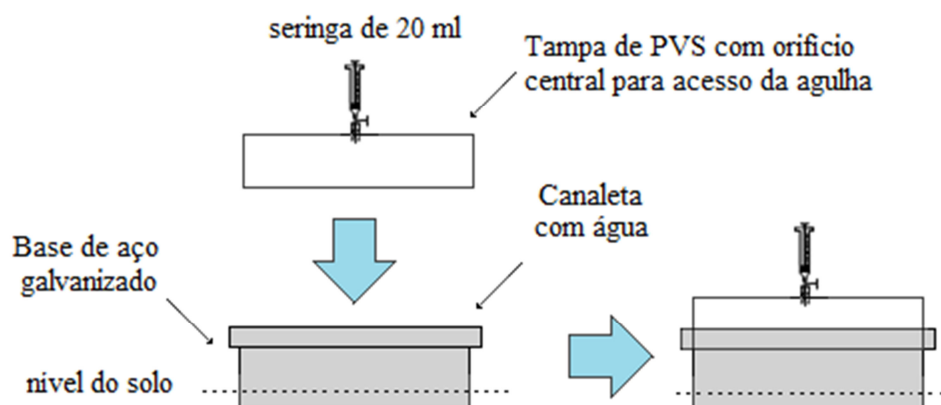


Figura 2. Esquema de montagem das câmaras estáticas para coleta das amostras de gases do efeito estufa.

Os períodos de incubação das amostras após o fechamento das câmaras foram de 0, 5, 10 e 20 minutos para a safra de outono/inverno, enquanto que nas safras das culturas de primavera e de verão foram utilizados os períodos de incubação de 0, 10, 20 e 40 minutos. Para a coleta, o embolo da seringa de 20 ml foi acionado três vezes, a torneira de 3 vias foi fechada e a amostra encaminhada para o laboratório. Na safra de outono/inverno, as amostras foram transferidas para os frascos de penicilina de 20 ml (Figura 3). Previamente aos dias de coleta, os frascos foram submetidos ao vácuo, e o septo foi envolvido com para-filme. Após a transferência das amostras, os frascos foram armazenados em refrigerador por cerca de 60 dias. Já para as safras de primavera e de verão, as amostras foram mantidas na seringa e analisadas logo após a coleta.



Figura 3. Frascos para armazenamento das amostras de gases

As coletas das amostras foram realizadas sempre no mesmo horário, no período da manhã, entre às 10 e 12 horas. As épocas de amostragens foram

referências em função da data de semeadura das culturas, e levou em consideração os resultados obtidos por La Scala Jr et al. (2009) e Teixeira et al. (2010). Fez-se amostragem com 1, 3, 8, 15, 30 e 60 dias após a semeadura, assim, na safra de outono-inverno de 2012, cuja semeadura das culturas foi feita do dia em 27 de abril, realizou-se as coletas nos dias 28 de abril, 01, 04, 11 e 26 de maio e 25 de junho. Na safra de primavera, semeada no dia 17 de outubro de 2012, realizou-se a última coleta com 50 DAS, em virtude do manejo das plantas de cobertura. Assim, as datas de coletas foram 18, 20 e 25 de outubro, 2 e 16 de novembro e 5 de dezembro. A semeadura da soja foi realizada em 05/12/2012 e as coletas nos dias 06, 08, 12 e 19 de dezembro, 06 de janeiro e 06 de fevereiro, conforme a figura 4.

Em todas as três 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 4. Detalhe das câmaras estáticas de coleta de gases do efeito estufa

5.2.5.1 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 radionuclídeo, emissor puro de partículas β^- (beta negativo). O equipamento é provido de dois detectores: (a): 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, e (b): detector por captura de elétrons (ECD), determina o N_2O . As condições cromatográficas empregadas foram: detector FID a

250°C, e detector ECD a 325°C, Metanador a 350°C, coluna empacotada a 70°C, com gás de arraste N₂, 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 CO₂; 0,69, 2,06, 3,05 e 6965 ppm de CH₄ e 305, 693, 1092 e 1885 ppb de N₂O, 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, ajustou-se regressões lineares e em seguida calculou-se o fluxo de emissão dos gases, utilizando a equação 1, proposta por Jantalia et al. (2008).

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

onde:

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

v 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 m³ e 0,07065 m²; a massa molar dos gases CO₂, CH₄, N₂O são: 44,01; 16,042 e 44,0128 g mol⁻¹, respectivamente. Para o cálculo do volume molar, utilizou-se a equação do gás ideal (Equação 2).

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

onde:

P e V correspondem à pressão e o volume respectivamente;

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

5.2.6 Temperatura e Umidade do solo

Simultaneamente às coletas das amostras de ar, foram monitoradas a temperatura e umidade do solo próximo às câmaras de coleta, na profundidade de 0 a 5 cm, em cada parcela e em cada dia de coleta, por meio do equipamento Procheck Soil

Moisture e sensor 5TM (Decagon Devices), sendo os valores médios apresentados na figura 5.

Este sensor está calibrado para emitir valores de umidade volumétrica ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$). Porém, para o cálculo da porosidade preenchida por água (item 5.2.7) 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°C , estabelecendo dessa forma uma correlação que está apresentada na figura 6.

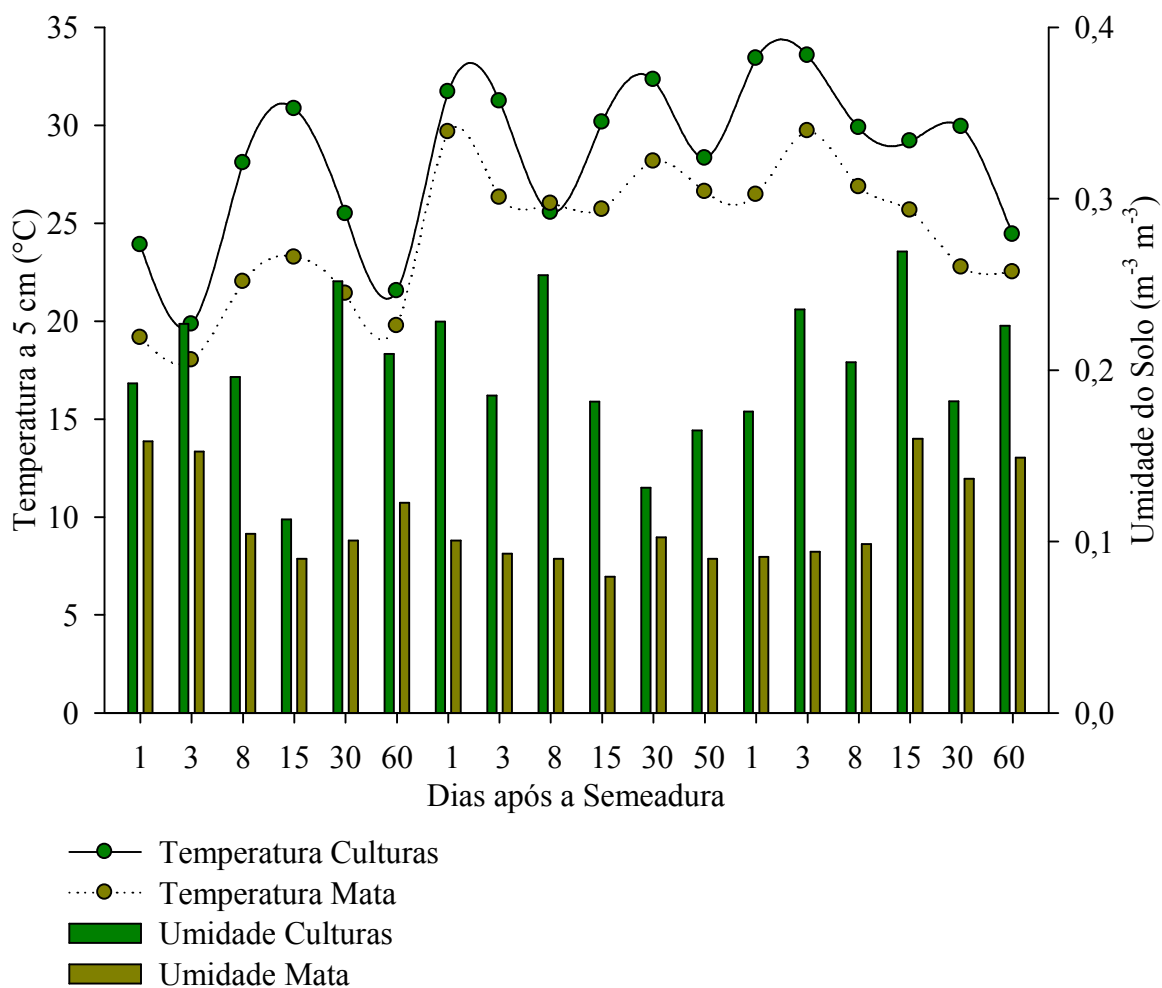


Figura 5. Valores médios para a umidade e temperatura do solo na mata e do experimento I (Latosolo).

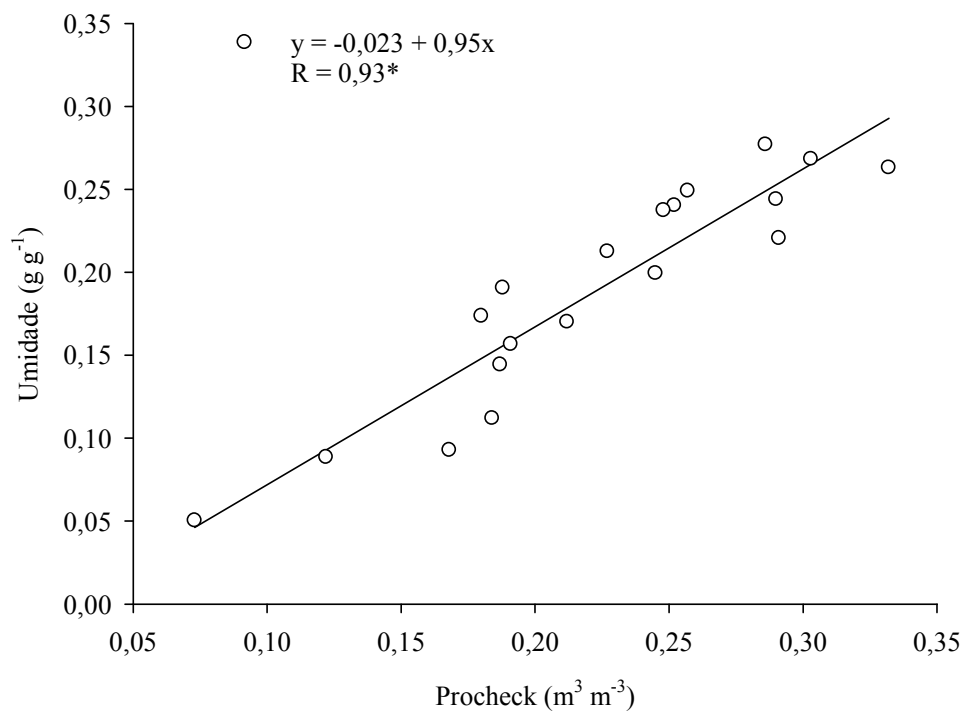


Figura 6. Relação entre umidade volumétrica e a gravimétrica g g^{-1} das amostras. * significativo ao nível de 5% de probabilidade.

5.2.7 Porosidade do solo preenchida pela Água (PPA)

Foi determinada a porosidade do solo preenchida pela água (PPA%), para cada tratamento nos períodos de coleta a partir dos dados de umidade gravimétrica (U_g), juntamente com os valores de densidade do solo (D_s) e porosidade total, por meio da equação:

$$\text{PPA (\%)} = \frac{(U_g \times D_s)}{P_t}$$

Onde:

U_g = Umidade gravimétrica (g g^{-1})

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

P_t = Porosidade total ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)

5.2.8 Coleta da palha das plantas

Por ocasião do início das épocas de coleta de gases de efeito estufa fez-se amostragem da palhada sobre o solo em função do manejo das plantas de cobertura ou colheita das espécies graníferas. Assim, foram coletadas amostras de palha após o cultivo da soja da safra 2011/2012, em 20/04/2012, do cultivo de outono-inverno de 2012, em 04/10/2012, e do cultivo das plantas de primavera, em 04/12/2012. As coletas foram realizadas por meio um quadro de amostragem de dimensões 0,5 m x 0,5 m, sendo posteriormente acondicionadas em sacos de papel, e secas em estufa de aeração forçada a 60° C até massa constante. Procedeu-se a mensuração da massa de matéria seca. Posteriormente, as amostras foram moídas em moinhos elétricos tipo “Willey” com 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 obtidos a partir de então conforme a massa de palha, o acúmulo de N e C na palha e a relação C e N.

5.2.9 Caracterização bioquímica das espécies

Muitas vezes as características químicas entre espécies podem ser semelhantes, diferenciando somente quanto à composição bioquímica, que influencia a taxa de decomposição e liberação principalmente de N de resíduos culturais, que podem influenciar as emissões dos GEE. Desta forma, foi realizada a caracterização bioquímica das espécies em fase de pré-florescimento para as plantas de primavera e na época do manejo para as culturas graníferas de outono-inverno (Tabela 2), por meio de procedimentos descritos por Silva e Queiroz (2002).

Tabela 2. Caracterização bioquímica das espécies nos sistemas de sucessões de culturas

Cultura	Hemicelulose	Celulose %	Lignina
Crotalária	11,9	33,8	14,9
Palhada de Soja	12,0	44,6	30,4
Braquiária ruzizensis	27,5	24,0	10,1
Milheto	32,5	28,4	4,7
Sorgo Forrageiro	34,7	35,4	5,4
Sorgo Granífero	35,9	34,7	7,1
Triticale	20,0	49,2	17,3
Girassol	9,9	48,0	21,1

5.2.10 Produtividade de grãos da Soja

A produtividade de grãos foi determinada colhendo-se as plantas da área útil de cada parcela, corrigida para 13 % de umidade, e os resultados expressos em kg ha⁻¹.

5.3 Experimento II

5.3.1 Histórico da área e sucessões de culturas

A área foi conduzida em SSD entre os anos de 1997 e 2002 com a rotação soja/aveia-preta/milho/triticale. A partir de 2003 iniciou-se um experimento com diferentes rotações de culturas envolvendo plantas de cobertura até então. O triticale (*X Triticosecale* Wittmack) e o girassol (*Helianthus annuus* L.) são cultivados no outono-inverno. Após a colheita da safra de outono-inverno e com início das primeiras chuvas de primavera são cultivadas as espécies de cobertura milheto (*Pennisetum glaucum* L.), sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) e crotalária juncea (*Crotalaria juncea* L.), para produção de palhada, antecedendo a soja no verão (*Glycine max* L. (Merril)). Há também um tratamento que envolve o pousio na primavera, ou seja, com ausência do cultivo de plantas de cobertura, no qual foi realizada escarificação em outubro de 2003 e 2009.

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com parcelas subdivididas, com quatro repetições. Foram consideradas parcelas aquelas cultivadas com o girassol e o triticale, e nas subparcelas foram cultivadas o milheto, a crotalária e sorgo forrageiro, além do pousio escarificado.

5.3.2 Condução da área

5.3.2.1 Cultura da soja na safra 2011/2012

A cultivar de soja Dow Agrosiences 5D688 RR, de ciclo semiprecoce, foi semeada em 12/12/2011, por meio da semeadora - adubadora Semeato[®] (Personale-Drill) de fluxo contínuo sob espaçamento de 0,45 m, com população de semeadura de 355 mil sementes ha⁻¹. As sementes foram tratadas com fungicida Carboxin+Thiran e inoculante *Bradyrhizobium* sp. A adubação de semeadura foi realizada com 50 kg ha⁻¹ de K₂O e 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅, na forma de cloreto de potássio e superfosfato triplo, respectivamente.

Foi realizado o controle de plantas daninhas por meio do herbicida Glyphosate em 12/01/2012, e na mesma data foi procedida a aplicação do inseticida Lufenuron, assim como em 08/02/2012, 29/02/2012 e 28/03/2012 por meio dos inseticidas Tiamexotam, Metamidofós e Acefato, respectivamente. Por ocasião das aplicações de inseticidas, aplicou-se os fungicidas: Pyraclostrobin + Epoxiconazol, Azoxystrobin + Cyproconazol e Pyraclostrobin + Epoxiconazol.

Por meio de 6 sub amostragens de 1 m de comprimento, perfazendo uma área de 2,7 m², realizou-se a colheita manual da cultura da soja no dia 13/04/2012. As amostras foram trilhadas mecanicamente. O restante da área experimental foi colhida com colhedora automotriz.

5.3.2.2 Culturas de outono-inverno de 2012

O triticale (IPR 111) e o girassol (Catissol) foram semeados em 25/04/2012, nos espaçamentos 0,17 e 0,51 m, respectivamente, por meio da semeadora descrita no item 5.3.2.1, porém, sem a utilização de qualquer fertilizante, utilizando para o triticale 165 kg ha⁻¹ de sementes e para o girassol 22 kg ha⁻¹. A colheita foi realizada em setembro por meio de colhedora automotriz.

5.3.2.3 Culturas de primavera de 2012

Foram semeadas as culturas de milheto, sorgo forrageiro e crotalária júncea no dia 17/10/2012, sem a aplicação de fertilizantes. Foi utilizada a mesma semeadora já descrita com o espaçamento entre linhas de 0,17 m.

5.3.2.4 Cultura da soja 2012/2013

A cultivar de soja Monsoy M7211 RR, foi semeada em 05/12/2012 por meio da semeadora já descrita no item 5.3.2.1, com espaçamento entre linhas de 0,45 m, com população de 445 mil sementes ha⁻¹. As sementes foram tratadas com fungicida Carboxin + Thiran, inseticida Thiamethoxam e inoculante *Bradyrhizobium* sp. Realizou-se a adubação com 250 kg ha⁻¹ do formulado 0-20-20.

Por meio da aplicação do herbicida Glyphosate em 09/01/2013 fez-se o controle das plantas daninhas. Enquanto que o controle de pragas e insetos foram realizados em 06/02/2013, sendo utilizados os inseticidas Lambda-cialotrina+Thiamethoxam juntamente com o fungicida Pyraclostrobin+Epoxiconazol; em

25/02/2013 fez-se a aplicação do inseticida Metomil e do fungicida Pyraclostrobin+Epoxiconazol; em 01/03/2013 aplicou-se os inseticidas Lambda-cialotrina+Thiamethoxam + Clorantraniliprole + fungicida Pyraclostrobin + Epoxiconazol e em 09/04/2013 o inseticida Lambda-cialotrina+Thiamethoxam. Junto à quarta aplicação, também foi aplicado o herbicida dessecante Paraquat.

A colheita foi realizada em 16/04/2013 por meio da colhedora de parcelas, em 6 linhas de 4 m cada na área útil de cada parcela, totalizando 10,8 m², e o restante foi colhido com colhedora automotriz.

5.3.2.5 Coleta de amostras de solo

As coletas das amostras de solo foram procedidas da mesma forma como descritas no item 5.2.3. Parte das amostras foram utilizadas para caracterização física (EMBRAPA, 1997) e química do solo (RAIJ et al. 2001), e os valores médios estão apresentados na tabela 3.

Tabela 3. Caracterização química e física do solo (Nitossolo), no experimento II.

Profundi- dade (cm)	pH CaCl ₂	P mg dm ⁻³	mmol _c dm ⁻³					---g kg ⁻¹ ---		
			Al troc	H+Al	Ca	Mg	K	Areia	Argila	Silte
0-10	4,9	32,9	1,7	54,2	70,7	34	3,2	108	655	238
10-20	4,4	12,4	6,7	74,9	32,2	12,1	1,3	100	655	245
20-40	4,2	20,5	8,7	92,6	31,1	14,3	2,2	84	705	211
40-60	4,3	10,5	12,4	101,6	35,4	11,5	0,7	66	730	204
60-80	4,1	10,2	21,6	148,9	29,8	8,4	0,4	75	730	195

As demais avaliações, como coleta de amostras indeformadas, propriedades físicas do solo, coleta da palha das plantas, coleta de gases do efeito estufa, determinação das amostras de gases do efeito estufa, temperatura e umidade do solo, porosidade preenchida pela água, produtividade da soja, foram realizadas conforme já descritos nos itens anteriores, referentes ao experimento I. Porém, as coletas de gases no experimento II foram feitas sempre entre 8 e 10 horas do período da manhã.

As temperaturas e umidades do solo (Nitossolo) foram monitoradas em cada parcela nos dias de coleta por meio do equipamento Procheck e sensor 5TM adjacente à base, e os valores médios estão apresentados na figura 7.

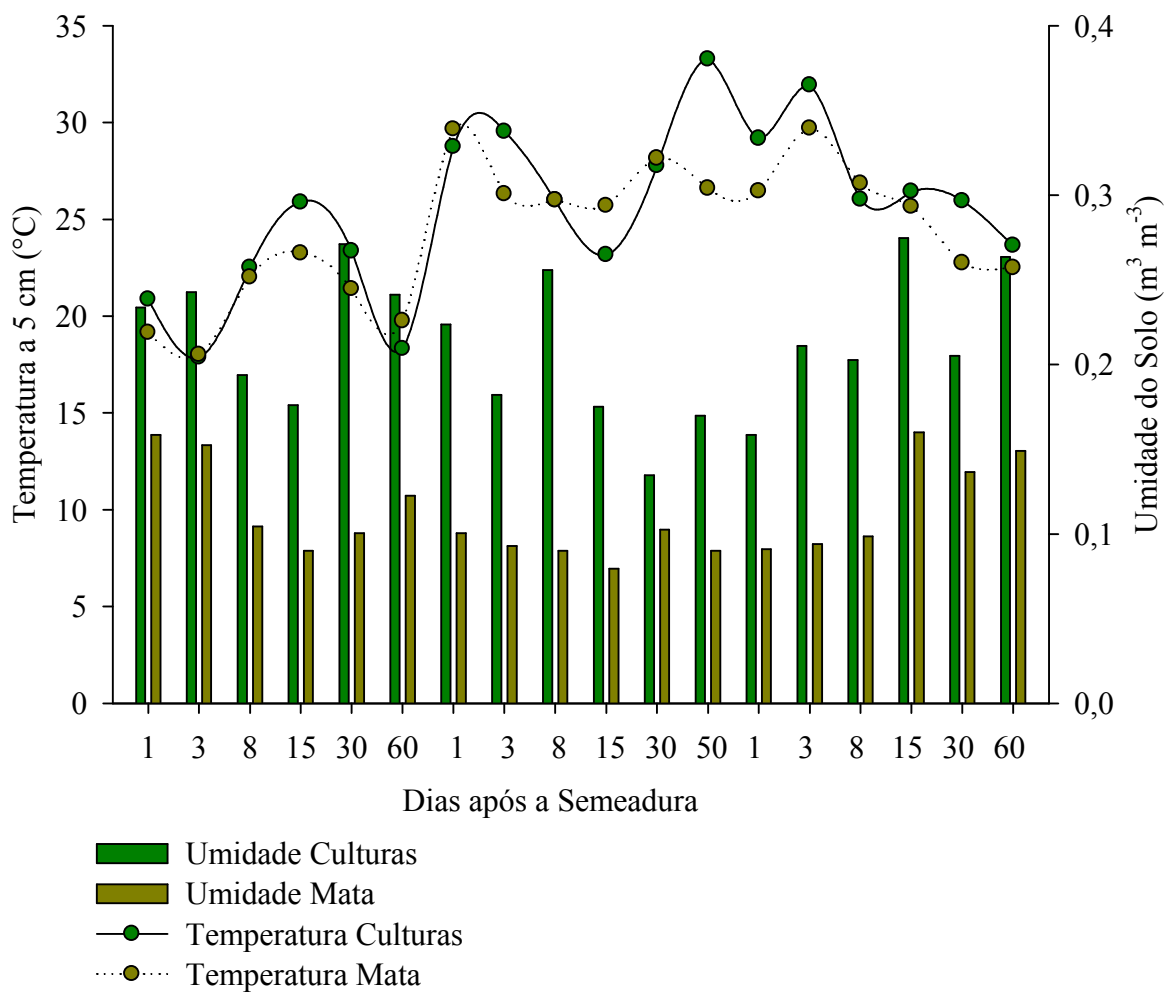


Figura 7. Valores médios para a umidade e temperatura do solo na mata e do experimento II (Nitossolo).

5.4 Estudo estatístico

Para comparação entre os tratamentos foi realizada análise de variância e as médias foram comparadas estatisticamente pelo teste t, no nível de 5 % de probabilidade de erro.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Experimento I

6.1.1 Características físicas do solo

Os valores de F e os resultados referentes à densidade e porosidade do solo, das amostras coletadas em cinco profundidades no perfil do solo, antes do cultivo da soja no primeiro ano de cultivo, são apresentados nas tabelas 4 e 5, respectivamente. Estas características são importantes pois permitem inferir sobre a capacidade de retenção de água pelo solo por meio dos valores de microporosidade, enquanto que a macroporosidade é responsável pela capacidade de infiltração e aeração do solo, e a porosidade total corresponde ao equilíbrio entre as características para que o desenvolvimento radicular não seja limitado (ABID & LAL, 2008). Com exceção da camada de 10-20 cm, não houve efeito significativo das plantas de outono-inverno e de primavera nas características analisadas.

Os valores de macroporos foram muito baixos em comparação os solos sem restrição física, ou seja, com 1/3 de macroporos e 2/3 de microporos, segundo Kiehl (1979). Entretanto, os valores médios de macroporos foram superiores ao limite crítico de $0,1 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para manter a aeração do solo e o desenvolvimento das plantas anuais (Granble & Siemer 1968), com exceção à camada de 10-20, na qual observou-se média de

0,09 m³ m⁻³. Nesta profundidade, observou-se interação significativa entre o cultivo de outono-inverno e o manejo de primavera tanto para a macro como microporosidade.

Tabela 4. Valores de F para a macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo (Latossolo), nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40, 40-60 e 60-80 cm, no experimento I.

Cultivo	Porosidade			Densidade
	Total	Micro	Macro	
0-10 cm				
F Outono/Inverno	0,32	0,31	0,67	0,15
F Primavera	2,43	0,19	0,93	2,60
F Out/Inv x Prim	1,27	0,81	0,91	2,08
CV Outono/Inverno (%)	16,34	14,79	12,51	32,22
CV Primavera (%)	7,40	8,98	6,64	33,03
10-20 cm				
F Outono/Inverno	1,32	0,24	0,94	1,59
F Primavera	0,79	2,50	1,43	0,31
F Out/Inv x Prim	0,39	4,27*	3,73*	0,27
CV Outono/Inverno (%)	16,34	19,07	27,85	7,47
CV Primavera (%)	7,40	10,52	29,23	5,28
20-40 cm				
F Outono/Inverno	0,28	0,69	0,6	0,14
F Primavera	0,73	0,45	2,00	0,72
F Out/Inv x Prim	1,08	0,41	1,07	1,09
CV Outono/Inverno (%)	5,68	15,63	32,28	3,74
CV Primavera (%)	7,22	9,61	33,52	6,95
40-60 cm				
F Outono/Inverno	2,87	0,13	0,33	2,19
F Primavera	0,87	0,30	1,19	1,33
F Out/Inv x Prim	0,23	1,97	0,60	0,52
CV Outono/Inverno (%)	6,90	14,69	30,10	8,44
CV Primavera (%)	9,50	8,10	29,05	9,18
60-80 cm				
F Outono/Inverno	1,19	0,31	0,46	1,13
F Primavera	1,58	0,34	0,75	1,80
F Out/Inv x Prim	0,73	1,42	0,30	0,145
CV Outono/Inverno (%)	4,33	15,06	28,33	3,91
CV Primavera (%)	9,54	7,70	21,78	7,14

* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

O aumento da porosidade total em profundidade, principalmente da microporosidade, acompanhado pela redução da densidade do solo, pode ser explicado pelo gradiente textural que ocorre no perfil do solo, onde o teor de argila na camada de 0-10 cm é de 405 g kg⁻¹ e na camada de 60-80 cm é de 510 g kg⁻¹. Os valores médios de

densidade do solo foram superiores nas camadas 0-10, 10-20 e 20-40, com 1,53, 1,57 e 1,52 kg dm⁻³ respectivamente, sendo esses valores superiores à 1,40 kg dm⁻³, determinado por Arshad et al (1996) como limite restritivo ao crescimento radicular e aos valores entre 1,35 e 1,40 kg dm⁻³, determinados por Garcia (2010) como crítico para o desenvolvimento das plantas, nos primeiros anos desse mesmo experimento. Valores altos de densidade do solo podem limitar o crescimento radicular, além de influenciar a disponibilidade de nutrientes, pois tanto o processo de fluxo de massa, como de difusão de gases são responsáveis pelo transporte de nutrientes até as raízes (BORGES et al., 1988; NOVAIS & SMITH, 1999).

Tabela 5. Desdobramento dos resultados de microporosidade, macroporosidade e porosidade total do solo, na camada de 10 a 20 cm de profundidade, em função das rotações de culturas no experimento I.

Espécies	Microporosidade			Macroporosidade			Porosidade total		
	------(m ³ m ⁻³)-----								
	Crot. ⁽¹⁾	Mil	Sor	Crot	Mil	Sor	Crot	Mil	Sor
	10-20 cm								
B. Ruziziensis	0,30	0,33 b	0,32	0,08	0,07 a	0,10	0,39	0,41	0,43
Sorgo granífero	0,3AB	0,25aA	0,37B	0,11AB	0,15bB	0,07A	0,40	0,40	0,43
Brachiaria e Sorgo	0,30	0,31 ab	0,30	0,07	0,08 a	0,07	0,38	0,39	0,37

*Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, diferem entre si pelos teste t (DMS), a 5% de probabilidade, respectivamente.. ⁽¹⁾Crot=crotalária juncea; Mil=milheto; Sor=sorgo forrageiro.

A interação entre as plantas de outono-inverno e o manejo de primavera foi significativa na camada de 10-20, tendo o sorgo forrageiro proporcionado a maior microporosidade e menor macroporosidade dentre as plantas de primavera, quando a cultura antecessora foi a de sorgo granífero, apesar do volume total de poros não ter sido influenciado. O sorgo forrageiro também proporcionou altos valores de densidade do solo na camada superficial de 0-10, com valor de 1,61 kg dm⁻³, porém, em sucessão ao consórcio entre Brachiária e sorgo granífero. Já o cultivo de crotalária em sucessão ao consórcio proporcionou o menor valor de Ds nessa camada, ou seja, de 1,33 kg dm⁻³. Corroborando resultados obtidos em Selviria (MS), conduzido em Latossolo Vermelho distroférico sob SSD, onde observou-se que o sorgo forrageiro proporcionou alta Ds e reduzida macroporosidade (Basso et al., 2011).

6.1.2 Aportes de matéria seca, carbono e nitrogênio pelas plantas

6.1.2.1 Soja (safra 2011/2012)

Os valores de F para a massa de palha, teores e quantidades de C e N adicionados ao solo pela soja, safra 2011/2012, estão apresentados na tabela 6. Observou-se que a massa de palha da soja não se diferenciou em função das sucessões de culturas, assim como os teores e acúmulos de C. Diferentemente, observou-se que os teores e acúmulo de N, foram influenciados pelas culturas de primavera e de outono-inverno, e a relação C/N da palhada sofreu influência do cultivo de primavera.

Tabela 6. Valores de F para os resultados de aporte de palha, C e N e relação C/N dos resíduos de soja, safra 2011/2012, depositados sobre o solo, em função das rotações de culturas no experimento I.

FV	Palha	Teor de N	Acum N	Teor de C	Acum de C	C/N
F Outono/Inverno	2,85	0,95	8,01*	6,51	2,86	2,09
F Primavera	1,42	7,28*	4,45*	0,29	0,88	5,78*
F Out/Inv x Prim	1,99	0,77	1,33	0,57	1,76	0,79
CV Outono/Inverno (%)	22,7	19,49	18,25	2,36	31,87	18,7
CV Primavera (%)	16,23	22,73	22,46	9,06	18,08	26,34

* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Embora não tenha observado interação significativa entre os fatores avaliados, o teste de médias (teste t a 5% de probabilidade) indicou efeitos diferenciados na quantidade e qualidade de palhada de soja em função das combinações de espécies de outono-inverno e primavera, e os resultados estão apresentados na tabela 7.

A cultura da Braquiária em sistema solteiro propiciou as maiores médias de massa de palhada entre as culturas de outono-inverno, de 3,83 Mg ha⁻¹, enquanto que o sorgo granífero em sistema solteiro e consorciado com a brachiaria resultou nas massas médias de 3,35 e 2,63 Mg ha⁻¹, respectivamente. Porém, sob o cultivo do sorgo forrageiro como planta de primavera, o sorgo granífero destacou-se com a maior massa de palha (3,68 Mg ha⁻¹), embora não distinto da brachiária.

Além da quantidade de palhada, a persistência do resíduo como cobertura do solo, é outro fator muito importante no sistema de semeadura direta, que está diretamente relacionado com os teores de C e N e suas relações na composição dos tecidos. Em relação aos teores de N na palha, dentre as plantas de primavera, observou-se que a crotalária proporcionou os maiores valores quando as culturas antecessoras foram o sorgo

granífero e o consórcio de sorgo e braquiária, sendo os teores cerca de 36 e 35% superiores em relação à cultura do milho, sob estes cultivos de inverno, respectivamente.

Tabela 7. Quantidade e qualidade da palha da soja, safra 2011/2012, em função das rotações de culturas no experimento I.

Cultivo	Milheto	Sorgo Forrageiro	Crotalária
	Palhada (Mg ha ⁻¹)		
B. ruziziensis	4,04	3,35 ab	4,09
Sorgo granífero	3,18	3,68 b	3,18
B. ruziziensis + Sorgo	2,70	2,09 a	3,10
	Teor de N na palha (g kg ⁻¹)		
B. ruziziensis	6,09	8,61	8,67
Sorgo granífero	5,22 A	7,71 AB	8,25 B
B. ruziziensis + Sorgo	6,60 A	7,04 A	10,28 B
	Quantidade de N na palha (kg ha ⁻¹)		
B. ruziziensis	24,8	28,3 b	35,8
Sorgo granífero	16,5 A	28,9 bB	25,6 AB
B. ruziziensis + Sorgo	17,9 A	14,4 aA	31,6 B
	Teor de C na palha (g kg ⁻¹)		
B. ruziziensis	431	401	417
Sorgo granífero	435	435	430
B. ruziziensis + Sorgo	422	447	403
	Quantidade de C na palha (Mg ha ⁻¹)		
B. ruziziensis	1,73 b	1,33 ab	1,69
Sorgo granífero	1,37 ab	1,61 b	1,38
B. ruziziensis + Sorgo	1,12 a	0,94 a	1,68
	Relação C/N		
B. ruziziensis	72,66	49,83	48,26
Sorgo granífero	83,5 B	57,63 A	57,33 A
B. ruziziensis + Sorgo	64,00	65,00	40,30

*Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, diferem entre si pelos teste t (DMS), a 5% de probabilidade.

Os resultados dos valores acumulados de N foram recorrentes, tendo a crotalária proporcionado 31,6 kg ha⁻¹, quando o cultivo antecessor foi o consórcio de braquiária e sorgo, enquanto que o sorgo forrageiro e o milho praticamente acumularam metade de N, com 14,4 e 17,9 kg ha⁻¹, respectivamente. Conforme Silva et al. (2006a), em experimento conduzido em Selvíria – MS, sob SSD em Latossolo Vermelho, observou-se que o cultivo do milho, em sucessão à crotalária, proporciona maior produtividade de grãos, quantidade de N na planta proveniente do fertilizante, absorção e recuperação do N em relação ao pousio e ao milho. Os autores verificaram quantidades

similares de N tendo a crotalária proporcionado um equivalente à aplicação de 56 e 73 kg ha⁻¹ de uréia comparado ao sistema em pousio e em sucessão ao milho respectivamente (Silva, et al., 2006b).

No entanto, quando o cultivo de outono-inverno foi o sorgo granífero, o sorgo forrageiro resultou no acúmulo de 28,9 kg ha⁻¹, enquanto que a crotalária 25,6 kg ha⁻¹ e o milho 16,5 kg ha⁻¹ de N. Em experimento conduzido em Votuporanga – SP, sob Argissolo Vermelho, visando analisar o desenvolvimento do milho, sorgo e milho cultivados em sistema exclusivo e com Brachiaria, observou-se que o cultivo consorciado aumentou em 19% a palha de cobertura do solo (CABEZAS, 2011). Conforme o autor, o manejo em consórcio com a Brachiaria aumenta efetivamente a cobertura de solo, importante para regiões com outono/inverno seco. Isto pode ser explicado pelo fato desta gramínea aumentar a disponibilidade de N-NH₄⁺ no ambiente radicular, podendo ser uma estratégia para a melhoria na recuperação de N pela cultura consorciada (CASTOLDI, 2011).

Apesar do teor de C não ter se diferenciado entre as espécies, os valores acumulados de C foram superiores quando cultivou-se no outono-inverno a braquiária e o sorgo granífero, embora sob o cultivo da crotalária não foram observadas diferenças entre as espécies de outono-inverno. Sob o cultivo do sorgo granífero como cultivo de outono-inverno, observou-se maior relação C:N por meio do cultivo do milho (83,5), diferente do sorgo forrageiro e crotalária, ambas com relação média de 57. No entanto, sob o consórcio, apesar da crotalária ter proporcionado a menor relação de C/N (40,3), não foi distinta do milho e do sorgo forrageiro, com médias 64 e 65. O mesmo aconteceu sob o cultivo da brachiaria no outono inverno, tendo o milho propiciado relação de 72, não diferente do sorgo e crotalária com relações de 49 e 48, respectivamente.

6.1.2.2 Culturas de Outono-Inverno

Os valores de F após o cultivo das plantas de outono-inverno são apresentados na tabela 8. Pode-se observar que as culturas de outono-inverno proporcionaram efeitos significativos em todas as variáveis analisadas, exceto no teor de C, embora tenha-se verificado interação com as plantas de primavera. As culturas de primavera influenciaram na quantidade de palha e nos teores acumulados de C e N.

Tabela 8. Valores de F de aporte de palha, C e N e relação C/N dos resíduos das culturas de outono-inverno depositados sobre o solo, em função das rotações de culturas no experimento I.

FV	Palha	Teor de N	Acum N	Teor de C	Acum C	C/N
F Outono/Inverno	14,52*	959,82*	199,62*	3,98	13,24*	2746,21*
F Primavera	15,54*	0,16	12,07*	1,11	15,35*	0,75
F Out/Inv x Prim	0,21	0,35	1,79	3,78*	0,21	0,98
CV Outono/Inverno (%)	15,43	5,59	13,7	1,59	15,86	4,21
CV Primavera (%)	11,27	7,48	12,86	1,23	11,03	11,45

* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

A menor massa de palha foi observada por meio do cultivo de milho, com média de 2,38 Mg ha⁻¹, enquanto que o sorgo forrageiro e a crotalaria produziram massa média de 3,20 e 2,84 Mg ha⁻¹ (Tabela 9). Dentre as espécies de outono-inverno, as menores produções de palha ocorreram com o cultivo de sorgo granífero e as maiores produções com os cultivos de brachiaria solteira ou em consórcio com o sorgo granífero. Isto significa que a brachiaria, independente do consórcio, proporcionou alta massa de palha, considerando o inverno seco.

Tabela 9. Quantidade e qualidade da palha das culturas de outono-inverno de 2012 em função das rotações de culturas no experimento I.

Cultivo	Crotalaria	Milho	Sorgo Forrageiro
	Palhada (Mg ha ⁻¹)		
B. ruziziensis	3,02 bAB	2,50 bA	3,43 bB
Sorgo granífero	2,14 aAB	1,80 aA	2,64 aB
B. ruziziensis + Sorgo	3,36 bAB	2,83 bA	3,56 bB
	Teor de N na palha (g kg ⁻¹)		
B. ruziziensis	27,95 c	26,88 c	27,33 c
Sorgo granífero	7,10 a	6,70 a	7,43 a
B. ruziziensis + Sorgo	18,29 b	18,72 b	18,18 b
	Quantidade de N na palha (kg ha ⁻¹)		
B. ruziziensis	85,9 cB	67,3 cA	93,8 cB
Sorgo granífero	15,2 a	12,0 a	19,6 a
B. ruziziensis + Sorgo	61,5 bAB	52,9 bA	65,2 bB
	Teor de C na palha (g kg ⁻¹)		
B. ruziziensis	441 aA	457 B	446 A
Sorgo granífero	461 b	456	454
B. ruziziensis + Sorgo	458 b	452	454
	Quantidade de C na palha (Mg ha ⁻¹)		
B. ruziziensis	1,33 bAB	1,14 bA	1,53 bB
Sorgo granífero	0,98 aAB	0,82 aA	1,20 aB
B. ruziziensis + Sorgo	1,54 bAB	1,28 bA	1,62 bB

	Relação C/N		
B. ruziziensis	15,79 a	16,69 a	16,36 a
Sorgo granífero	65,00 c	68,81 c	61,21 c
B. ruziziensis + Sorgo	25,14 b	24,30 b	25,20 b

*Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas para outono/inverno e minúsculas para primavera, diferem entre si pelos teste t (DMS), a 5% de probabilidade.

Estes resultados também foram recorrentes quanto aos teores de N, pois a Brachiaria cultivada em sistema solteiro resultou na média de 27,38 g kg⁻¹ de N na palha, representando cerca de 33% e 75% superiores aos teores observados no consórcio da braquiária com o sorgo e sob o cultivo do sorgo granífero em sistema solteiro, respectivamente. Em relação ao acúmulo de N, os resultados foram similares, porém houve efeito entre as espécies de primavera, se destacando o milho com os menores valores de acúmulo, quando cultivado subsequente à brachiária no outono-inverno em sistema solteiro ou em consórcio. Como consequência dos altos teores de N na palhada da brachiaria, os teores acumulados verificados foram altos, com média de 82,38 kg ha⁻¹, cerca de 27 e 81% superiores aos cultivos do consórcio e do sorgo em sistema solteiro, os quais acumularam cerca de 59,8 e 15,6 kg ha⁻¹, respectivamente. Assim, esses resultados corroboram os observados por Perin et al. (2004), os quais relatam que a crotalaria proporcionou fitomassa cerca de 31% superior ao milho, além do maior acúmulo de N.

Diferentemente, em experimento em Uberaba – MG conduzido em Latossolo Vermelho, observou-se que dentre gramíneas e leguminosas, o milho e a crotalaria foram as plantas de cobertura com maior produção de palha, além do acúmulo de N (TORRES, et al., 2005). Assim como Cazetta et al. (2005), em experimento conduzido em Jaboticabal – SP, sob Latossolo Vermelho, que observaram que o milho resultou na maior produção de palhada e cobertura do solo, reciclando quantidades apreciáveis de nutrientes, destacando-se o nitrogênio. Os autores concluem que o milho, por sua maior capacidade de produção de fitomassa em curto prazo, conseguiu extrair mais N por unidade de área, em comparação à crotalaria. Resultados similares são reportados por Calvo et al. (2010).

Em relação aos teores de C, a cultura do milho resultou nos maiores teores quando a cultura antecessora foi a brachiaria. Enquanto que a crotalaria propiciou o menor valor quando cultivada subsequente a brachiaria, e os maiores teores de C quando cultivada após sorgo granífero em sistema solteiro ou em consórcio com a

brachiaria. No entanto, analisando os acúmulos de C, observa-se que o sorgo granífero teve as menores médias entre as espécies de primavera, com $1,00 \text{ Mg ha}^{-1}$, enquanto que a brachiaria em sistema solteiro e consorciado resultou nos acúmulos de $1,33$ e $1,48 \text{ Mg ha}^{-1}$, respectivamente.

A menor relação entre C:N foi observada por meio do cultivo da braquiária, cerca $16,2$, enquanto que, sob o cultivo do sorgo granífero, a relação foi de 65 , decorrente do baixo teor de N na palha, assim como o maior teor de C. O cultivo consorciado entre a brachiaria e sorgo propiciou valor intermediário, com média de $24,8$. O consórcio entre espécies visa produzir fitomassa com relação C/N intermediária, em relação aos monocultivos, possibilitando melhor sincronia entre a oferta e demanda de N (GIACOMINI et al., 2004).

6.1.2.3 Culturas de Primavera

Os valores de F para a quantidade e qualidade das plantas de primavera 2012 são apresentados na tabela 10. As plantas de outono-inverno influenciaram na quantidade da palhada e no acúmulo de C e N, enquanto que as plantas de primavera proporcionaram efeitos significativos nos teores e acúmulos de N na palha e na relação C:N, sendo esta influenciada também pela interação entre os cultivos, assim como os teores de N.

Tabela 10. Valores de F para o aporte de palha, C e N e relação C/N dos resíduos das culturas de primavera depositados sobre o solo, em função das rotações de culturas no experimento I.

FV	Palha	Teor de N	Acum N	Teor de C	Acum C	C/N
F Outono/Inverno	163,2*	3,38	102,18*	1,90	195,70*	4,78
F Primavera	3,34	80,05*	26,93*	0,99	3,21	89,77*
F Out/Inv x Prim	0,63	4,98*	1,78	1,21	0,35	13,70*
CV Outono/Inverno (%)	5,76	12,84	9,24	2,28	5,18	14,57
CV Primavera (%)	12,32	9,72	20,60	4,13	12,26	7,98

* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Novamente, observou-se que, entre as espécies de outono-inverno, o sorgo granífero proporcionou a menor produção de palha, com média de $4,07 \text{ Mg ha}^{-1}$ (Tabela 11), diferentemente do cultivo da Braquiária em sistema solteiro e consorciado, com $6,74$ e $5,84 \text{ Mg ha}^{-1}$, respectivamente. Da mesma forma como nas safras antecessoras, a menor produção de palha dentre as plantas de primavera o foi com a cultura do milho, quando em sucessão ao consórcio sorgo+brachiaria, pois sob os demais cultivos de outono-

inverno não houve diferença entre as culturas de primavera. Já a crotalária se destacou como espécie com maior produção de palha, principalmente quando em sucessão ao consórcio sorgo+brachiaria. 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, observaram que as maiores fitomassas foram obtidas por meio da crotalária e da brachiaria ruziziensis. Teixeira et al. (2005), observaram baixa produção de massa do milho (2,90 Mg ha⁻¹).

Tabela 11. Quantidade e qualidade da palha das culturas de primavera de 2012 (Latossolo).

Cultivo	Crotalária	Milheto	Sorgo Forrageiro
	Palhada (Mg ha ⁻¹)		
B. ruziziensis	6,90 b	6,43 c	6,89 b
Sorgo granífero	4,42 a	3,87 a	3,91 a
B. ruziziensis + Sorgo	6,54 bB	5,05 bA	5,93 bAB
	Teor de N na palha (g kg ⁻¹)		
B. ruziziensis	20,2 C	11,42 A	16,35 bB
Sorgo granífero	19,3 B	12,01 A	9,90 aA
B. ruziziensis + Sorgo	20,6 B	11,77 A	14,45 bA
	Quantidade de N na palha (Mg ha ⁻¹)		
B. ruziziensis	0,14 bC	0,07 bA	0,11 cB
Sorgo granífero	0,08 aB	0,04 aA	0,03 aA
B. ruziziensis + Sorgo	0,13 bB	0,06 abA	0,08 bA
	Teor de C na palha (g kg ⁻¹)		
B. ruziziensis	436 b	417	432
Sorgo granífero	428 ab	433	439
B. ruziziensis + Sorgo	407 aA	432 AB	434 B
	Quantidade de C na palha (Mg ha ⁻¹)		
B. ruziziensis	3,01 b	2,68 c	2,98 b
Sorgo granífero	1,88 a	1,67 a	1,71 a
B. ruziziensis + Sorgo	2,66 bB	2,18 bA	2,57 bAB
	Relação C/N		
B. ruziziensis	21,63 A	36,38 B	25,82 aA
Sorgo granífero	22,58 A	35,81 B	43,24 bC
B. ruziziensis + Sorgo	20,55 A	35,83 B	29,98 aB

*Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas para outono/inverno e minúsculas para primavera, diferem entre si pelos teste t (DMS), a 5% de probabilidade, respectivamente.

A crotalária proporcionou os maiores teores de N da palha, com média de 20 g kg⁻¹, enquanto que os menores valores foram observados pelo cultivo de milho, cerca de 11,73 g kg⁻¹. O acúmulo de N foi recorrente, tendo o sorgo granífero

propiciado a menor média entre as espécies de outono-inverno, cerca de $0,05 \text{ Mg ha}^{-1}$, e para a braquiária em sistema solteiro e consorciado, as médias foram cerca de 91 e 66% superiores, respectivamente. Dentre as espécies de primavera, o maior acúmulo foi verificado por meio da crotalária. Diferentemente ocorreu para os teores de C, tendo a crotalária proporcionado o maior valor. No entanto, esta cultura superou as demais quanto o valor acumulado de C, em função da alta produção de massa de palha. Dentre as espécies de outono inverno, os menores valores foram observados com o cultivo do sorgo granífero.

Observou-se que as plantas de primavera propiciaram menores relações entre C e N, equiparadas às safras antecessoras. No entanto, os resultados foram similares, sendo a menor relação obtida por meio da crotalária, independente do cultivo de outono-inverno, com média de 20,5, enquanto que para o milho observou-se a maior relação de C:N (36). Quanto ao sorgo forrageiro, a relação foi intensificada por meio de outra gramínea, ou seja, quando o sorgo foi a cultura antecessora (43,2), enquanto que quando o cultivo antecessor foi a braquiária em sistema solteiro e consorciado as relações de C:N foram 25,8 e 29,9, respectivamente.

Na somatória média do aporte de palhada dos três cultivos, da soja 2011/2012, culturas de outono-inverno e primavera, (3,27, 2,81 e $5,55 \text{ Mg ha}^{-1}$), observou-se que as rotações de culturas proporcionaram, em média, $11,62 \text{ Mg ha}^{-1}$ de palhada. Conforme Vieira (2007), o aporte de 9 Mg ha^{-1} , garante a manutenção de C em solos sob SSD. No entanto, solos oxidícos em função da proteção e estabilidade química da ligação organomineral da matéria orgânica, este valor pode ser menor, como reporta Souza et al. (2009). Sendo assim, Ferreira et al. (2012), analisando dois Latossolos no sul do Brasil, observaram valor mínimo de $6,83 \text{ Mg ha}^{-1}$. Portanto, mesmo sob região de inverno seco, as sucessões proporcionaram alto aporte de resíduos vegetais, suficientes para além de manter ou até mesmo incrementar os estoques de C. No presente experimento, o aporte de C anual variou de aproximadamente $4,2 \text{ Mg ha}^{-1}$, para os tratamentos com sorgo granífero, independente da cultura de primavera, até aproximadamente $6,15 \text{ Mg ha}^{-1}$, com o tratamento *Brachiaria ruziziensis* no outono-inverno e crotalária ou sorgo forrageiro na primavera. Já o aporte anual de N variou de aproximadamente 100 kg ha^{-1} , para os tratamentos com sorgo granífero, independente da cultura de primavera, até aproximadamente 250 kg ha^{-1} com o tratamento *Brachiaria ruziziensis* no outono-inverno e crotalária ou sorgo forrageiro na primavera.

6.1.3 Estoque de C e N no solo

Em função da ausência da aplicação de fertilizantes nitrogenados desde a implantação dos tratamentos em 2006, a variação dos estoques de C é simplesmente devido ao aporte de resíduos vegetais dentre as sucessões de culturas e ao saldo de N por meio da fixação biológica das espécies leguminosas. Conforme Souza et al., (2009), o N proveniente da fixação simbiótica é mais eficiente em promover o acúmulo de C no solo do que via fertilizante. O manejo do solo juntamente com a cultura vegetal condicionam o estoque de C do solo (LENKA et al., 2012), em função principalmente das emissões de CO₂ para a atmosfera.

A adição diferenciada de resíduos vegetais ao solo os durante os oito anos de condução do experimento, afetaram os estoques de C no solo, principalmente na camada 0-10, e 10-20 (Tabela 12), inclusive com a interação entre as épocas de cultivo de outono-inverno e primavera. Valores próximos de estoque de C foram observados por Jacinthe & Lal (2005), na profundidade 0-15 cm, com 51,6 Mg C ha⁻¹ sob SSD na sucessão de milho e soja.

Tabela 12. Valore de F e estoque de C no solo (Mg ha⁻¹), nas diferentes camadas avaliadas e na somatória do perfil, na mata e em função das rotações de culturas no experimento I.

Cultivo de primavera ⁽¹⁾	Estoque de C (Mg ha ⁻¹)					
	0-10cm	10-20cm	20-40cm	40-60cm	60-80cm	0-80cm
Crotalária	35,25 b	30,02 ab	47,14 ab	53,73	54,09	220,25 ab
Milheto	36,45 b	28,45 b	45,58 b	52,02	51,06	213,58 b
Sorgo Forrageiro	38,57 a	31,43 a	49,22 a	51,43	54,45	225,12 a
Mata	57,66	38,00	60,80	46,40	53,90	256,90
	Valores de F ⁽²⁾					
F Outono/Inverno	0,76	1,35	0,53	1,29	0,11	0,19
F Primavera	8,88*	3,50*	2,87	0,28	2,11	2,52
F Out/Inv x Prim	6,62*	0,35	0,57	0,16	0,56	0,85
CV Outono/Inverno (%)	12,19	9,62	7,02	5,91	3,17	4,29
CV Primavera (%)	5,33	9,22	7,88	14,72	8,35	5,75

⁽¹⁾ Médias seguidas por letras diferentes na coluna, diferem entre si pelo teste t (LSD) a 5% de probabilidade. ⁽²⁾ * significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Dentre os cultivos, os de primavera foram os que influenciaram o estoques de C no solo, com variações na camada de 0-80 cm de 213,6 Mg ha⁻¹ à 225,12 Mg ha⁻¹. A cultura do sorgo forrageiro proporcionou os maiores estoques, sendo os resultados recorrentes até 40 cm de profundidade, não havenda diferença entre os tratamentos nas camadas de 40-60 e 60-80 cm. Possivelmente isto se deve ao fato da

influência dos resíduos vegetais nas camadas superficiais, sendo praticamente inexistente o efeito em profundidade entre diferentes espécies (PINHEIRO et al., 2010; GALDOS et al., 2009). Enquanto que outras pesquisas reportam o incremento de C abaixo da camada arável (BODDEY et al. 2010), e que a amostragem no perfil do solo tenha ampliado as taxas de sequestro de C (NICOLOSO, 2009). As parcelas onde foram constatados aumento dos estoques de C são as mesmas onde observou-se incremento nos estoques de MOS por Garcia (2010), nos primeiros anos de estudo dessas rotações de culturas, ou seja, entre 2006 e 2008.

Em relação ao estoque de C médio dos cultivos ($219,6 \text{ Mg ha}^{-1}$), pode ser observada uma diferença de $37,2 \text{ Mg ha}^{-1}$ inferior ao estoque de C da mata, ao longo do tempo desde a conversão para este sistema de produção. Inúmeros trabalhos concluem que a conversão da mata nativa em sistemas agrícolas reduzem os estoques de C no solo, devido aos cultivos e aos baixos resíduos aportados ao solo (DIEKOW et al., 2009). Entretanto, quando a substitui-se a mata por sistemas agrícolas em SSD, alguns trabalhos relatam aumento dos estoques de C com esta prática (D'ANDREA et al., 2004; BAYER et al., 2006; CARVALHO et al., 2009). No geral, o acúmulo de C varia regionalmente devido às condições climáticas (CARVALHO et al., 2010), ao tipo de solo (BAYER; MIELNICZUK, 1999), ao manejo aplicado e, principalmente, em função do tempo de implantação do SSD (CARVALHO et al., 2009).

Em relação às demais espécies de primavera, o milho propiciou o menor estoque de C. Em experimento conduzido em Uberaba (MG), em Latossolo Vermelho sob plantio SSD, Pereira et al. (2010), apesar de não observarem efeitos significativos entre o milho, crotalaria e brachiaria como plantas de cobertura de solo em SSD, os valores de estoque de C observados foram próximos ao do presente trabalho. No entanto, em experimento conduzido em Planaltina DF, sob o mesmo tipo de solo, observou-se que o milho foi a cultura de cobertura que mais influenciou os estoques de C e N (NUNES et al. 2011).

Nas rotações de outono/inverno não foram observados efeito das espécies sobre o estoque de C. Porém, ao desdobrar as espécies de primavera dentro das plantas de outono/inverno, observou-se efeito significativo nas camadas de 0-10, 20-40, 60-80 e no acumulado de 0-80 cm (Tabela 13), nos tratamentos com sorgo forrageiro como planta de primavera e Brachiaria+ Sorgo no outono-inverno. Conforme Kluthcouski et al.

(2006), a utilização de *Brachiarias spp* em ILP, seja em consórcio ou sucessão com culturas anuais, minimizam a degradação do solo e resultam no aumento do estoque de C.

Tabela 13. Desdobramento dos resultados de estoque de C no solo, em Mg ha⁻¹, das camadas de 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 0-80 cm, em função das rotações de cultura no experimento I.

	Crotalária	Milheto	Sorgo Forrageiro
	0-10 cm		
B. ruzizensis	38,18 a	37,33	38,67
Sorgo granífero	36,27 a	34,96	36,99
B. ruzizensis + Sorgo	31,33 bA	37,05 B	40,07 B
	10-20cm		
B. ruzizensis	29,88	28,62	30,70
Sorgo granífero	29,92	27,27	30,70
B. ruzizensis + Sorgo	30,26	29,45	33,38
	20-40cm		
B. ruzizensis	47,66	44,26	50,54
Sorgo granífero	47,94	46,81	47,46
B. ruzizensis + Sorgo	45,83 AB	44,26 A	49,65 B
	40-60cm		
B. ruzizensis	52,26	50,29	51,76
Sorgo granífero	53,61	53,66	49,60
B. ruzizensis + Sorgo	55,32	52,12	52,93
	60-80cm		
B. ruzizensis	54,48	51,77	53,44
Sorgo granífero	55,52	50,88	53,66
B. ruzizensis + Sorgo	52,27 AB	50,53 A	56,26 B
	0-80cm		
B. ruzizensis	222,47	213,71	225,12
Sorgo granífero	223,25	213,58	217,93
B. ruzizensis + Sorgo	215,02 A	213,44 A	232,31 B

*Médias seguidas de letras distintas na linha diferem entre si pelos teste t (DMS), a 5% de probabilidade.

Da mesma forma como ocorrera no estoque de C, os estoques de N no solo concentraram-se na superfície, decrescendo em profundidade, havendo efeito significativo dentre os cultivos nas camadas 0-10 e 20-40 cm, influenciando no estoque total, com média de 12,4 Mg ha⁻¹ (Tabela 14). Possivelmente este resultado seja oriundo da deposição de resíduos vegetais na superfície, e por ser uma região de elevada concentração de raízes (COSTA et al., 2009).

Tabela 14. Valore de F e estoque de N no solo (Mg ha^{-1}), nas diferentes camadas avaliadas em função das rotações de culturas no experimento I e na mata.

Cultivo de primavera ⁽¹⁾	Estoque de N (Mg ha^{-1})					
	0-10cm	10-20cm	20-40cm	40-60cm	60-80cm	0-80cm
Crotalária	2,28 a*	1,99	2,92 a	2,58	2,4	12,19 a
Milheto	2,43 b	1,93	2,97 a	2,53	2,26	12,13 a
Sorgo Forrageiro	2,49 b	2,03	3,24 b	2,72	2,38	12,85 b
Mata	3,04	2,45	3,27	2,78	2,67	14,23
	Valores de F ⁽²⁾					
F Outono/Inverno	0,40	1,34	0,30	2,59	0,35	0,67
F Primavera	6,47*	1,16	4,92*	2,01	1,57	5,91*
F Out/Inv x Prim	7,57*	0,58	0,22	1,87	0,39	2,40
CV Outono/Inverno (%)	13,13	14,56	13,31	10,81	11,35	9,47
CV Primavera (%)	6,06	8,62	8,80	9,26	8,68	4,79

⁽¹⁾ Médias seguidas por letras diferentes na coluna, diferem entre si pelo teste t (LSD) a 5% de probabilidade. ⁽²⁾ * significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Em função do estoque de C estar relacionado à disponibilidade de N no sistema solo planta (SOUZA et al., 2009), observou-se que a cultura do Sorgo Forrageiro propiciou os maiores estoques de N e consecutivamente de C, em relação a Crotalária e ao Milheto. Os efeitos proporcionados por meio das plantas de primavera foram distintos nas camadas de 0-10 e 20-40 e 0-80 cm, tendo a cultura do sorgo forrageiro proporcionado o maior estoque de N, com $12,85 \text{ Mg ha}^{-1}$ (Tabela 15).

As plantas de cobertura de outono/inverno não proporcionaram estoques de N distintos entre si. No entanto, no desdobramento entre cultivos de outono-inverno e primavera, observou-se que no tratamento envolvendo o consórcio entre Brachiaria e Sorgo no cultivo de outono-inverno seguido pelo cultivo de sorgo forrageiro influenciaram significativamente os estoques de N no solo nas camadas 0-10, 40-60 e 0-80 cm, totalizando $13,53 \text{ Mg.ha}^{-1}$, superior praticamente a 1 Mg.ha^{-1} em relação aos demais cultivos com Crotalária e Milheto que resultaram no estoque de N de $11,94$ e $12,67 \text{ Mg.ha}^{-1}$, respectivamente. A partir dos resultados, pode-se inferir que dentre as sucessões, o N oriundo do cultivo da soja foi suficiente para atender o balanço positivo de N no solo para o incremento dos estoques de C e N no consórcio invernal e no cultivo de sorgo forrageiro na primavera.

Tabela 15. Desdobramento dos resultados de estoque de N no solo, em Mg ha^{-1} , das camadas de 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80, 0-80 cm, em função das rotações de cultura no experimento I.

Cultivo	Crotalária	Milheto 0-10 cm	Sorgo Forrageiro
B. ruziziensis	2,49 b	2,39	2,49
Sorgo granífero	2,33 ab	2,29	2,41
B. ruziziensis + Sorgo	2,02 aA	2,6 B	2,57 B
10-20 cm			
B. ruziziensis	1,93	1,91	2,00
Sorgo granífero	2,00	1,79	1,95
B. ruziziensis + Sorgo	2,05	2,08	2,15
20-40 cm			
B. ruziziensis	2,86	3,00	3,18
Sorgo granífero	2,95	2,86	3,18
B. ruziziensis + Sorgo	2,96	3,05	3,35
40-60 cm			
B. ruziziensis	2,43	2,39	2,58 a
Sorgo granífero	2,79	2,57	2,59 a
B. ruziziensis + Sorgo	2,53 A	2,63 AB	2,99 bB
60-80 cm			
B. ruziziensis	2,35	2,27	2,27
Sorgo granífero	2,47	2,23	2,42
B. ruziziensis + Sorgo	2,38	2,30	2,46
0-80 cm			
B. ruziziensis	12,07	11,97	12,55
Sorgo granífero	12,55	11,75	12,56
B. ruziziensis + Sorgo	11,94 A	12,67 AB	13,53 B

*Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas para outono/inverno e minúsculas para primavera, diferem entre si pelos teste t (DMS), a 5% de probabilidade.

Observou-se um elevado estoque de C na camada de 0-80 cm no solo da mata, com 250 Mg ha^{-1} , enquanto que no solo sob cultivos agrícolas esse valor em média foi de , aproximadamente, 225 Mg ha^{-1} . Já os estoques de N foram similares entre os solos de mata e de produção agrícola, ou seja, entre 12 e 14 Mg ha^{-1} . Este resultado corrobora os de Coutinho (2010), onde o autor não verificou diferença analisando solos de pastagem, eucalipto e mata nativa em relação aos estoques de N, porém, as maiores emissões de N_2O foram observadas no solo da mata.

6.1.4 Emissão dos gases do efeito estufa (GEE)

As emissões de CO₂, CH₄ e N₂O, em função de cada tratamento e das épocas de amostragens, estão representadas nas figura 8-A, B e C, respectivamente. Para as emissões de CO₂ verificou-se na maioria dos tratamentos que os fluxos foram maiores nas amostragens realizadas 1 dia após a semeadura (DAS), principalmente para os períodos correspondentes às safras de primavera e verão. Isto pode ser explicado pela perturbação do sulco na linha de semeadura, o que propicia maior difusão do CO₂, além da exposição da MOS devido à quebra dos agregados e também pelo aumento da oxigenação do solo, propiciando aumento da oxidação da MOS. Em experimento conduzido sob Latossolo em Cruz Alta- RS, com leitor CO₂ por infravermelho automático, observou-se que o maior pico de emissão de CO₂ ocorreu após a semeadura em SSD (PES, 2009). Conforme o autor, a mínima mobilização no sulco pode ser suficiente para promover o aumento das emissões.

É importante ressaltar outros dois picos de emissões de CO₂, aos 8 e 60 DAS das culturas de primavera e de verão, respectivamente. Essas duas épocas apresentam uma condição em comum que foi a redução da temperatura do solo (Figura 9-B), com a presença de alta umidade do solo (Figura 9-A), o que pode ter propiciado condições ideais para a atividade microbiana. A influência da temperatura e umidade do solo nas emissões de GEE também foram observadas por Omonode et al. (2007) e Campos et al. (2011), e são relacionadas ao aumento da atividade microbiana e respiração radicular (AMOS et al, 2005).

No geral, as emissões de CO₂ no período de outono-inverno foram baixas e uniformes, em relação aos demais períodos. A uniformidade entre os tratamentos pode ser explicada tanto pela presença predominante do mesmo tipo de palha, no caso a soja, em todas as parcelas, como também pelas condições de temperatura e umidade do solo típicas de regiões de outono-inverno seco e com temperaturas amenas, já que as emissões em solo de mata também foram baixas. Siqueira Neto et al. (2011), ao avaliar a emissão de CO₂ em diferentes ocupações do solo em ambiente de Cerrado (pastagem, preparo convencional, SSD e mata nativa), verificaram que a emissão de CO₂ variou devido à sazonalidade climática, com maior emissão no verão em relação inverno. Segundo os autores a umidade do solo foi a variável do solo que mais interferiu no fluxo dos gases. Dentre os fatores que mais condicionam as emissões de CO₂ estão a temperatura do ar e do solo e o teor de umidade do solo, que diferem conforme o manejo do sistema

utilizado (COSTA et al., 2008; CHAVEZ et al., 2008; SIQUEIRA NETO, 2011). Isso é decorrente dos processos de respiração e decomposição estarem relacionados a atividades de microrganismos que são extremamente dependentes da quantidade de água no solo (DAVIDSON & JASSENS, 2006).

No solo, as emissões de CO₂ estão associadas com a decomposição dos resíduos vegetais, com a respiração da microbiota e das raízes, além da oxidação da fração lábil da matéria orgânica do solo (BRONICK e LAL, 2005; REICOSKY et al., 2005), podendo ser potencializada em função do sistema de manejo (SIX et al., 1999). Segundo Lourente et al. (2010), a atividade microbiana na ação oxidativa de C de compostos orgânicos, depende das condições edafo-climáticas e da qualidade e aporte de resíduos orgânicos. Pes (2009) e Chavez et al. (2009), em trabalhos realizados em condições de clima subtropical, nas estações de primavera e outono, respectivamente, observaram que as emissões de CO₂, em área sob SSD, apresentaram relação positiva com a temperatura e umidade do solo. Costa et al. (2008), Escobar (2008) e Chavez (2007), também observaram correlação positiva entre a emissão de CO₂ e a temperatura do solo. Fang e Moncrieff (2001) relatam ter encontrado as maiores emissões de CO₂ próximas à temperatura de 32° C, considerada como temperatura ótima para respiração do solo. No entanto, em outro trabalho realizado por Pes (2009), também em condições de clima subtropical, verificou-se que o fluxo de CO₂ apresentou correlação negativa com a temperatura

Alguns efeitos de tratamentos na emissão de CO₂ podem ser destacados, como a baixa emissão em parcelas com palha de sorgo granífero solteiro em 1 DAS das culturas de primavera, ou seja, sobre as palhas das culturas de outono-inverno, sendo que no tratamento sorgo granífero/milheto essa baixa emissão se prolongou até 15 DAS. Nessa mesma época também ocorreram baixas emissões de N₂O em tratamentos envolvendo o cultivo de sorgo granífero solteiro. Essas baixas emissões podem ser explicadas pelo fato do sorgo granífero ter produzido menor quantidade de palha e, conseqüentemente, ter acumulado menor quantidade de C e N na palha. Além disso, em média, a palha do sorgo granífero foi a que apresentou maior relação C/N em comparação às demais (Tabela 9), sendo que resíduos com baixa relação C/N são mais facilmente decompostos pelos microrganismos do solo do que os resíduos com alta relação (AITA & GIACOMINI, 2007). A baixa produção de palha pelo sorgo granífero solteiro voltou a diferenciar a emissão de CO₂ na primeira coleta após a semeadura da soja, ou seja, sobre a

recém palhada manejada das culturas de primavera, que apresentaram menor produção de matéria seca em sucessão ao sorgo granífero, e conseqüentemente, baixos acúmulos de C e N. A relação entre a quantidade de palha sobre solo e a emissão de GEE também foi verificada em experimento conduzido em Latossolo Vermelho, onde as emissões de CO₂ foram maiores no SSD quando comparado com o cultivo convencional, sendo este efeito atribuído aos maiores estoques de C na camada superficial, aliado a alta presença de resíduos e atividade biológica (MEDEIROS et al., 2011).

Embora as plantas de primavera não tenham proporcionado efeito significativo sobre as emissões de CO₂, é importante observar que os dois maiores picos de fluxos (1500 e 2000 mg m² h⁻¹), foram verificados no cultivo da Brachiaria no outono-inverno seguido do sorgo forrageiro, possivelmente pelo maior estoque de C e N na camada superficial do solo cultivado com essa espécie de cobertura, com 38,5 e 2,49 Mg ha⁻¹, respectivamente (Tabela 12 e 14). Esses maiores estoques de C e N constituem em maior quantidade de substrato para os microorganismos, configurando uma maior emissão de CO₂ para a atmosfera. De forma similar, em áreas conduzidas por 12 e 22 anos nas sucessões de milho/trigo e soja/trigo sob SSD em Tibagi-PR sob Latossolo Vermelho, as maiores emissões foram observadas nas áreas com maior tempo de adoção do manejo (SIQUEIRA NETO et al., 2009). Conforme os pesquisadores, isto pode ser decorrente da maior diversidade e atividade de microorganismos aliados ao teor de MOS.

Para facilitar a diferenciação entre tratamentos quanto à emissão dos GEE, fez-se o somatório de fluxo de gases de todas as épocas de amostragem (18 épocas) para cada tratamento (Tabela 16). A brachiaria cultivada em sistema solteiro, independente da cultura de sucessão, propiciou a maior somatória de emissão de CO₂ e N₂O, decorrente da maior quantidade de N na palha, o que possivelmente acelerou a taxa de mineralização e emissão dos gases para a atmosfera.

Tabela 16. Somatório das emissões de CO₂ e CH₄ (mg m⁻² h⁻¹), e N₂O (μg m² h⁻¹), referente às 18 épocas de coleta, em cada sucessão de cultura do experimento I.

Sucessão de Culturas	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
outono-inverno / primavera	-----Σ mg m ² h ⁻¹ -----		Σ μg m ² h ⁻¹
Brachiaria e Sorgo / Milheto	9989,9	-0,1390	1081,3
Brachiaria e Sorgo / Crotalária	9484,4	-0,2524	1664,6
Brachiaria e Sorgo / Sorgo Forageiro	10434,7	-0,5283	905,3
Sorgo Granífero / Milheto	7303,5	-0,2469	267,6
Sorgo Granífero / Crotalária	7763,4	-0,1598	384,8
Sorgo Granífero / Sorgo Forageiro	7338,0	-0,5146	179,1
Brachiária / Milheto	11584,4	-0,1624	1555,9
Brachiaria / Crotalária	10405,6	-0,1822	2208
Brachiária / Sorgo Forageiro	12714,2	-0,1433	2152,4
Mata	8718,6	0,1204	440,0

Quanto ao fluxo de N₂O, o maior pico de emissão correu na amostragem realizada aos 8 DAS das culturas de primavera, com exceção dos tratamentos com cultivo de sorgo granífero, devido à baixa quantidade palha produzida por essa cultura, como já mencionado anteriormente. Essa alta emissão de N₂O pode ser explicada pela alta umidade do solo constatada por ocasião dessa amostragem, que permite uma maior taxa de mineralização do N, e conseqüentemente maior emissão de N₂O (FIERER e SCHIMEL, 2002; BEARE et al., 2009; FOLLETT et al., 2005; ZHONG, NELSON LEMKE, 2011). Além disso, essa alta umidade promoveu alta PPA, que pode favorecer o processo de desnitrificação, que é o principal fator de emissão gasosas de N. Alguns trabalhos indicam que a desnitrificação é favorecida por PPA acima de 70%, porém nesse experimento as emissões de N₂O foram baixas em função da não utilização de adubação nitrogenada na área desde a sua implantação, tendo a entrada de N somente por meio da fixação biológica de leguminosas, o que proporciona baixa quantidade de N disponível. Além disso, a produção de N₂O é consequência das transformações do N oriunda de processos microbiológicos de nitrificação e desnitrificação, sendo a pronta disponibilidade de N mineral por meio da adubação muito superior equiparado a disponibilidade de N por meio de leguminosas. De forma similar, em estudo em Passo Fundo – RS, não foi observado influencia entre a PPA com o fluxo de N₂O (JANTALIA et al., 2008).

Durante a primavera, principalmente aos 8 DAS, as maiores emissões de N₂O ocorreram com o cultivo solteiro da Brachiaria bem como em consorcio com o sorgo, tendo a crotalária como cultura de cobertura, com picos de emissões de 691,5

e $607,2 \mu\text{g m}^2 \text{h}^{-1}$. Outro pico de emissão de N_2O ocorreu na avaliação aos 8 DAS da soja, com aproximadamente $450 \mu\text{g m}^2 \text{h}^{-1}$, com o tratamento Brachiaria/Crotalária. Esses resultados podem ser explicados pela maior produção de palha por essas sucessões de culturas, aliado à menor relação C/N da brachiaria, aliado ao seu considerável conteúdo de N e à utilização de leguminosa como cultura de primavera. Em estudo tendo como única fonte de nitrogênio o cultivo de leguminosa como planta de cobertura, Gomes (et al., 2009) observaram emissão mais pronunciada de N_2O . Conforme Mussier et al. (2006), as maiores emissões de N_2O no final do ciclo podem ser relacionadas as maiores concentrações de C e N lábeis, produtos da senescência nodular e radicular, liberados para os microorganismos.

Em estudo com consórcio de *Crotalaria paulinea* e espécie arbórea, Baggs et al., (2006) observaram pico de emissão de N_2O aos 24 dias após o manejo da leguminosa, assim como Millar & Baggs (2005), sob cultivo de *Crotalaria grahamiana*. Conforme autores, o aumento da emissão é influenciada pela atividade microbiana e a rápida mineralização de N e substrato para o fluxo de N_2O , e também, devido a pontos de anaerobiose e consecutiva desnitrificação, ocasionada pelo alto consumo de O_2 na decomposição de leguminosas (KHALIL e BAGGS, 2005). Embora a decomposição possa elevar as emissões de N_2O , a capacidade de fixação do N atmosférico reduz a necessidade de fertilizantes nitrogenados, os quais são os principais responsáveis pela emissão do N_2O .

Nas avaliações de N_2O durante os cultivos de primavera e de soja, verificou-se baixas emissões nas épocas de 30 e 60 DAS. Em experimento conduzido em Eldorado do Sul, sob SSD também sem a utilização de fertilizante nitrogenados, observou-se que independente da sucessão de culturas, as maiores emissões foram observadas até o 45º dia após ao manejo das culturas, tendo o pico aos 18 e 25º dias, coincidindo com o alto conteúdo de N nesta época, estoque de C e PPA (GOMES, et al., 2009).

Na comparação com as emissões de GEE pelo solo de mata, observou-se que, mesmo contendo maiores teores e acúmulos de C e N e maior PPA, os solos de mata emitiram tanto ou menos CO_2 e N_2O que em solo agrícola. Isso pode ser explicado pelo fato de ser um solo em que a MO está mais protegida do ataque dos microorganismos e pelo fato da umidade do solo permanecer quase sempre inferior à umidade constatada no solo agrícola. Essa menor umidade do solo pode ser explicada por alguns fatores, como pela interceptação de parte das chuvas e orvalhos pelas copas das árvores e pela espessa camada de folhas (liteira) sobre o solo, além de ser uma solo bem estruturado e não compactado, o que permite a rápida drenagem da água em profundidade.

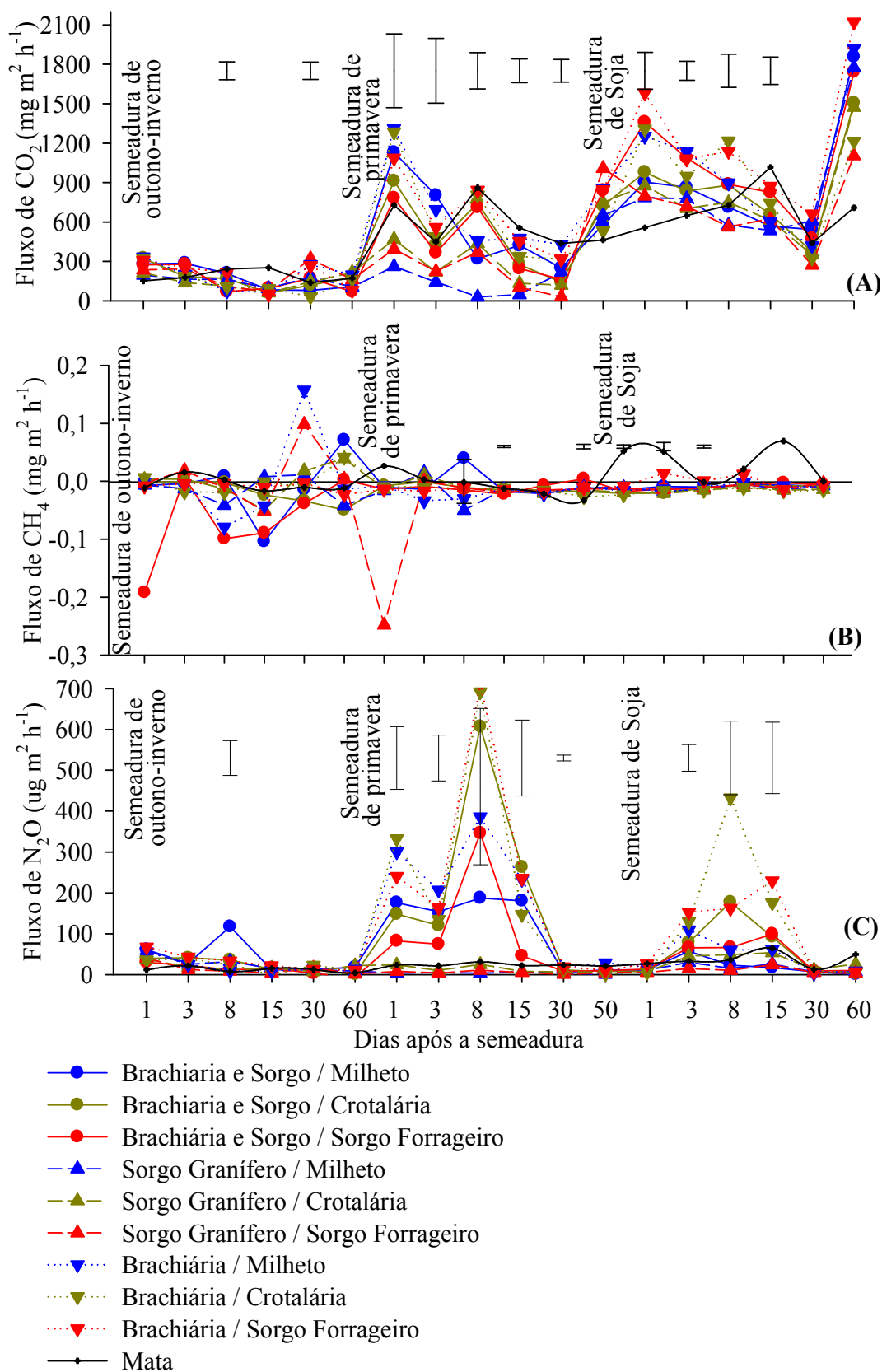


Figura 8. Fluxo de CO_2 (A), CH_4 (B) e N_2O (C), nas sucessões de culturas de outono / inverno conforme as épocas de amostragens no Latossolo (Experimento I). Barras verticais correspondem ao DMS pelo teste t a 5 % de probabilidade.

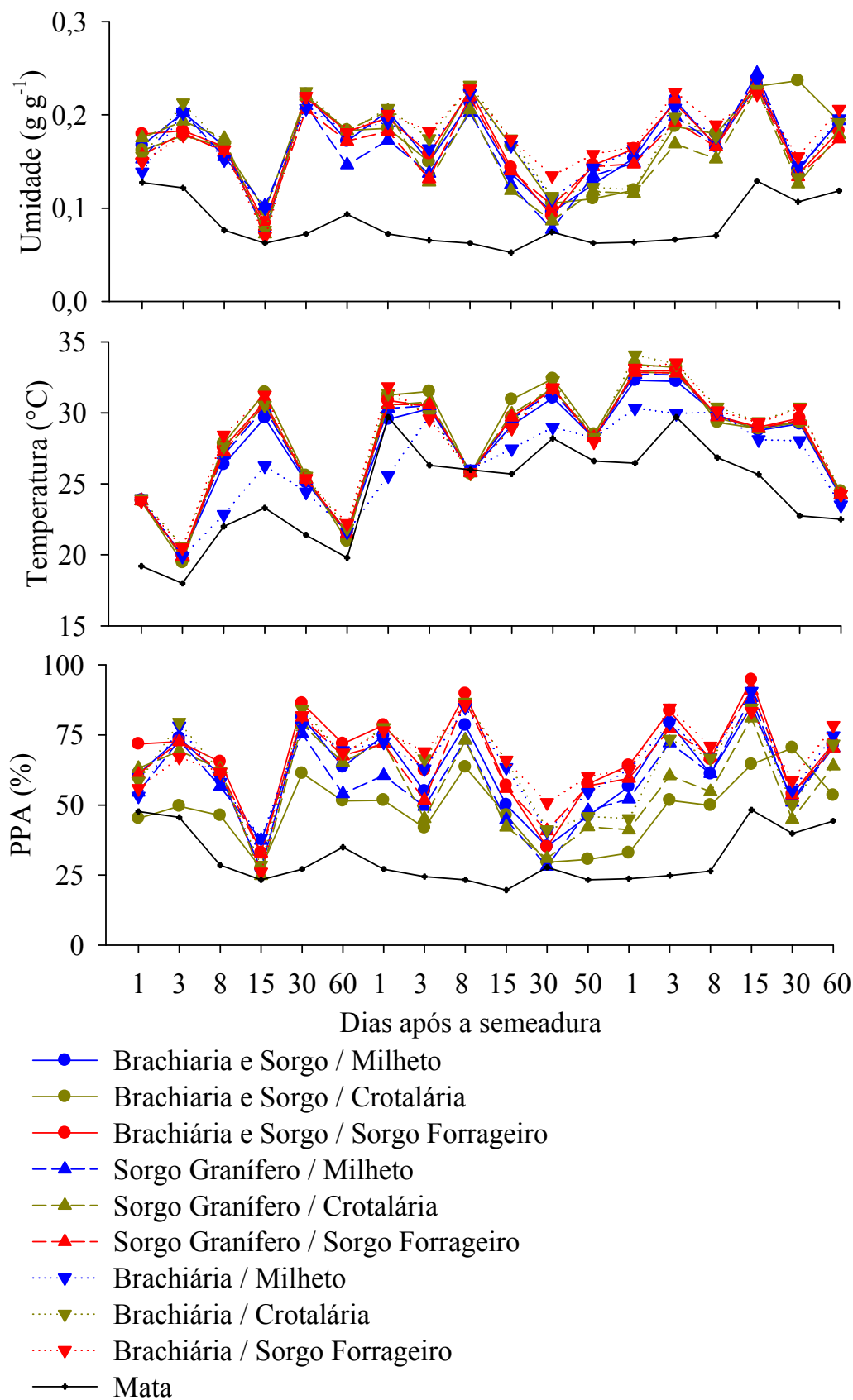


Figura 9. Umidade do solo (A), temperatura do solo (B) e PPA (C) das sucessões de culturas e mata nos dias das coletas dos GEE do experimento I.

Em relação ao fluxo de CH₄, por meio das médias, é possível verificar que os SSD estudados, que têm como única fonte de N a fixação biológica de leguminosas, associado às sucessões de culturas, proporcionaram a oxidação do CH₄, tornando o sistema solo-planta como dreno deste gás, embora de baixa magnitude. Entretanto, em função de caracterizar que o fator dreno ou fonte do CH₄ é insignificante ((SIMONA et al., 2004; SIX et al., 2004; METAY et al., 2007 (-0,01 ± 0,07 mg CH₄ m² d⁻¹)), muitas vezes o fluxo não é considerado no cálculos dos GEE e estoque de C (SIQUEIRA NETO et al., 2009), atribuindo unicamente o fluxo do CH₄ em arroz irrigado por inundação. No entanto, o consumo de CH₄ por solos agrícolas, em escala mundial, é de 6% somado a florestas e pastagens (LEMER & ROGER 2001), e não pode ser desconsiderado, pois juntamente com o estoque de C do solo, são os únicos drenos biológicos para os GEE em equivalente de C.

Embora as sucessões não tenham proporcionado efeito sobre as altas densidades do solo, aliado a baixa macroporosidade, possivelmente as sucessões de culturas poderiam ter uma maior taxa de oxidação de CH₄, pois a compactação tem efeito negativo na difusão do O₂, prejudicando o sumidouro de CH₄ no perfil do solo (HUTSH, 2001).

Normalmente, o fator dreno são verificados em solos não perturbados, mas ao serem convertidos em atividades agrícolas, normalmente atuam como fonte de CH₄, principalmente associados a fertilização nitrogenada (SUWANWAREE e ROBERTSON, 2005; MOJEREMANE et al, 2011). Sob uma meta-análise, observou-se uma redução de 38% na oxidação do CH₄ em resposta a aplicação de nitrogênio no solo (LIU e GREAVAR, 2009). No entanto, este fato não está totalmente elucidado, havendo trabalhos em que solos com altas taxas de mineralização não proporcionaram a redução da oxidação do CH₄ (JACINTHE e LAL, 2005). Isto pode estar atrelado à uma mudança gradativa de microrganismos metanotróficos, que ocorrem nos solos dependendo do seu manejo, por microrganismos nitrificadores, acentuados em solos intensamente adubados, o que relaciona-se a adubação nitrogenada (CASTRO et al. 1994).

No SSD, o fator dreno do CH₄ no solo é dependente do período e do sistema de rotação de culturas (BAYER et al., 2012). Entretanto, em trabalho com SSD por 30 anos, não foi observado valores crescentes de oxidação de CH₄ no solo sob sucessão do milho e soja (OMONODE et al., 2007).

O comportamento das sucessões de culturas foi de oxidação do CH₄, com média de consumo de -0,0143 mg m² h⁻¹. Dentre as espécies, as culturas de outono-inverno foram responsáveis por comportamentos distintos entre as sucessões. O cultivo do outono-inverno da Braquiária em sistema solteiro proporcionou oxidação acumulada média de -0,1626 mg m², o que representa cerca de 28% menos oxidação de CH₄ em relação à média acumulada (-0,2587 mg m²). A cultura do sorgo em sistema solteiro e consorciado com a braquiária resultaram na oxidação cerca de 36% superior para ambos os tratamentos em relação ao acúmulo médio (-0,3065 e -0,3071 mg m²), e 84% superior em relação à braquiária.

Em relação as culturas de primavera, o sorgo forrageiro teve a maior emissão acumulada, no entanto, dependente da cultura antecessora de outono-inverno. Na braquiária em sistema solteiro como cultura anterior, a oxidação acumulada do sorgo forrageiro foi de -0,14 mg m² de CH₄. Porém, quando o cultivo antecessor foi o consórcio entre braquiária e o sorgo forrageiro ou o sorgo em sistema solteiro, a taxa de oxidação acumulada do sorgo forrageiro foi o dobro em relação à média acumulada, ou seja, de -0,25 mg m² de CH₄ (-0,51 e 0,52 mg m², respectivamente). Em seguida, as maiores oxidações foram observadas por meio da cultura de primavera da crotalaria e do milho. Isto pode ter sido influenciado pelo aporte de N dos resíduos vegetais, tendo um efeito inibitório nas taxas de oxidação de metano.

Embora o principal efeito dos tratamentos tenha sido de oxidação do CH₄, os picos de emissão de CH₄ foram observados por meio da sucessão sorgo granífero / sorgo forrageiro e brachiaria / milho aos 30 DAS das plantas de outono-inverno e aos 3 e 8 DAS por meio de brachiaria / sorgo forrageiro, enquanto que durante o cultivo da soja, as emissões de CH₄ foram praticamente insignificantes.

Em função dos fluxos da mata serem positivos, principalmente na época correspondente ao cultivo da soja (safra verão), pode-se estabelecer um comportamento relacionado às condições de temperatura e umidade do solo. Conforme Liebig et al. (2010), a maior absorção de CH₄ ocorre geralmente em condições de baixa umidade, isto se deve aos microorganismos metanotróficos absorverem mais CH₄, possivelmente pela menor mineralização do N nesta condição, resultado também verificado por Sainju et al. (2012). O comportamento do CH₄ durante o cultivo da soja, com exceção do cultivo da brachiaria seguido do sorgo forrageiro, foi preponderantemente de dreno.

No geral, o cultivo do sorgo forrageiro na primavera resultou no maior influxo de CH_4 , possivelmente em função do maior estoque de C e principalmente de N, pois a oxidação foi menos intensa quando a cultura antecessora era a braquiária, assim como o menor estoque de N sob esta sucessão. Porém, outros fatores envolvem este processo, sendo atribuído às características físicas, químicas e biológicas favoráveis para microrganismos do solo, em geral pela melhoria da estrutura do solo, o que permite maior difusão no perfil do solo, propiciando condições favoráveis às bactérias metanotróficas, responsáveis pela oxidação do CH_4 (HUTSCH, 2001; SMITH et al., 2001).

O estoque de C e a oxidação de CH_4 são os únicos drenos de gases do efeito estufa, por este motivo, tem sido sugeridas estratégias agrícolas para reduzir as emissões de CH_4 por meio da conservação do solo juntamente com sistemas de rotação de culturas, a ponto de restaurar o fator dreno dos solos agrícolas (USSIRI et al., 2009), aumentando os estoques de C do solo. Entretanto, existe uma estreita relação entre o saldo de nitrogênio e o estoque de C, enquanto que concentrações de N no solo podem provocar o efeito inibitório sobre a oxidação do CH_4 . No entanto, as maiores taxas de oxidação acumulada de CH_4 foram observadas sob os maiores estoques de C e N. Este resultado implica dizer que o nitrogênio biológico pode potencializar a oxidação do CH_4 em solos onde não são utilizadas adubações nitrogenadas. Embora, carecem trabalhos sobre sistemas de rotação de culturas em semeadura direta que utilizam a fixação biológica do N de leguminosas como a principal entrada de nitrogênio no sistema, e sua relação à oxidação de CH_4 , e principalmente a influência sobre os microrganismos metanotróficos.

6.1.5 Produtividade da Soja

Na tabela 17, são apresentados os resumos das análises de variância das produtividades da soja nas safras 2011/2012 e 2012/2013 conforme as sucessões de culturas. Observa-se que as plantas de primavera proporcionaram rendimento distinto na soja da safra 2012, tendo média de $3,1 \text{ Mg ha}^{-1}$ de soja, enquanto que na safra subsequente, os efeitos foram verificados sob influência das culturas de outono-inverno, tendo média inferior, com $2,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ de soja. A menor produtividade de soja na safra 2012/2013 pode ser explicada em função do ataque de lagartas (*Helicoverpa spp*) extremamente agressivas e de difícil controle e pela escassez de chuvas no mês de janeiro.

Tabela 17. Valores de F e média geral da produtividade da soja nas safras 2012 e 2013 no solo Latossolo.

Cultivo	Produtividade da soja	
	2011/2012	2012/2013
F Outono/Inverno	3,11	5,70*
F Primavera	4,20*	0,55
F Out/Inv x Prim	0,46	0,8
CV Outono/Inverno (%)	11,04	16,57
CV Primavera (%)	9,00	11,69
Média geral (Mg ha ⁻¹)	3,10	2,55

* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Dentre as plantas de primavera da primeira safra da soja, observa-se que o milho proporcionou o maior rendimento, com 3,32 Mg ha⁻¹ (Figura 10), diferenciando das demais culturas como o sorgo forrageiro e da crotalária, que apesar do maior aporte de N durante praticamente todos os cultivos, não distinguiram-se entre si com média de cerca de 3,0 Mg ha⁻¹. No entanto, na safra de 2013, a produtividade diferenciada não foi observada por meio do cultivo das plantas de primavera, sendo influenciada pelas plantas de outono-inverno, tendo o consórcio de brachiaria e sorgo proporcionado os maiores rendimentos, de 2,63 Mg ha⁻¹, não distinto do cultivo da brachiaria em sistema solteiro, com média de 2,55 Mg ha⁻¹.

Em experimento na mesma área e sucessões, Garcia (2010), não observou diferenças significativas quanto ao rendimento da soja nas safras 2006/2007, 2007/2008 e 2008/2009, embora o autor tenha verificado incremento anual do rendimento, com médias de 2,8; 3,0 e 3,4 Mg ha⁻¹, decorrentes, conforme o autor, dos teores de MO acrescidos com as sucessões de culturas em SSD.

Ao fazer um comparativo entre os tratamentos quanto à produtividade de soja e emissão de GEE verificou-se que, em relação as plantas de primavera, o milho quando antecedido por sorgo propiciou, além da maior produtividade, menor emissão de N₂O e CO₂ e dentre as maiores taxas de oxidação de CH₄.

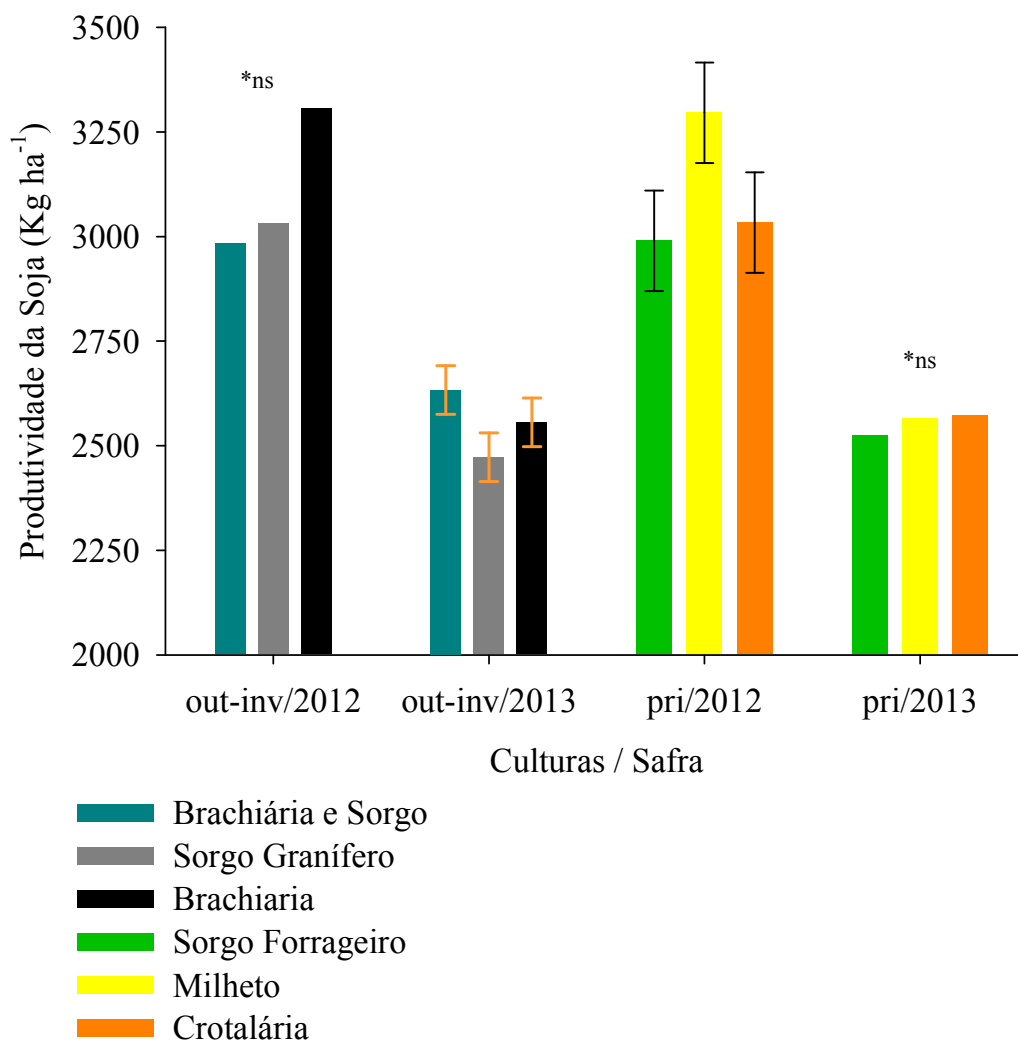


Figura 10. Produtividade da soja nas safras de 2012 e 2013 no solo Latossolo para as culturas de outono-inverno e primavera. Barras verticais referem-se ao dms do teste t a 5% de probabilidade, para cada safra e época de sucessão.

6.2 Experimento II

6.2.1 Características físicas do solo

O resumo da análise de variância para os resultados de física do solo para esse experimento está apresentado na tabela 18. Pode-se observar que as médias para as densidades foram mais baixas, quando comparadas aos valores do experimento I, cujo solo apresenta menor teor de argila, apesar de ambos serem considerados argilosos. Solos com menores teores de argila apresentam densidades naturalmente maiores (SÁ e JÚNIOR, 2005).

Com exceção da camada superficial, os volumes de macroporos foram inferiores a $0,1 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, considerado como crítico de porosidade de aeração para o cultivo de espécies anuais (GRANBLE e SIEMER, 1968). Tanto as médias de porosidade total como densidade do solo em profundidade, praticamente não foram distintas. Os valores de macroporosidade quase sempre ficaram abaixo do limite crítico de $0,1 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ de porosidade de aeração para o cultivo de espécies anuais (GRANBLE e SIEMER, 1968), com excessão do efeito da crotalária na camada de 0-10 cm e da escarificação/pousio na camada de 20-40 cm. Tanto as médias de porosidade total como densidade do solo em profundidade, praticamente não foram distintas.

Em avaliações realizadas nesse mesmo experimento, Calonego (2007) verificou que ,após três anos de implantação dos tratamentos (e da escarificação), na camada superficial do solo (0 a 5 cm), a macroporosidade foi maior com o cultivo de plantas de cobertura em relação à escarificação, com menor densidade do solo, principalmente quando utilizou-se a crotalária como espécie de cobertura, mesmo não havendo diferenças estatísticas quanto à porosidade total. Segundo o autor, esse resultado provavelmente está relacionado com o incremento no teor de MO entre o primeiro e o terceiro ano de condução do experimento, que foi maior nos tratamentos envolvendo cultivo de plantas de cobertura, principalmente com a utilização dessa leguminosa. Porém, em profundidade (camadas de 10 a 20 e 20 a 40 cm) a escarificação volta a apresentar maior efeito na macroporidade, principalmente em comparação ao milho e ao sorgo devido ao efeito residual do manejo mecânico e à menor exploração das raízes das plantas de cobertura nessas camadas. Já na camada de 40-60 cm, abaixo da camada de atuação do escarificador, as plantas de cobertura voltam a ter efeito na melhoria das condições físicas do solo, pois observa-se nessa camada que o tratamento com escarificaçãoa propiciou os maiores valores de densidade do solo, não diferindo apenas do tratamento com sorgo.

Tabela 18. Valores de F para a macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo (Nitossolo), nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40, 40-60 e 60-80 cm, no experimento II.

Cultivo	Porosidade			Densidade (g cm ⁻³)
	Total	Micro	Macro	
0-10 cm				
F Outono/Inverno	1,21	14,29*	0,03	0,04
F Primavera	0,58	1,80	1,40	1,15
F Out/Inv x Prim	0,72	1,58	0,73	0,62
CV Outono/Inverno (%)	5,23	2,16	13,92	6,52
CV Primavera (%)	6,23	8,76	33,13	4,87
10-20 cm				
F Outono/Inverno	6,58	0,19	1,29	24,70*
F Primavera	0,30	0,31	0,31	0,25
F Out/Inv x Prim	0,45	0,60	1,14	0,15
CV Outono/Inverno (%)	3,80	9,65	33,39	1,93
CV Primavera (%)	11,15	14,06	35,54	6,82
20-40 cm				
F Outono/Inverno	0,11	0,25	0,12	0,11
F Primavera	0,67	1,92	2,48	0,04
F Out/Inv x Prim	3,41*	0,72	1,25	0,87
CV Outono/Inverno (%)	9,90	5,36	34,87	6,45
CV Primavera (%)	4,26	8,38	37,17	4,86
40-60 cm				
F Outono/Inverno	1,54	0,46	0,04	0,11
F Primavera	1,40	1,62	0,94	4,46*
F Out/Inv x Prim	0,15	0,95	1,03	1,63
CV Outono/Inverno (%)	4,89	7,56	31,29	3,67
CV Primavera (%)	3,76	6,90	34,57	4,25
60-80 cm				
F Outono/Inverno	0,65	0,58	0,23	2,09
F Primavera	1,51	1,12	1,69	0,65
F Out/Inv x Prim	1,62	0,88	1,55	1,62
CV Outono/Inverno (%)	8,85	15,82	21,71	5,34
CV Primavera (%)	9,47	15,6	32,4	4,25
Média	0,49	0,41	0,08	1,25

* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

O manejo de primavera propiciou efeito significativo na macroporosidade do solo na camada de 20-40, tendo a escarificação do solo proporcionado o maior volume de macroporos (0,11 m³ m⁻³), diferenciando-se do tratamento com sorgo forrageiro, mas não dos tratamentos com milho e crotalaria, (Tabela 19). Resultado semelhante foi encontrado por Calonego (2007), nesse mesmo experimento, três anos após a escarificação e implantação dos tratamentos. Da mesma forma, Tormena et al. (2002),

observaram diferença na macroporosidade entre 0,14 e 0,08 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ em áreas sob SSD escarificada e sem intervenção mecânica, respectivamente. Em experimento realizado em Latossolo Vermelho, conduzido em Cruz Alta – RS, sob SSD, observou-se menor macroporosidade na camada de 7-14 cm em relação a área escarificada ou em sistema convencional. Em experimento conduzido na mesma área e sucessões, observou-se que a escarificação de primavera proporcionou no primeiro ano do cultivo, aumento da porosidade total e macroporosidade da camada 7,5-12,5 de profundidade, enquanto que as demais espécies não diferiram entre si, porém a utilização de plantas de cobertura no terceiro ano proporcionou resultados semelhantes (CALONEGO, 2007) à escarificação nessa camada. Este fato pode explicar o motivo do efeito verificado somente na camada de 20-40, pois a escarificação foi realizada em 2009*, a partir de então, esta prática não tenha proporcionado efeito nas camadas superficiais, resultando na macroporosidade reduzida.

Na camada superficial de 0-10 cm, observou-se efeito na microporosidade do solo, no cultivo de outono-inverno, no qual o girassol diferenciou-se do triticale, com médias de 0,38 e 0,39 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ respectivamente, enquanto no cultivo de primavera a menor microporosidade foi obtida por meio da crotalária com 0,37 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, distinguindo do cultivo do sorgo e da escarificação, com 0,41 e 0,39 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, respectivamente. Estes resultados também foram recorrentes nas camadas de 20-40 e 60-80, mas sem influência das plantas de outono-inverno. Em experimento conduzido em Latossolo Vermelho objetivando avaliar o efeito de culturas de cobertura nos atributos físicos do solo, observou-se que a cultura do girassol e crotalária proporcionaram além dos maiores teores de C, os maiores valores de macroporosidade e porosidade total na camada superficial, e a densidade e microporosidade foram reduzidas (SILVA, et al., 2011).

Em relação a densidade do solo, verificou-se efeito na camada de 10-20 cm, sob o cultivo das plantas de outono-inverno, tendo o girassol propiciado a menor densidade do solo de 1,36 g cm^{-3} , enquanto com o triticale a D_s foi de 1,40 g cm^{-3} . Já Calonego (2007) constatou que, nos três primeiros anos de estudo desses tratamentos, o cultivo de triticale proporcionou melhores resultados nas propriedades físicas e físico-hídricas do solo. Essa divergência de resultados deixa claro que as mudanças promovidas no solo pelo cultivo de plantas devem ser avaliadas a médio ou longo prazo. Comparando às avaliações das propriedades físicas por Calonego (2007), realizadas em dezembro de 2005, verifica-se que aumentou a compactação do solo, já que houve redução da macroporosidade total, além de ter aumentado a microporosidade e a densidade do solo.

Tabela 19. Microporosidade, macroporosidade, porosidade total e densidade do solo, nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40, 40-60 e 60-80 cm de profundidade, em função dos cultivos de outono-inverno e de primavera no experimento II.

Cultivo	Macroporosidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)				
	0-10 cm	10-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	60-80 cm
Outono-inverno					
Girassol	0,10	0,08	0,09	0,08	0,08
Triticale	0,10	0,09	0,08	0,08	0,08
Primavera					
Milheto	0,09	0,08	0,08 ab	0,07	0,07
Sorgo	0,09	0,08	0,06 a	0,07	0,09
Crotalária	0,12	0,10	0,08 ab	0,08	0,08
Escarificação	0,09	0,09	0,11 b	0,09	0,07
Cultivo	Microporosidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)				
Outono-inverno					
Girassol	0,38 a	0,38	0,39	0,41	0,41
Triticale	0,39 b	0,37	0,39	0,41	0,41
Primavera					
Milheto	0,38 ab	0,39	0,41 b	0,43 b	0,43
Sorgo	0,41 b	0,37	0,39 ab	0,41 ab	0,41
Crotalária	0,37 a	0,37	0,40 ab	0,39 a	0,37
Escarificação	0,39 b	0,36	0,37 a	0,43 b	0,41
Cultivo	Porosidade Total ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)				
Outono-inverno					
Girassol	0,48	0,47	0,48	0,50	0,50
Triticale	0,49	0,46	0,48	0,49	0,48
Primavera					
Milheto	0,47	0,48	0,49	0,50	0,50
Sorgo	0,49	0,46	0,47	0,48	0,50
Crotalária	0,49	0,48	0,48	0,49	0,46
Escarificação	0,49	0,46	0,48	0,49	0,49
Cultivo	Densidade do solo (g cm^{-3})				
Outono-inverno					
Girassol	1,35	1,36 a	1,29	1,26	1,23
Triticale	1,35	1,40 b	1,3	1,27	1,27
Primavera					
Milheto	1,34	1,37	1,30	1,24 a	1,24
Sorgo	1,36	1,37	1,30	1,28 ab	1,25
Crotalária	1,32	1,37	1,29	1,23 a	1,25
Escarificação	1,38	1,40	1,30	1,32 b	1,27

*Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, diferem entre si pelos teste t (DMS), a 5% de probabilidade, respectivamente

Em estudo em Lavras – MG, conduzido em Latossolo Vermelho, observou-se que as características físicas não foram diferenciadas anterior ao plantio e posterior ao manejo do feijão guandú, feijão de porco e milho (DIAS, 2012). Resultados similares foram observados por Cardoso (2009), em experimento conduzido em um Argissolo Vermelho no sul de Minas Gerais e Carneiro et al. (2009), em Latossolo Vermelho, em Costa Rica –MS. Em experimento conduzido em Santo Antônio de Goiás – GO, em Latossolo Vermelho, Andrade et al., (2009) observaram que comparado a mata nativa, o solo cultivado aumentou a densidade e reduziu a macroporosidade e porosidade total. Já Silveira et al. (2008) destacam que o SSD no decorrer do tempo com utilização de plantas de cobertura de inverno reduzem a compactação do solo.

6.2.2 Aportes de matéria seca, carbono e nitrogênio pelas plantas

6.2.2.1 Soja (safra 2011/2012)

Os resultados das quantidades e composição da palha da cultura da soja safra 2011/2012 são apresentados na tabela 20. Foram observados efeitos nos teores de C e N e na relação C/N por meio do cultivo das plantas de outono-inverno. Da mesma forma ocorreu para as plantas de primavera, além dos efeitos sobre o acumulado de C e N, assim como a interação entre os cultivos para estes fatores.

Tabela 20. Valores de F para os resultados de aporte de palha, C e N e relação C/N dos resíduos de soja, safra 2011/2012, depositados sobre o solo, em função das rotações de culturas no experimento II.

FV	Soja 2011/2012					
	Palha	Teor de N	Acum N	Teor C	Acum C	C/N
F Outono/Inverno	1,28	13,50*	0,01	27,33*	3,39	27,01*
F Primavera	0,36	3,76*	3,39*	3,46*	0,39	5,22*
F Out/Inv x Prim	0,18	3,32*	3,21*	1,18	0,51	4,58*
CV Outono/Inverno (%)	21,14	7,63	16,61	2,71	20,33	9,11
CV Primavera (%)	11,48	22,79	23,73	6,51	13,27	17,54

* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

A quantidade de palha da soja não sofreu influência das sucessões de culturas (Tabela 21). No entanto, os teores de N da palha foram maiores quando cultivou-se girassol no outono-inverno, enquanto que dentre as plantas de primavera, a crotalária resultou nas maiores quantidades de N na palha de soja, seguida da escarificação. A crotalária como adubação verde por meio da fixação de N₂ atmosférico pode fornecer

cerca de 150 a 165 kg ha⁻¹ de N (WUTKE, 1993), tendo produção de fitomassa superior a 8 Mg ha⁻¹ (MENEZES et al., 2009). Embora esta alta quantidade de N proporcione uma baixa persistência no solo quando comparada às gramíneas, como o milho e sorgo.

Tabela 21. Quantidade e qualidade da palha da soja, safra 2011/2012, em função das rotações de culturas no experimento II.

Cultivo	Crotalária	Escarificação	Milheto	Sorgo
Palhada (Mg ha ⁻¹)				
Girassol	4,90	4,67	5,13	5,04
Triticale	5,46	5,29	5,44	5,32
Teor de N na palha (g kg ⁻¹)				
Girassol	11,14 AB	13,45 bB	8,82 A	10,68 A
Triticale	13,69 B	8,36 aA	8,11 A	9,67 A
Quantidade de N na palha (kg ha ⁻¹)				
Girassol	54,08 aAB	62,65 bB	44,87 A	53,6 AB
Triticale	75,43 bB	44,66 aA	44,25 A	51,02 A
Teor de C na palha (g kg ⁻¹)				
Girassol	409 AB	414 aB	381 aA	390 AB
Triticale	421 B	444 bB	425 bB	386 A
Quantidade de C na palha (Mg ha ⁻¹)				
Girassol	2,01	1,93	1,96	1,98
Triticale	2,30	2,34	2,30	2,06
Relação C/N				
Girassol	37,4 AB	33,32 aA	43,48 aB	37,01 AB
Triticale	31,91 A	53,97 bB	52,67 bB	40,29 A

*Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, diferem entre si pelos teste t (DMS), a 5% de probabilidade.

A culturas de sucessão podem modificar a química da palha da soja, como verificado sob o cultivo da crotalária na primavera e triticale no outono-inverno proporcionando o maior acúmulo de N (75,4 kg ha⁻¹), enquanto que em área escarificada e pousio na primavera o maior acúmulo de N na palha da soja ocorreu em área cultivada com girassol no outono-inverno (62,6 kg ha⁻¹). Em experimento em Botucatu – SP, sob SSD em Nitossolo Vermelho, observou-se que o milho acumulou maior quantidade de N, além de outros nutrientes, comparado à crotalária (SORATTO et al., 2012). Isto se deve principalmente ao rápido crescimento dessa espécie, mesmo em condições de estresse hídrico, proporcionando alta ciclagem de N e K de até 205 e 212 kg ha⁻¹, respectivamente (CRUSCIOL & SORATTO, 2009).

Em relação aos teores de C nas palhas de soja, observou-se que o girassol promoveu maior teor em área escarificada e mantida em pousio na primavera (414 g kg^{-1}) em relação à área cultivada com milho. Já nos tratamentos com triticales, observou-se que com sorgo forrageiro na primavera os teores de C na palha de soja foram menores (386 g kg^{-1}). No entanto, ao considerar o aporte de palha, os teores não influenciaram as quantidades acumuladas de C depositadas sobre o solo, com média de $2,11 \text{ Mg ha}^{-1}$.

Quanto à relação C/N, verificou-se que a palha de soja apresentou maior relação quando cultivou-se triticales no outono-inverno e com manutenção da área em pousio (área escarificada), com C/N de aproximadamente 54, não diferindo do C/N do tratamento triticales/milho. De acordo com Cantarella (2007), a quantidade de N na matéria seca e a relação C/N, se destacam dentre os fatores mais importantes para influenciar a disponibilização do N proveniente de resíduos vegetais e a persistência da palhada.

6.2.2.2 Culturas de Outono-Inverno

O resumo da análise de variância para os resultados de quantidade e aporte de C e N pelas palhas das culturas de outono-inverno está apresentado na tabela 22. Pode-se observar que as plantas de outono-inverno somente influenciaram no teor de C, que aliás foi significativo também para as plantas de primavera, além da interação entre os cultivos, que também influenciou a quantidade de palha, e o acúmulo de C e N, enquanto as plantas de primavera foram significativas para os teores de N.

Tabela 22. Valores de F para o aporte de palha, C e N e relação C/N dos resíduos das culturas de outono-inverno, depositados sobre o solo, em função das rotações de culturas no experimento II.

FV	Outono-inverno 2012					
	Palha	Teor de N	Acum N	Teor C	Acum C	C/N
F Outono/Inverno	0,65	1,92	0,11	51,66*	1,81	4,17
F Primavera	1,76	4,73*	0,71	26,90*	1,71	2,70
F Out/Inv x Prim	6,67*	0,61	3,51*	30,26*	7,71*	1,14
CV Outono/Inverno (%)	26,32	27,92	30,72	1,74	25,10	26,99
CV Primavera (%)	15,89	12,72	23,83	1,01	15,42	13,52

* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F

Em geral, não houve diferença na produção de palha entre girassol e triticales. No entanto, o fornecimento de palha por meio do girassol foi maior em área cultivada com crotalária na primavera, em relação à área mantida em pousio (escarificada), sendo essa diferença em torno de 60% (Tabela 23). Já o triticales não teve influência do cultivos de primavera quanto à produção de palhada.

Tabela 23. Quantidade e qualidade da palha das culturas de outono-inverno, em função das rotações de culturas no experimento II.

Cultivo	Plantas de outono-inverno de 2012			
	Crotalária	Escarificação	Milheto	Sorgo
	Palhada (Mg ha ⁻¹)			
Girassol	3,93 B	2,44 A	2,86 AB	2,76 AB
Triticales	2,91	3,39	3,04	3,60
	Teor de N na palha (g kg ⁻¹)			
Girassol	5,81	6,72	6,17	5,45
Triticales	4,86	5,60	5,97	4,62
	Quantidade de N na palha (kg ha ⁻¹)			
Girassol	23,4bB	16,4AB	17,6AB	15,0A
Triticales	14,1a	19,2	18,3	16,6
	Teor de C na palha (g kg ⁻¹)			
Girassol	465 aB	469 B	467 B	432 aA
Triticales	480 b	480	476	480 b
	Quantidade de C na palha (kg ha ⁻¹)			
Girassol	182,9 B	114,8 A	133,9 AB	119,4 aA
Triticales	139,9	163,1	144,8	172,8 b
	Relação C/N			
Girassol	82,7	70,9	75,8	79,2
Triticales	98,9	92,0	80,5	104,2

* Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, diferem entre si pelos teste t (DMS), a 5% de probabilidade.

Em relação ao acúmulo de N na palha das culturas de outono-inverno, observou-se maior acúmulo na palha de girassol em área cultivada com crotalária, com 23,4 kg ha⁻¹. Esses valores são considerados baixos e atribuídos à baixa produção de palha pelas culturas de outono-inverno, em decorrência da pluviosidade baixa durante o cultivo. A sucessão girassol/crotalária também promoveu maior aporte de C ao solo (182,9 kg ha⁻¹) pela cultura de outono-inverno, sem diferenciar do tratamento girassol/milheto (133,9 kg ha⁻¹).

Os baixos teores de N nas palhas das culturas de outono-inverno e a pouca interferência dos tratamentos nos teores de C, proporcionaram um material com elevada relação C/N (acima de 70), não havendo diferença entre os tratamentos, porém, a relação C/N da palha do girassol foi, em média, 22% inferior à palhada triticales. As palhas das plantas de girassol e triticales apresentaram aos maiores teores de celulose e lignina, e os menores teores de hemicelulose (Tabela 2). A lignina geralmente é a molécula que confere a rigidez, e maior resistência à decomposição biológica em função da sua estrutura química, quando comparada a celulose e hemicelulose, seguindo esta sequência da taxa de decomposição (WAGNER, WOLF, 1999).

6.2.2.3 Culturas de Primavera

O resumo da análise de variância para os resultados de quantidade e aporte de C e N pelas palhas das culturas de primavera está apresentado na tabela 24. As plantas de outono-inverno influenciaram significativamente no teor e acúmulo de N, assim como na relação C/N. As plantas de primavera proporcionaram efeito em todas as variáveis analisadas, com exceção ao acúmulo de C. Por meio da média, pode-se caracterizar alta produção de palha em função do período de condução das plantas de primavera (cerca de 55 dias), apesar de boa parte desta palha ser oriunda do cultivo de outono-inverno, ainda não completamente decomposta. No entanto, ao analisar os teores e acúmulo de N, observa-se que neste período são obtidos os maiores valores, equiparando a safra da soja e de outono-inverno, sendo fundamental para o balanço positivo de N e para o acúmulo de C. Como consequência, as relações C/N baixas podem neste caso disponibilizar nutrientes em tempo hábil para a cultura da soja subsequente.

Tabela 24. Valores de F para o aporte de palha, C e N e relação C/N dos resíduos das culturas de primavera, depositados sobre o solo, em função das rotações de culturas no experimento II.

Cultivo	Primavera 2012					
	Palha	Teor N	Acum N	Teor C	Acum C	C/N
F Outono/Inverno	1,49	9,80*	11,19*	3,46	3,08	6,67*
F Primavera	3,41*	6,90*	9,08*	12,21*	3,06	5,81*
F Out/Inv x Prim	0,18	4,18*	1,65	3,26	0,14	4,24*
CV Outono/Inverno (%)	4,82	7,65	9,56	1,79	4,27	6,49
CV Primavera (%)	12,13	6,63	13,82	1,53	12,05	9,24

* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

A crotalária, principalmente em sucessão ao triticale, foi a espécie de planta de cobertura com maior produção de palha, porém sem diferir da produção de palha pelo milho. Nos primeiros anos de estudo dessas rotações de culturas, Calonego (2007) verificou que no terceiro ano de avaliação as plantas de cobertura de primavera apresentaram maior produção de fitomassa quando em sucessão ao girassol, com destaque para a produção de palha pelo milho, que foi 6,07 Mg ha⁻¹ em apenas 50 dias de cultivo. Em experimento conduzido em Jaboticabal-SP, sob Latossolo Vermelho, observou-se que o milho, dentre outras plantas de cobertura, teve um crescimento rápido, e aos 50 DAS encontrava-se em formação de panículas (TIMOSSI et al., 2007). No entanto, outros trabalhos analisando ambas as culturas de cobertura do solo, observaram que o milho teve produção de fitomassa seca inferior dentre outras leguminosas, assim como a crotalária (PERIN et al., 2004; SILVA et al., 2009).

Essa maior palhada da crotalária, aliada ao maior teor de N, proporcionou um maior aporte de N depositado na superfície do solo. Em geral, os teores de N nas palhas das plantas de cobertura foram maiores quando em sucessão ao girassol, provavelmente em função do maior aporte de N por essa cultura de outono-inverno (Tabela 25). Quanto à quantidade de C acumulada na parte aérea das plantas de primavera, verificou-se que, apesar do maior teor de C nas palhas de sorgo, a menor quantidade de palha produzida por esse espécie propiciou menor aporte de C, principalmente em relação ao aporte promovido pela crotalária em sucessão ao girassol.

Tabela 25. Quantidade e qualidade da palha das culturas de primavera, em função das rotações de culturas no experimento II.

Cultivo	Plantas de primavera 2012		
	Crotalária	Milheto	Sorgo
	Palhada (Mg ha ⁻¹)		
Girassol	5,44	5,17	4,82
Triticale	5,48 B	5,09 AB	4,50 A
	Teor de N (g kg ⁻¹)		
Girassol	39,75 bC	36,02 bB	27,64 bA
Triticale	35,71 aB	25,27 aA	23,87 aA
	Acúmulo de N (kg ha ⁻¹)		
Girassol	215,7 B	187,4 bB	134,1 A
Triticale	195,4 B	129,1 aA	107,2 A
	Teor de C (g kg ⁻¹)		
Girassol	396 B	390 bA	398 B
Triticale	393 B	385 aA	397 C
	Acúmulo de C (Mg ha ⁻¹)		
Girassol	2,15 B	2,02 AB	1,92 A
Triticale	2,09	1,96	1,79
	C/N		
Girassol	10,02 A	10,90 aA	14,50 aB
Triticale	11,04 A	15,42 bB	16,79 bB

*Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, diferem entre si pelos teste t (DMS), a 5% de probabilidade.

A relação C/N observada, independente do cultivo, foi baixa, com média de 11,3, muito inferior à relação C/N das palhas do cultivo antecedente. . Isto permite dizer que o aporte de N por meio da safra de primavera é importante neste sistema de sucessão de culturas.

As sucessões de culturas proporcionaram nas três safras um aporte de palha de 13,3 Mg ha⁻¹, superando a quantidade limite de palha para a manutenção dos teores de C no SSD de 9 Mg ha⁻¹, conforme Vieira (2007), embora Ferreira et al. (2012), analisando dois Latossolos no sul do Brasil, observaram valor mínimo de 6,83 Mg ha⁻¹. No presente experimento, o aporte de C anual variou em média de 2,28 Mg ha⁻¹ nos tratamentos com pousio escarificado (independente da cultura de outono-inverno), até aproximadamente 4,25 Mg ha⁻¹ nos demais tratamentos envolvendo cultivo de plantas de cobertura na primavera. Já o aporte anual de N variou de aproximadamente 71 kg ha⁻¹, nos tratamentos com pousio escarificado (independente da cultura de outono-inverno), até aproximadamente 282 kg ha⁻¹ com os tratamentos envolvendo crotalária como cultivo de

primavera, independente do cultivo de outono-inverno, seguido pelos 250 kg ha⁻¹ acumulados pelo tratamento girassol/milheto. Comparando com o experimento I, pode-se afirmar que, apesar do aporte de C não ter alcançado os 6,15 Mg ha⁻¹ obtidos com as sucessões *Brachiaria ruziziensis* no outono-inverno e crotalária ou sorgo forrageiro na primavera, o aporte de N com o cultivo de crotalária nesse experimento II foi maior que o máximo obtido no experimento I, que foi em média 250 kg ha⁻¹ com o tratamento *Brachiaria ruziziensis* no outono-inverno e crotalária ou sorgo forrageiro na primavera.

6.2.3 Estoque de C e N

As sucessões de culturas conduzidas por 9 anos em SSD, proporcionaram diferenças significativas no estoque de C até 20 cm de profundidade em função das culturas de outono-inverno, e na camada 40-60 cm e no acumulado do perfil (0-80cm) pelas plantas de primavera (Tabela 26). Dentre as plantas de outono-inverno, observou-se que até 20 cm de profundidade o triticale proporcionou maior estoque de C no solo do que o girassol. Dentre os cultivos de primavera, observou-se diferenças entre as espécies apenas na camada de 40-60 cm, tendo o sorgo proporcionado maior estoque de C, porém sem diferir do milho, refletindo em maiores estoques de C no perfil do solo (0-80 cm). Esse resultados podem estar relacionados aos maiores volumes de raízes produzidos pelas espécies de milho e sorgo forrageiro, principalmente quando em sucessão ao triticale, conforme Calonego e Rosolem (2010). No entanto, Calonego (2007) relata que nos três primeiros anos desse experimento os maiores incrementos nos teores de MOS no perfil do solo foram obtidos com a sucessão girassol/crotalária.. Em experimento em Uberada – MG, conduzido em Latossolo Vermelho sob SSD, observou-se que as plantas de cobertura *Brachiaria brizantha*, milho e crotalária influenciaram os estoques de C na camada 0-20 cm com médias de 26,2; 27,0 e 25,5 Mg ha⁻¹, tendo a cultura do milho propiciado a incorporação mais profunda do carbono (PEREIRA et al., 2010). No geral, o acúmulo de C em solos sob SSD ocorre principalmente nas camadas superficiais do solo, no entanto, recentemente tem-se observado incremento de C no perfil dos solos, alterando a dinâmica de amostragem. Para Boddey et al. (2010), a adição de resíduos culturais na superfície possibilita no decorrer do tempo translocar compostos de C solúveis, alterando a redistribuição de C no perfil do solo. Lovato et al. (2004) verificaram aumentos na quantidade de C mais significativos nas camadas superficiais do solo, nos anos iniciais do SSD, mas, com o tempo, os estoques aumentaram nas camadas mais profundas.

Em média, o SSD no Brasil proporciona um acúmulo médio de 0,5 a 0,9 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, de C em relação ao sistema convencional (BERNOUX, et al., 2006). No entanto, este incremento não é linear, respondendo pouco ao estoque de C a partir de um certo nível, caracterizado de ponto de saturação, sugerindo que tratamentos com diferentes aportes de C não resultem em aumento no estoque de C no solo (GULDE et al., 2008)

Tabela 26. Valor de F e estoque de C no solo (Mg ha⁻¹), nas diferentes camadas avaliadas e na somatória do perfil, em função das rotações de culturas no experimento II.

Cultivo ⁽¹⁾	Carbono (Mg ha ⁻¹)					
	0-10 cm	10-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	60-80 cm	0-80 cm
Outono-Inverno						
Girassol	29,48 a	23,85 a	38,58	39,92	43,56	175,66
Triticale	30,93 b	24,66 b	38,82	40,89	45,14	180,21
Primavera						
Milheto	29,91	23,16	39,25	41,99 bc	45,88	180,20 ab
Sorgo	30,85	24,19	38,56	43,89 c	46,14	183,64 b
Crotalária	30,63	24,78	39,56	36,61 a	43,43	175,02 ab
Escarificação	29,43	24,89	37,43	39,14 ab	41,97	172,87 a
Mata	57,66	38,00	60,80	46,40	53,90	256,90
Valores de F ⁽²⁾						
F Outono/Inverno	11,53*	16,25*	0,05	0,23	0,35	0,73
F Primavera	0,48	1,02	0,73	5,21*	1,09	2,34*
F Out/Inv x Prim	1,84	0,53	1,25	1,11	1,48	1,50
CV Outono/Inverno (%)	3,98	2,32	7,78	14,00	16,91	8,46
CV Primavera (%)	8,79	9,13	8,05	9,80	12,21	5,08

(1) Médias seguidas de letras distintas, na coluna, diferem entre si pelos teste t (DMS), a 5% de probabilidade, respectivamente. (2) * significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Em relação ao N no solo, houve interação entre os cultivos de outono-inverno e primavera para os estoques desse elemento no perfil (Tabela 27).

Tabela 27. Valores de F de estoque de N do solo, em função das rotações de culturas no experimento II.

Cultivo	Profundidades (cm)					
	0-10	10-20	20-40	40-60	60-80	0-80
F Outono/Inverno	0,38	0,05	0,01	3,07	4,66	1,22
F Primavera	1,41	0,12	0,95	1,18	1,22	1,47
F Out/Inv x Prim	2,65*	1,26	1,85*	1,57*	0,59	2,80*
CV Outono/Inverno (%)	9,54	6,59	7,16	7,77	10,60	6,01
CV Primavera (%)	9,43	9,38	9,03	9,96	10,90	4,93

* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

As diferenças no estoque de N na camada de 0-10 cm ocorreram apenas entre as culturas de primavera, quando a cultura antecessora foi o girassol, sendo que o maior estoque nessa camada ocorreu com o cultivo de milho, porém sem diferir do sorgo forrageiro. Resultado semelhante foi obtido na camada de 20-40 cm. Na camada de 40-60 cm as diferenças entre as culturas de primavera ocorreram apenas em sucessão ao triticale, tendo o sorgo proporcionado o maior estoque de N, porém sem diferir dos tratamentos com milho e escarificação. No acumulado do perfil (0-80 cm) verificou-se maior estoque de N com o cultivo de girassol em relação ao triticale, em local cultivado com milho na primavera. Já entre as espécies de primavera, as diferenças ocorreram apenas quando utilizou-se girassol no outono-inverno, havendo maior estoque de N com o cultivo de milho (15,62 Mg ha⁻¹) (Tabela 28). Esses resultados podem ser atribuídos à maior produção de raízes de sorgo e milho (Calonego e Rosolem, 2010), já que o aporte de N pela palha foi maior em tratamentos envolvendo crotalária.

Nunes et al. (2011), observaram que dentre culturas de cobertura, o milho se destacou pela influência nos estoques de C e N, tanto sob SSD como em preparo convencional. Valores próximos foram observados em experimento conduzido em Morrinhos – GO, sob sucessões de milho e feijão em SSD, com estoque de N na camada 0-40 cm de 8,40 e 7,29 Mg ha⁻¹, embora não tenham observado diferenças significativas, apenas uma tendência do SSD em acumular C e N (D'ANDREA, 2004). Em trabalho realizado em Dourados – MS, em Latossolo Vermelho sob SSD, analisando as culturas antecessoras de inverno sobre os efeitos no solo, observou-se no primeiro ano do estudo efeito do girassol e da crotalária no estoque de N na camada 0-5 cm, enquanto no ano subsequente somente no girassol nesta camada (SILVA, 2007). Em estudo realizado em Eldorado do Sul – RS, em Argissolo Vermelho sob SSD, observou-se que a utilização de

leguminosas na sucessão proporcionou aumento de cerca de 30 % no estoque de Nitrogênio no solo após 17 anos (DIEKOW, et al., 2005).

Tabela 28. Desdobramento de estoque de N no solo, em Mg ha^{-1} , das camadas de 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80, 0-80 cm, em função das rotações de cultura no experimento II e da mata.

Cultivo	Estoque de N (Mg ha^{-1})					
	Crotalária		Escarificação		Milheto	Sorgo
	0-10 cm					
Girassol	2,51 A	2,51 A	3,00 B	2,61 AB		
Triticale	2,86	2,61	2,65	2,74		
	10-20 cm					
Girassol	2,24	2,24	2,39	2,16		
Triticale	2,3	2,28	2,13	2,27		
	20-40 cm					
Girassol	3,54AB	3,32 A	3,84 B	3,45 AB		
Triticale	3,73	3,61	3,42	3,41		
	40-60 cm					
Girassol	3,01	3,21	3,19	2,98		
Triticale	2,69 A	2,90 AB	2,99 AB	3,22 B		
	60-80 cm					
Girassol	2,87	2,82	3,20	3,17		
Triticale	2,84	2,66	2,83	2,78		
	0-80 cm					
Girassol	14,22 A	14,11 A	15,62 bB	14,38 A		
Triticale	14,43	14,08	14,03 a	14,43		
	Profundidade (cm)					
Mata	0-10	10-20	20-40	40-60	60-80	0-80
	3,04	2,45	3,27	2,78	2,67	14,23

Médias seguidas de letras distintas, maiúscula na linha e minúscula na coluna, diferem entre si pelos teste t (DMS), a 5% de probabilidade, respectivamente.

Em função do nitrogênio oriundo das leguminosas ser mais eficiente em promover o acúmulo de C e possivelmente de N no sistema quando comparado a utilização de fertilizantes, pode ser a explicação do efeito nos estoques tanto de C como de N não somente na superfície do solo. Embora o acúmulo de N ainda seja um desafio, até mesmo para a agricultura conservacionista, principalmente em solos tropicais. Apesar da utilização de leguminosas nos sistemas de rotações, tem-se verificado vários fatores limitantes ao aporte de N ao sistema, reforçando a necessidade de plantas de

cobertura que tenham a característica de fixar N atmosférico e que possibilite um sincronismo entre a cobertura de solo e disponibilidade de nutrientes.

Mesmo não considerado um tratamento comparativo, pode-se fazer uma observação em relação ao estoque de C no solo da mata (Tabela 26), que foi de aproximadamente 250 Mg ha^{-1} , enquanto as médias dos cultivos foi de, aproximadamente, 175 Mg ha^{-1} . No entanto, os estoques de N nos solos de mata e de cultivo agrícola foram semelhantes, em torno de 14 e 15 Mg ha^{-1} . Isto é decorrente dos substratos orgânicos de decomposição rápida em ecossistemas naturais, os quais não contribuem para o incremento nos estoques de N no solo (CARDOSO et al. 2010).

Em comparação com os resultados de estoque de C e N no experimento I, verificou-se que no experimento II houve menor estoque de C e maior estoque de N, conferindo ao solo uma menor relação C/N, o que pode ser um indicativo da presença de matéria orgânica mais estabilizada (humificada), normal em solos com maior teor de argila

6.2.4 Emissão dos gases do efeito estufa (GEE)

As emissões de CO_2 , CH_4 e N_2O , em função de cada tratamento e das épocas de amostragens, estão representadas nas figuras 11-A, B e C, respectivamente. Com exceção da emissão de CO_2 no tratamento triticales/sorgo forrageiro, na segunda coleta (3DAS) na safra de outono-inverno, as emissões médias de CO_2 nessa safra foram muito inferiores às emissões de CO_2 promovidas nas demais épocas de cultivo. Já para o fluxo de N_2O , verificou-se alta emissão desse gás no cultivo de outono-inverno, na maioria dos tratamentos, principalmente até 8 DAS, coincidindo com umidade do solo alta e na condição de temperaturas amenas (em torno de $22 \text{ }^\circ\text{C}$).

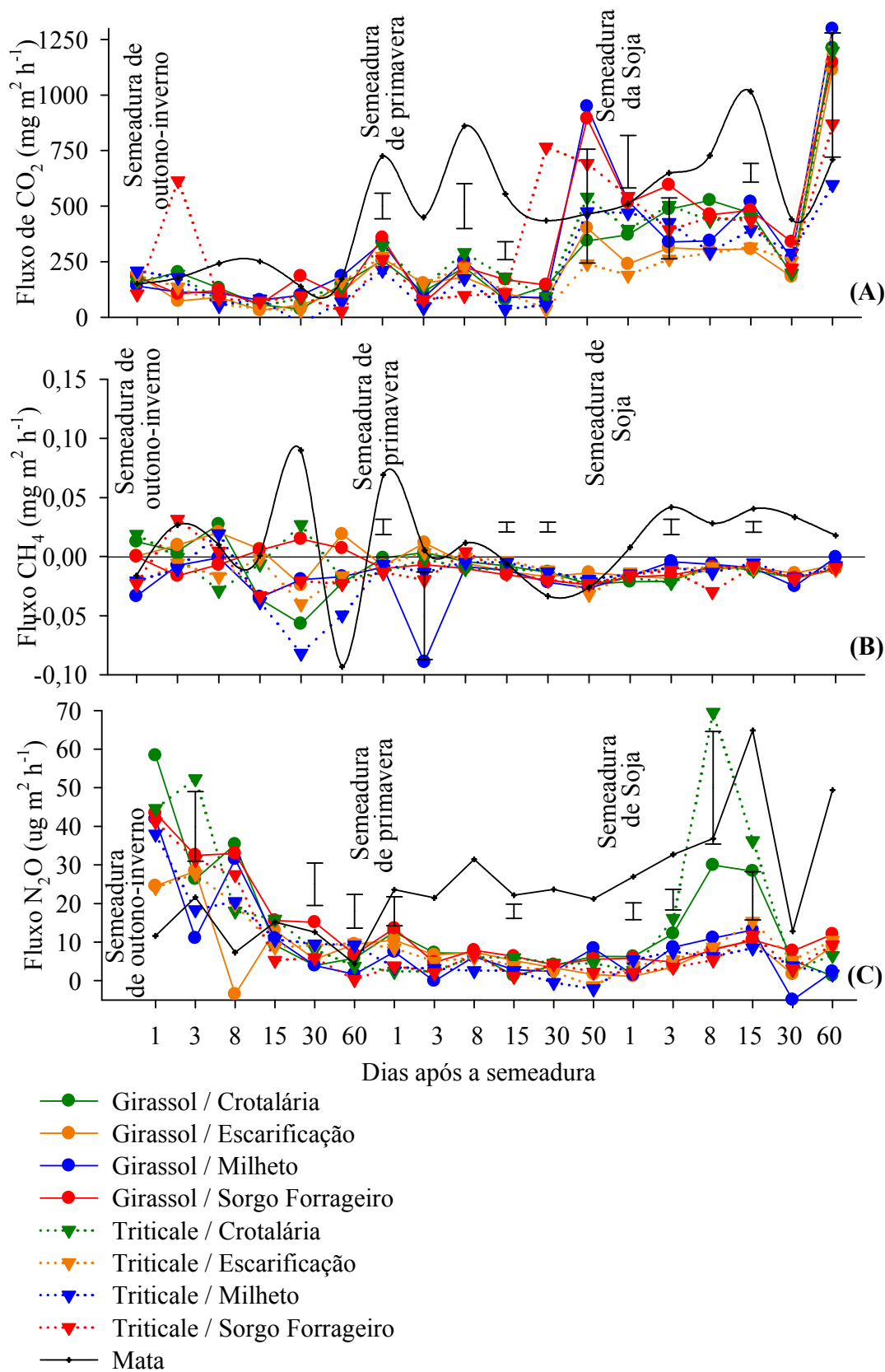


Figura 11. Fluxo de CO_2 (A), CH_4 (B) e N_2O (C), nas sucessões de culturas de outono / inverno conforme as épocas de amostragens no Nitossolo (Experimento II). Barras verticais correspondem ao DMS pelo teste t a 5 % de probabilidade.

A baixa emissão de CO₂ nesse safra pode ser explicada pela baixa precipitação pluvial e temperaturas amenas (ou baixas) característica dessa época do ano, reduzindo a decomposição da palha, mesmo havendo umidade satisfatória no solo, pois a emissão em solo de mata também foi baixa. Assim, fica evidente que as emissões dos GEE estão condicionados às condições climáticas, sendo influenciadas tanto pela umidade no solo como pela umidade na palha.

No geral, observou-se que as emissões de CO₂ e N₂O foram maiores logo após as semeaduras das espécies, com exceção das emissões de CO₂ antes do manejo das plantas de cobertura (50 DAS), podendo ser explicado pelo reumedecimento do solo após um período de seca, o que pode ter estimulado o crescimento da população microbiana, pois as emissões também foram dependentes da temperatura e umidade do solo (Figura 12-A, B). Outro período de destaque, principalmente na emissão de N₂O, ocorreu durante o cultivo da soja, quando as médias de emissão foram crescentes até o 8º ou 15º DAS, época em que ocorreu aumento da umidade do solo. Porém, no 30º DAS as emissões, tanto de N₂O como de CO₂, diminuíram em virtude da redução da umidade do solo, voltando a aumentar no 60º DAS acompanhando o aumento da umidade do solo, e na presença de temperaturas amenas (24 °C). A relação entre o fluxo de CO₂ e a umidade e a temperatura do solo está ligada ao aumento da atividade microbiana e respiração radicular (AMOS et al., 2005), como já discutido no item 6.1.4.

Na última avaliação das plantas de primavera, assim como da soja, foram verificados os picos máximos de emissão de CO₂, sendo bastante diferenciada entre as espécies. Estes resultados também foram verificados por Pavei (2005), atribuindo as maiores emissões de CO₂ em função do somatório das respirações das raízes, microrganismos e da fauna do solo.

Os maiores picos de emissão de N₂O foram em tratamentos envolvendo o cultivo de crotalária, já que essa espécie foi a que, em média, mais acumulou C e N na palha depositada sobre o solo. Já os maiores picos de emissão de CO₂ (entre as 18 épocas de coleta) ocorreram em parcelas cultivadas com sorgo forrageiro e milho. Em contrapartida, nos tratamentos com pousio na primavera verificou-se baixas emissões de CO₂, pelo menos até 15 DAS da soja no verão, já que a produção de palha foi limitada às plantas daninhas existentes na área, (com baixa infestação), limitando a oferta de substrato para a atividade microbiana do solo. Já as maiores emissões com palhadas de sorgo forrageiro e milho, mesmo essas espécies não sendo as que mais produziram palha, ou

que mais acumularam C e N, pode ser explicado pela maior relação C/N desses materiais, diminuindo a disponibilidade de N para auxiliar no processo de estabilização (humificação) da MOS, o que faz com que o C do solo seja perdido na forma de CO₂ (Moran et al., 2005). Segundo Urquiaga et al. (2010), o SSD, pela necessidade de manutenção de cobertura do solo, registra, geralmente, um aporte desbalanceado entre C e N ao solo, ou seja, com deposição de materiais com elevada relação C/N. Assim, considerando que a relação C/N da MO estável do solo situa-se em torno de 10, verifica-se um déficit de N na maioria dos sistemas de manejo, limitando a taxa de sequestro de C. Lenka & Lal (2013), afirmam que a cobertura do solo influencia mais as emissões de CO₂ do que comparada a adição de fertilizantes, nas devidas proporções.

Na somatória dos fluxos de GEE das 18 épocas de amostragem, verificou-se que a cultura mais emissora de CO₂ foi o sorgo forrageiro, independente do cultivo antecessor, com média de 330 mg m² h⁻¹ de CO₂, seguida do milho em sucessão ao girassol, com média de 323 mg m² h⁻¹ CO₂, porém, quando o milho foi cultivado subsequente ao triticale, verificou-se a menor emissão de CO₂, com média de 223 mg m² h⁻¹ CO₂. Isto pode ser explicado pelo maior estoque de C verificado no cultivo do sorgo forrageiro, assim como do milho, o que possibilita maior potencial de emissão de CO₂, principalmente por se tratar de espécies com maior relação C/N, como já explicado anteriormente. Em relação ao alta emissão acumulada no tratamento girassol/milho, isso pode ser explicado pelo maior estoque de N na superfície do solo (camada de 0-10 cm), o que pode propiciar uma alta atividade microbiana. Entre as espécies de outono-inverno, o girassol proporcionou maior emissão média acumulada, comparado ao triticale, com valores de 5321 e 4904 mg m², respectivamente (Tabela 29). Isto é decorrente dos maiores teores de N oriundos da palha da soja 2011/2012, outono-inverno e primavera 2012, além das menores relações C/N, o que possibilita inferir numa maior taxa de decomposição da palha e maior atividade microbiana, e consecutivamente maior emissão de CO₂.

As maiores somatórias de fluxo de N₂O foram verificadas pelos cultivos da crotalária como cultura de primavera, tanto em sucessão ao girassol como ao triticale, resultando em acúmulos de emissão de 261,0 e 302,4 µg m² h⁻¹ de N₂O, respectivamente. Este resultado deve-se 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).

Tabela 29. Somatório das emissões de CO₂ e CH₄ (mg m² h⁻¹) e N₂O (μg m² h⁻¹), referente às 18 épocas de coleta, em cada sucessão de cultura do experimento II e da mata.

Sucessão de culturas	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
outono-inverno / primavera	Σ mg m ² h ⁻¹		Σ μg m ² h ⁻¹
Girassol / Crotalária	5140,1	-0,2758	261,0
Girassol / Escarificação	4196,7	-0,0574	146,5
Girassol / Milheto	5812,4	-0,4531	160,1
Girassol / Sorgo Forrageiro	6137,1	-0,1556	237,8
Triticale / Crotalária	5459,1	-0,1826	302,4
Triticale / Escarificação	4259,1	-0,3295	172,5
Triticale / Milheto	4016,7	-0,4946	148,7
Triticale / Sorgo Forrageiro	5902,2	-0,3064	166,5
Mata	8718,6	0,1204	440,0

Em relação a mata nativa, observa-se que as emissões, apesar de superiores, seguiram o comportamento das emissões de CO₂ e N₂O das áreas agrícolas ao longo do ano, principalmente durante o cultivo das plantas de outono-inverno e de verão, possivelmente devido as condições de temperatura e umidade, aliado à maior disponibilidade de substrato para desencadear maiores fluxos naquele ambiente (CARDOSO et al. 2010). Os maiores fluxos de GEE na mata também podem ser atribuídos à menor PPA, o que deve ter facilitado a difusão dos gases, assim como verificado por Oliveiros (2011).

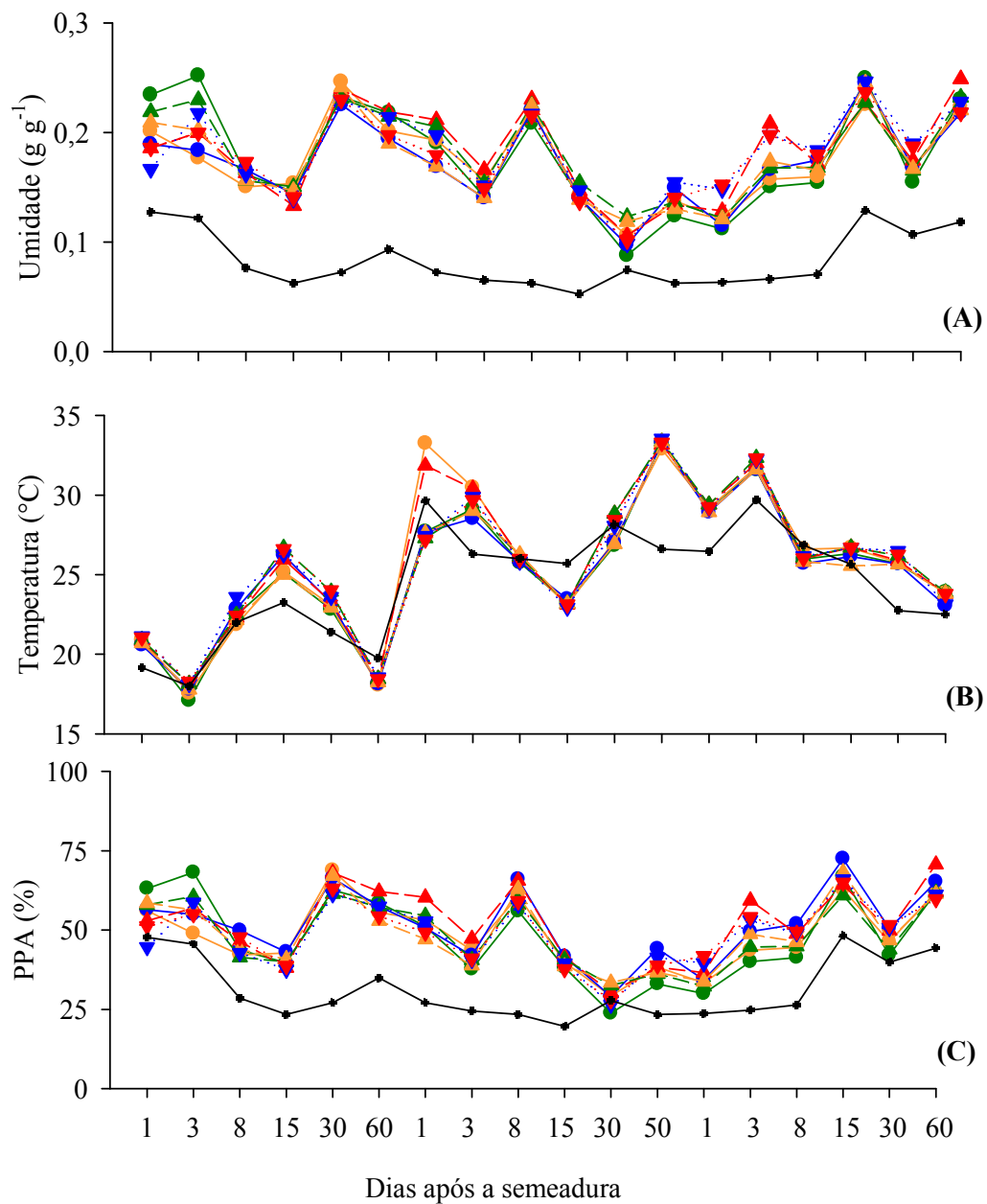


Figura 12. Umidade do solo (A), temperatura do solo (B), a 5cm de profundidade e Porosidade preenchida pela água PPA (C), nos dias de coleta das amostras de GEE no solo Experimento II.

Pode-se dizer que, no geral, as emissões de N_2O foram baixas (Figura 11-C), muito em função do não uso da adubação nitrogenada na área, que é o principal fator condicionante para as emissões de N_2O (HANGS, SCHOENAU e LAFOND, 2013). Estas emissões parecem ser decorrentes do aporte de resíduos que influenciam as emissões pela disponibilidade de C e N lábeis. De acordo com Baggs et al., (2000), os picos das emissões de N_2O são oriundos da decomposição microbiana e o aumento do substrato para a nitrificação e desnitrificação ou após o manejo de culturas no solo, o que geralmente ocorrem cerca de duas semanas no SSD (BAGGS et al., 2000). Concordando com os autores, os picos de emissão foram verificados durante o cultivo das culturas de outono-inverno e da soja no verão, enquanto que durante o cultivo de primavera, somente no primeiro dia após a semeadura foi verificada certa disparidade em relação as emissões subsequentes neste período. Emissões similares foram observadas por Piva et al. (2012), com o cultivo do milho até o período da aplicação da adubação nitrogenada de cobertura. Gomes et al. (2009), observaram que os resíduos de leguminosas proporcionaram maiores emissões de N_2O . Isto se deve às baixas relações C/N e lignina/N (CONTANTINIDES & FOWNES, 1994; BAGGS et al, 2001).

O SSD baseado em três safras agrícolas por ano, tendo como única fonte nitrogenada a utilização de plantas leguminosas, tem relevante impacto nas reduzidas emissões de N_2O , quando comparado a gramíneas com adubação mineral de N. Além disso, a melhoria das condições físicas por meio dos agregados, devido as sucessões, minimizam as emissões de N_2O do solo (METAY et al., 2007), além de contribuir com o fator dreno de CH_4 , em função da melhora da difusividade do O_2 e ao ambiente favorável aos organismos metanotróficos.

Na comparação entre os experimentos (I e II) quanto à emissão dos GEE, verificou-se maiores emissões tanto de C como de N no experimento I. Isso pode estar relacionado à menor relação C/N do solo constatado no experimento II (item 6.2.3), o que pode ter conferido maior estabilidade da MOS.

Quanto ao fluxo de CH_4 , (Figura 11-C), houve oxidação para o solo em praticamente todos os períodos analisados, assim como verificado no experimento I. Muitos fatores são condicionantes do influxo de CH_4 no solo inclusive, intrínsecos ao próprio solo (SETYANTO et al., 2002), destacando as variáveis do clima. Pode-se observar que quanto maior a temperatura do solo maior a oxidação do CH_4 , sendo que no

inverno a oxidação do CH₄ foi dependente da umidade do solo, concordando com Sainju et al., (2012) e Lenka e Lal (2013). Liebig et al. (2010) observaram que a absorção de CH₄ ocorre geralmente em condições de baixa umidade, e atribuem o efeito à menor mineralização de N que tem efeito antagônico com a absorção de CH₄.

O influxo de CH₄ foi maior durante o cultivo de outono-inverno, com valor acumulado de -1,01 mg m², e durante a soja no verão e o cultivo de primavera, os valores acumulados foram -0,6278 μg m² h⁻¹ e -0,6158 μg m² h⁻¹ de CH₄ (Figura 11-C).

Observa-se que o tratamento com pousio durante a primavera propiciou as menores taxas de oxidação do CH₄ tanto com o girassol como com o triticale como culturas antecessoras, com emissões acumuladas nessa época de -0,0450 e -0,1216 mg m² de CH₄, respectivamente. Isto pode ser explicado devido a ausência de cobertura vegetal e o revolvimento, apesar de ocorrido em 2009, pode interferir na população de microorganismos metanotróficos responsáveis pela oxidação do CH₄.

Dentre as culturas de outono-inverno, a taxa média de oxidação do girassol foi ligeiramente inferior comparada ao triticale, com oxidação acumulada de -0,2355 e -0,2783 mg m². Possivelmente esta associação esteja atrelada ao aporte mais significativo de N por meio do girassol, o que parece influenciar ligeiramente a taxa de oxidação do CH₄, como mencionado anteriormente.

A maior oxidação de CH₄ foi verificada no cultivo do milho, com taxa de -0,4531 e -0,4946 mg m² sob o cultivo antecessor do girassol e triticale, respectivamente.

Enquanto as sucessões de culturas independente das espécies proporcionaram a oxidação do CH₄, a mata teve comportamento de emissão do CH₄ para a atmosfera, com acumulado de 0,1204 mg m² h⁻¹, embora em certos períodos tenha propiciado um pequeno consumo deste gás. Estes resultados também foram verificados em outros trabalhos, os quais reportaram que florestas tropicais podem funcionar como fonte de CH₄ para a atmosfera (CARMO et al., 2006; FRANKENBERG et al., 2005).

6.2.5 Produtividade da Soja

O resumo da análise de variância para os resultados de rendimento da soja nas safras 2012 e 2013 estão apresentados na tabela 30. Pode-se observar que em ambas as safras, diferentemente das plantas de outono-inverno, as culturas de primavera

proporcionaram diferenças significativas sobre a produtividade da soja, tendo a safra 2013 rendimento ligeiramente superior ($3,11 \text{ Mg ha}^{-1}$) comparada a média da safra anterior, de $2,86 \text{ Mg ha}^{-1}$.

Tabela 30. Valores de F e média geral da produtividade da soja nas safras 2012 e 2013.

Cultivo	Produtividade da soja	
	2011/2012	2012/2013
F Outono/Inverno	0,21	1,38
F Primavera	3,34*	12,8*
F Out/Inv x Prim	3,19	0,62
CV Outono/Inverno (%)	18,08	4,28
CV Primavera (%)	9,53	3,57
Média (Mg ha^{-1})	2,86	3,11

* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Na safra de 2011/2012 os maiores rendimentos de soja foram obtidos com os tratamentos envolvendo o cultivo de crotalária ou com pousio como manejo de primavera (Figura 13). Esses resultados podem ser atribuídos tanto a melhorias nas condições físicas do solo pela crotalária e pela escarificação, como pelo aporte e N pela crotalária. Nos primeiros três anos de avaliação desses tratamentos, Calonego e Rosolem (2010) concluíram que a escarificação promove aumento na produtividade da soja nos primeiros anos após a realização desse manejo, porém, com o passar dos anos não há diferença com as produtividades obtidas em áreas cultivadas com plantas de cobertura.

Ao relacionar o rendimento, as emissões de GEE e o estoque de C no solo, verifica-se que no tratamento escarificado (com pousio na primavera) ocorreram altas produtividades de soja, com baixas emissões de CO_2 do solo. Porém, deve-se considerar que nesse tratamento há menor sequestro de C na palhada e há emissões de C devido à queima de combustível fóssil.

O sistema de sucessão de culturas ganha importância, devido ao fato da adubação ser somente utilizada na semeadura da soja, o que possivelmente não seja suficiente para os altos rendimentos obtidos, sendo os efeitos decorrentes da influência na disponibilidade de nutrientes das culturas antecessoras no solo e consecutivamente na absorção das culturas em sucessão (PAVINATO & ROSOLEM, 2008).

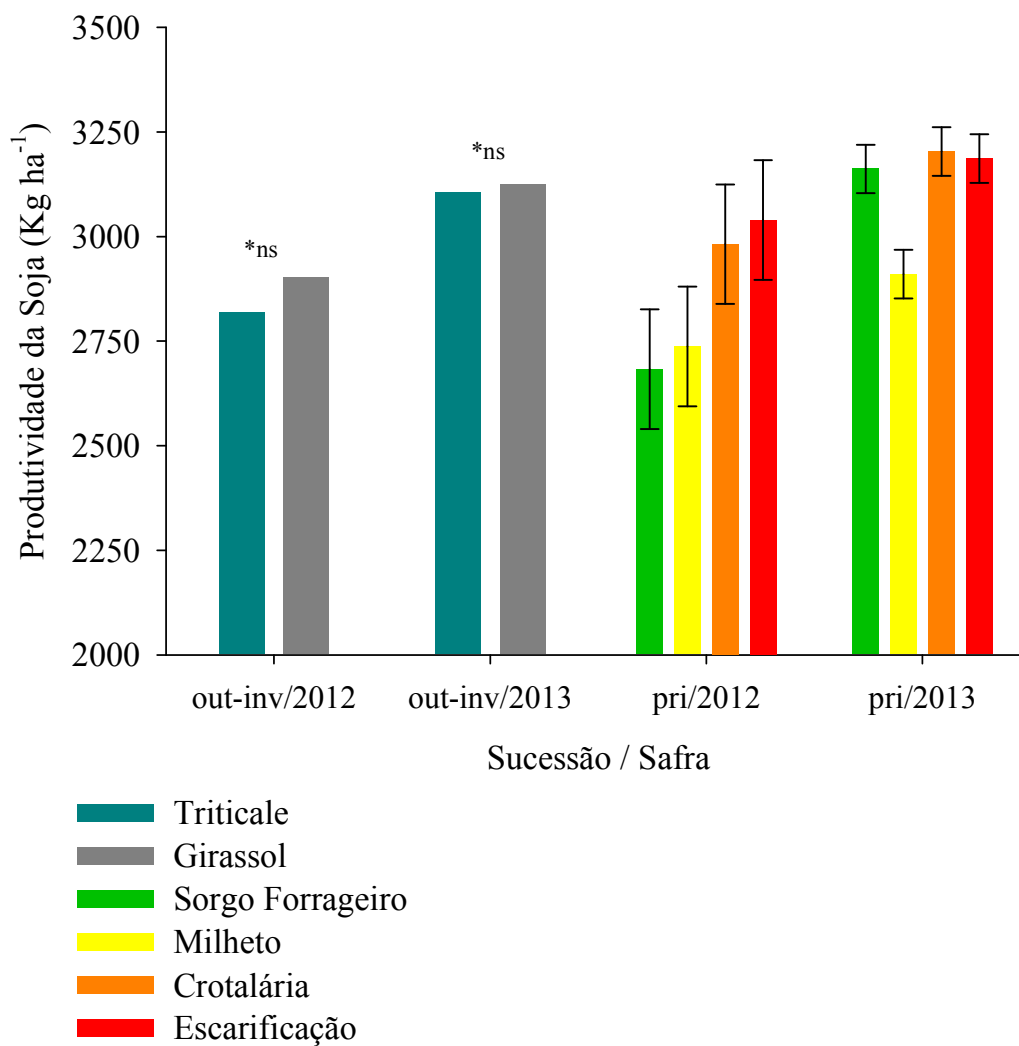


Figura 13. Produtividade da soja nas safras de 2012 e 2013 no solo Nitossolo para as culturas de outono-inverno e primavera. Barras verticais referem-se ao dms do teste t a 5% de probabilidade, para cada safra e época de sucessão.

7 CONCLUSÕES

O cultivo das plantas de primavera em SSD foi importante para o aporte de palha, C e N ao solo, porém, esse aporte foi afetado pelo cultivo de sorgo granífero como cultura de outono-inverno. Entre as espécies estudadas, a crotalária como cultura de primavera foi a que mais forneceu N por meio da palhada. Já no cultivo de outono-inverno o maior aporte de N ocorreu com a *Brachiaria ruziziensis*, o que pode sugerir o uso dessas espécies em rotação como forma de aumentar a disponibilidade de N no solo.

Apesar da palhada de crotalária apresentar altas quantidades de C e N, os maiores estoques desses elementos no solo ocorreram com o cultivo de sorgo forrageiro e milho. Já o manejo com pousio na primavera em área escarificada, apesar de aumentar a macroporosidade, reduziu os estoques de C.

As emissões de CO₂ e N₂O foram influenciadas pela quantidade e qualidade da palha, principalmente pela relação C/N e lignina/N. No experimento I, a cultura da *Brachiaria* e o sorgo granífero, ambos em sistemas solteiros, proporcionaram as maiores e menores emissões, respectivamente, de CO₂ e N₂O. No experimento II, as maiores emissões foram proporcionadas pelo cultivo do sorgo forrageiro e crotalária e as menores emissões por meio da escarificação. A temperatura e umidade do solo também condicionaram as emissões, principalmente sob baixa umidade e alta temperatura.

As sucessões de culturas resultaram, em ambos os experimentos, na oxidação de CH_4 , apesar de baixa magnitude, destacando-se no experimento I e II o cultivo do sorgo forrageiro e o milho, respectivamente, com as maiores taxas de influxo, enquanto que a mata teve caráter de fonte de CH_4 para a atmosfera.

No experimento I, o milho proporcionou a maior produtividade de soja no acumulado de duas safras, com menores emissões de GEE. No experimento II, a área escarificada nos anos de 2003 e 2009 manteve a produtividade de soja elevada, com baixas emissões de GEE, porém com menor estoque de C no solo.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABID, M.; LAL, R. Tillage and drainage impact on soil quality. I: Aggregate stability, carbono and nitrogen pools. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.100, p.89-98, 2008.

ACTON, S., BAGGS, E., Interactions between N application rate, CH₄ oxidation and N₂O production in soil. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v. v. 103, p. 15–26, 2011.

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.

AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa – MG, v. 27, p.601-612, 2003.

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

ANDRADE, R. da S.; STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. da. Culturas de cobertura e qualidade física de um Latossolo em plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, p. 411-418, 2009.

ARONSON, E.L., HELLIKER, B.R. Methane flux in non-wetland soils in response to nitrogen addition: a meta-analysis. **Ecology**, Davis, v. 91, p. 3242–3251, 2010.

ARSHAD, M.A.; LOWERY, B. & GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J.W. & JONES, A.J., eds. Methods for assessing soil quality. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, 1996. p.123- 141. (SSSA Special Publication, 49).

ASSAD, E. D.; PINTO, H. S. **Aquecimento global e cenários futuros da agricultura brasileira**. São Paulo: Embrapa Agropecuária CEPAGRI/UNICAMP, 2008. 84p.

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.

BAGGS, et al. Effect of residue quality on N₂O Emissions from tropical soils. In: Rees, R.M., Ball, B.C., Campbell, C.D., Watson, C.A. (Eds.), **Sustainable Management of Soil Organic Matter**. CAB International, Oxford, 2001, pp. 120–125.

BAIRD, C. **Química Ambiental**. 2ª ed. Trad. M.A.L. Recio e L.C.M Carrera. Porto Alegre: Bookman, 2002.

BALL, B.C. et al. Field N₂O, CO₂ and CH₄ fluxes in relation to tillage, compaction and soil quality in Scotland. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, , v.53, p.29-39, 1999.

BALL, E.; PHILIPPOT, L. Microbial terrestrial pathway to nitrous oxide. In: Smith, K. A. (ed.) **Nitrous oxide and climate change**. Londres: Earthscan, 2010. P. 4-35.

BASSO, F. C. et al. Relações entre produtividade de sorgo forrageiro e atributos físicos e teor de matéria orgânica de um Latossolo do Cerrado, **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 135-144, 2011.

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

BAYER, C. et al. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 86, n. 2, p. 237-245, 2006.

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. 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.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Nitrogênio total de um solo submetido a diferentes métodos de preparo e sistemas de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, n. 2 p. 235-239, 1997.

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, p. 611–621, 2009.

BERNOUX, M. CO₂ emission from mineral soils following land-cover change in Brazil. **Global Change Biology**, Urbana, v. 7, n. 1, p. 779-787, 2006.

BLACK, G.R.; HARTGE, K.H. Particle density. In: KLUTE, A. (Ed.). Methods of soil analysis. Madison: **American Society of Agronomy**, 1986. v.1, p.377-382.

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

BODELIER, P. L. E.; LAANBROEK, H. J. Nitrogen as a regulatory factor of methane oxidation in soils and sediments. **FEMS Microbiology Ecology**, Amsterdam, v. 47, p. 265–277, 2004.

BORGES, E.N. et al. Respostas de variedades de soja à compactação de camadas de solo. **Revista Ceres**, Viçosa, v.35, n.202, p.553-568, 1988.

BOUWMAN, A.F. Direct emission of nitrous oxide from agricultural soils. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 46, p. 53-70, 1996.

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.

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

CABEZAS, W. A. R. L. Manejo de gramíneas cultivadas em forma exclusiva e consorciada com brachiaria ruziziensis e eficiência do nitrogênio aplicado em cobertura. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Goiânia, v.10, n.2, p. 130-145, 2011.

CALONEGO, J. C.; ROSOLEM, C. A. Soybean root growth and yield in rotation with cover crops under chiseling and no-till. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 33, n. 3, p. 242-249, 2010.

CALONEGO, J.C. Uso de plantas de cobertura na recuperação de solo compactado. 2007. 125p. (**Tese Doutorado**) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

CALVO, C. L.; FOLONI, J. S. S. BRANCALIAO, S. R. Produtividade de fitomassa e relação C/N de monocultivos e consórcios de guandu-anão, milho e sorgo em três épocas de corte. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n.1, pp. 77-86, 2010.

CAMPOS, B. C. et al. Long-term C-CO₂ emissions and carbon crop residue mineralization in an oxisol under different tillage and crop rotation systems. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Viçosa, v. 35, n.3, pp. 819-832, 2011.

- CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; (Eds). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. P. 375-470.
- CARDOSO, D. P. Desempenho de plantas de cobertura no controle da erosão hídrica no sul de Minas Gerais. Universidade Federal de Lavras, 2009. 100p. **(Tese de Doutorado)**.
- CARDOSO, E. L. et al. Estoques de carbono e nitrogênio em solo sob florestas nativas e pastagens no bioma Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n.9, pp. 1028-1035, 2010.
- CARMO, J. B. et al. Source of methane from upland forests in the Brazilian Amazon. **Geophysical Research Letters**, Washington, v. 33, p. 1-4, 2006.
- CARNEIRO, M. A. C. et al., Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileiro de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n.1, p. 147-157, 2009.
- CARVALHO, J. L. N.; Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p.277-289, 2010.
- CASTOLDI, G. Nitrogênio no sistema solo-planta após a dessecação de Brachiarias. 2011. 83 f. Dissertação (**Mestrado em Agronomia**) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu.
- CASTRO, M. S. et al., Soil moisture as a predictor of methane uptake by temperate forest soils **Canadian Journal of Forest Research**, v. 24, n.9, p. 1805-1810, 1994.
- CAZETTA, D.A.; FORNASIERI FILHO, D. & GIROTTO, F. Composição, produção de matéria seca e cobertura do solo em cultivo exclusivo e consorciado de milho e crotalária. **Acta Science Agronomy**, Maringá, v. 27, p. 575-580, 2005.
- CERRI, C.C. & CERRI, C.E.P. **Agricultura e aquecimento global**. B. Inf. SBCS, v. 23, p;40-44, 2007.
- CHAVEZ, L.F. Emissões de CO₂ do solo sob preparo convencional e plantio direto em Latossolo Vermelho do Rio Grande do Sul. 2007. 80f. Dissertação (**Mestrado em Ciência do Solo**) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.
- CHAVEZ, L.F. et al. Carbon dioxide efflux in a Rhodic Hapludox as affected by tillage systems in Southern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p.325-334, 2009.
- CHUNG, H. et al., Indications for soil carbon saturation in temperate agroecosystem. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 72, p. 1132-1139 2008.
- CONCEIÇÃO, P. C.; et al., Fracionamento densimétrico com pulitungstato de sódio em estudos de proteção física da matéria orgânica do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 541-549, 2008.

CONSTANTINIDES, M., FOWNES, J.H., Nitrogen mineralization from leaves and litter of tropical plants—relationship to nitrogen, lignin and soluble polyphenol concentrations. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 26, p. 49–55, 1994.

COSTA, F. S. et al. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 323-332, 2008.

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, p. 2049-2053, 2008.

COUTINHO, R. P.; et al., Estoque de Carbono e Nitrogênio e emissão de N₂O em diferentes usos do solo na Mata Atlântica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 2, p. 195-203, 2010.

CRUSCIOL, C.A.C.; SORATTO, R.P. Nitrogen supply for cover crops and effects on peanut grown in succession under a no-till system. **Agronomy Journal**, Madison, v.101, p.40-46, 2009.

D'ANDREA, A. F. Estoque de Carbono e Nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, p.179-186, 2004.

DAVIDSON, E.A. & JANSSENS, I.A. Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. **Nature**, Oxford, v. 440, p. 165-173, 2006.

DIAS, A. C. **Plantas de cobertura de solo na atenuação da erosão hídrica no sul do estado de Minas Gerais**. Universidade Federal de Lavras, UFLA, 2012. 112 p.

DIECKOW, J. et al. Land use, tillage, texture and organic matter stock and composition in tropical and subtropical Brazilian soils **European Journal Soil Science**, Oxford, v. 60, p. 240-249, 2009.

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.

DRURY, C.F. et al. Influence of crop rotation aggregate size on carbon dioxide production and denitrification. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, , v.79, p. 87-100, 2004.

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. E. Emissão de gases de efeito estufa em sistemas de manejo em solo do planalto médio do Rio Grande do Sul. (**Dissertação de Mestrado**) Universidade Federal de Santa Maria – RS. 2008.

FANG, C.; MONCRIEFF, J. B. The dependence of soil CO₂ efflux on temperature. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 33, p. 155-165, 2001.

FARQUHARSON, R.; BALDOCK, J. Concepts in modelling N₂O emissions from land use. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 309, p.147–167, 2008.

FERREIRA, A. de O. et al. Carbon balance and crop residue management in dynamic equilibrium under a no-till system in Campos Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n.5 pp. 1583-1590, 2012.

FERREIRA, E. P de B. et al., Produtividade do feijoeiro comum influenciada por plantas de cobertura e sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.7, p.695–701, 2011.

FIERER, N.; SCHMEL, J. P. Effects of drying-rewetting frequency on soil and nitrogen transformations. **Soil Biology Biochemistry**, Oxford, 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.

FONTOURA, S. M. V.; BAYER, C. Adubação nitrogenada para alto rendimento de milho em plantio direto na região centro-sul do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 1721-1732, 2009.

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, D.; QIN, D.; MANNING, M.; CHEN, Z.; MARQUIS, M.; AVERYT, K.B.; TIGNOR, M. & MILLER H. L. 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, Cambridge University Press, 2007. p.129-234.

FRANK, A. B.; LIEBIG, M. A.; TANAKA, D. L. Management effects on soil CO₂ efflux in northern semiarid grassland and cropland. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 89, p. 78-85, 2006.

FRANKENBERG, C. et al., Assessing methane emissions from global space-borne observations. **Science Express**, Washington, v. 308, n. 5724, p. 1-8, 2005.

GALDOS, M. V. et al. Simulation of soil carbon dynamics under sugarcane with the Century Model. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 73, n. 3, p. 802-811, 2009.

GARCIA, R. A. Rotação de culturas e propriedades físicas e matéria orgânica de um Latossolo. **(Tese Doutorado)** Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP – Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia (Agricultura). 2010, 146f.

GIACOMINI, S.J. et al. Consorciação de plantas de cobertura no outono/inverno como fonte de nitrogênio ao milho em sistema plantio direto: II. Potencial de fornecimento de nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p. 751-762, 2004.

GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental**. 14. ed. Piracicaba: Degaspari, 2000.

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

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

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

GULDE, S. et al., Soil Carbon Saturation controll labile and stable carbon pool dynamics. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 72, p. 605-612, 2008.

HANGS, R. D.; SCHOENAU, J. J. LAFOND, G. P. The effect of nitrogen fertilization and no-till duration on soil nitrogen supply power and post-spring thaw greenhouse-gas emissions. **Journal Plant Nutritional Soil Science**, v. 176, p. 227-237, 2013.

HOUGHTON. J. T. MEIRA FILO, L. G.; LIM, B.; TREANTON, K.; MAMATY, O.; BONDUKI, Y.; GRIGGS, D. J.; CALLENDAR, B. A. (Eds) Revised 1996 **IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. IPCC/OECD/IEA: United Kingdom Uneted King, 1996.

HÜSTCH, B. W. Methane oxidation in arable soil a inhibited by ammonium, nitrite and organic manure with respect to soil pH. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 28, n. 1, p. 27-35, 1998.

HÜTSCH, B. W. Methane oxidation in non-flooded soils as affected by crop production—invited paper. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 14, p. 237–260, 2001.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. 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 University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2007.

JACINTHE, P. A.; LAL, R. Labile Carbon and methane uptake as affected by tillage intensity in a Mollisol, **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, , v. 80, p. 35-45, 2005.

JACINTHE, P.A., LAL, R. Methane oxidation potential of reclaimed grass land soils as affected by management. **Soil Science**, New Brunswick, v. 171, p. 772-783, 2006.

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, p.161-173, 2008.

JANTALIA, C.P.; et al. 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 seqüestro de C e nas emissões de gases de efeito estufa**. Porto Alegre: Gênese, 2006. p.157-170.

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

KERR, R.A. Millennium's hottest decade retains its title, for now. **Science**, Washington - DC, v.307, p.828-829, 2005.

KHALIL, M I.; BAGGS, E. M. CH₄ oxidation and N₂O emissions at varied soil water-filled por space and headspace CH₄ concentrations. **Soil Biological Biochemistry**, Oxford, v. 37, p. 1785-1795, 2005.

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

KLUTHCOUSKI, J.; AIDAR, H.; STONE, L.F. Integração lavoura-pecuária. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p.407-441.

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

LAL, R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. **Science**, Washington, v. 304, p. 1623-1626, 2004.

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.

LENKA, N. K. et al. Soil aggregation, carbono build up and root zone soil moisture in degraded sloping lands under selected agroforestry based rehabilitation systems in eastern India. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v.150, p. 54-62, 2012.

LENKA, N. K.; LAL, R. Soil aggregation and greenhouse gas flux after 15 years of wheat straw and fertilizer management in a no-till system. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam , v. 126, p. 78-89, 2013.

LI, X. et al. Nitrous oxide concentrations in an Andisol profile and emissions to the atmosphere as influenced by the application of nitrogen fertilizers and manure. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 35, p.108–113, 2002.

LIEBIG, M. A.; et al. Grazing management contributions to net global warming potential: a long-term evaluation in the northern Great Plains. **Journal of Environmental Quality**, Siebeldingen, v.39, p.799–809, 2010.

LIU, L., GREAVEN, T.L. A review of nitrogen enrichment effects on three biogenic GHGs: the CO₂ sink may be largely offset by stimulated N₂O and CH₄ emission. **Ecology Letters**, v.12, p. 1103–1117, 2009.

LOURENTE, E. R. P. et al. Rotação de culturas e relações com atributos químicos e microbiológicos do solo e produtividade do milho. **Semina**, Londrina, v. 31, n. 4, p. 829-842, 2010.

LOVATO, T. et al. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p.175-187, 2004.

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

MAJUMDAR, D.; MITRA, S. Methane consumption from ambiente atmosphere by a Typic Ustochrept soil as influenced by urea and two nitrification inhibitors. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 39, p. 140-145, 2004.

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.

MEGDA, M. M. et al. Correlação linear e espacial entre a produtividade de feijão e a porosidade de um Latossolo Vermelho de Selvíria (MS). **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 781-788, 2008.

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.

MENEZES, L.A.S. et al. Produção de fitomassa de diferentes espécies, isoladas e consorciadas, com potencial de utilização para cobertura do solo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.25, p.7-12, 2009.

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.

MILLAR, N.; BAGGS, E. M. Chemical composition or quality, or agroforestry residues influences N₂O emissions after their addition to soil. **Soil Biology & Biochemistry**, Amsterdam, v. 36, n. 6, p. 935-943, 2004.

MILLAR, N.; BAGGS, E. M. Relationships between N₂O emissions and water-soluble C and N contents of agroforestry residues after their addition to soil. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 37, n. 3, p. 605-608, 2005.

MOJEREMANE, W.; REES, R. M.; MENCUCCINI, M. The effects of site preparation practices on carbon dioxide methane and nitrous oxide fluxes from a peaty gley soil. **Forestry** v. 19, p. 1-15, 2011.

MOSIER, A. R. et al. Net global warming potential and greenhouse gas intensity in irrigated cropping systems in Northeastern Colorado. **Journal Environmental Quality**, Siebeldingen, v. 35, n. 4, p. 1584-1598, 2006.

NICOLOSO, R. S. Mecanismos de estabilização do carbono orgânico do solo em agroecossistemas de clima temperado e sub-tropical. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2009. 108p. (**Tese de Doutorado**).

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399 p.

NOVARA, A.; et al. Effects of soil compaction, rain exposure and their interaction on soil carbon dioxide emission. **Earth Surface Processes and Landforms**, Sussex, v. 37, p. 994-999, 2012.

NUNES, R. S. de. et al. Sistemas de manejo e os estoques de carbono e nitrogênio em latossolo de cerrado com a sucessão soja-milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, no.4, p.1407-1419, 2011.

OLIVEIROS, L. F. C. Balanço da emissão de gases de efeito estufa em Argissolo Vermelho sob sistemas de cultura em Plantio Direto. (**Tese Doutorado**), UFRGS, Porto Alegre, 2011.

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.

PAUL, E. A.; CLARK, F. E. Carbon cycling and soil organic matter. In: PAUL, E. A.; CLARK, F. E. (Ed.). **Soil microbiology and biochemistry**. San Diego: Academic, 1996. p. 130-155.

PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo: decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 32, n.3, pp. 911-920, 2008.

PENGTHAMKEERATI, P. et al., Soil Carbon dioxide efflux from claypan soil affected by surface compaction and applications of poultry litter. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 109, p. 75-86, 2005.

PEREIRA, M.G. et al. Carbono, matéria orgânica leve e fósforo remanescente em diferentes sistemas de manejo de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.45, p.508-514, 2010.

PERIN, A. et al. Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio por adubos verdes em cultivo isolado e consorciado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, p.35-40, 2004.

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

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, pp. 71-80, 2010.

PIVA et al.; No-till reduces global warming potential in a subtropical Ferrasol. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 361, p. 359-373, 2012.

RAIJ, B. V. et al. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas **Instituto Agrônomo**, 2001. 285p.

REGINA, K.; ALAKUKKU, L. Greenhouse gas fluxes in varying soil types under conventional and no-tillage practices. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 109, p. 144–152, 2010.

REICOSKY, D. C. et al. Tillage-induced CO₂ loss across an eroded landscape. **Soil & Tillage Research**.Amsterdam, 183–194p, 2005.

SÁ, M. A. C.; JUNIOR, J. D. G. S. **Compactação do solo: consequências para o 46 crescimento vegetal**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2005. 26p.

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.

SANTOS, M. L. et al. Correlação linear e espacial entre produtividade de milho (*Zea mays* L.) e atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico sob plantio direto do Cerrado brasileiro. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 28, n. 3, p. 313-321, 2006.

SCARPINELLA, G. A. Reflorestamento no Brasil e o Protocolo de Kyoto. 2002. 182 p. Dissertação (**Mestrado em Energia**) - Universidade de São Paulo, SP, 2002.

SEGHERS, D. et al., Long-term effects of mineral versus organic fertilizers on activity and structure of the methanotrophic community in agricultural soils. **Environmental Microbiology**, v.5, p. 867–877, 2003.

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.

SILVA, D. A. et al. Aporte de fitomassa pelas sucessões de culturas e sua influência em atributos físicos do solo no sistema plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 1, p.147-156, 2011.

SILVA, D. A.. Efeito de sucessões de culturas na qualidade do solo em um sistema plantio direto. (**Tese Doutorado Produção Vegetal**). Dourados, Mato Grosso do Sul, 2007, 80 p.

SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. **Análise de alimentos (métodos químicos e biológicos)**. 3.ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2002.

SILVA, E. C. da. et al. Manejo de nitrogênio no milho sob plantio direto com diferentes plantas de cobertura, em Latossolo Vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília – DF, v. 41, n. 3, pp. 477-486, 2006b.

SILVA, E. C. da. et al. Aproveitamento do nitrogênio (15N) da crotalária e do milheto pelo milho sob plantio direto em Latossolo Vermelho de Cerrado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n.4 pp. 1344-1351, 2006a.

SILVA, et al. Matéria orgânica e fertilidade do solo em cultivos consorciados de couve com leguminosas anuais. **Revista Ceres**, Viçosa, v.56, p. 93-102, 2009.

SILVA, J. E. et al. Carbon storage in clayey oxisol cultivated pastures in the “Cerrado” region, Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 103, p. 357-363, 2004.

SILVEIRA, P. M. da et al. Efeitos do manejo do solo sob plantio direto e de culturas na densidade e porosidade de um Latossolo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 24, n. 3, p. 53-59, julho/set. 2008.

SIMONA, C. et al. Nitrous oxide and methane fluxes from soils of the Orinoco savanna under different land use. **Global Changes Biology**, Urbana, v. 10, p. 1947-1960, 2004.

SIQUEIRA NETO, M. et al. Emissão de gases do efeito estufa em diferentes usos da terra no bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n.1, pp. 63-76, 2011.

SIQUEIRA NETO, M. et al. Rotação de culturas no sistema plantio direto em Tibagi (PR): I - Sequestro de carbono no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n.4 p. 1013-1020, 2009.

SIX, J. et al. The potential to mitigate global warming with no-tillage management is only realized when practiced in the long term. **Global Change Biology**, Urbana, v. 10, p. 156-160, 2004.

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

SMITH, K.A. et al. Oxidation of atmospheric methane in Northern European soils comparison with other ecosystems, and uncertainties in the global terrestrial sink. **Global Change Biology**, Urbana, v. 6, p. 791–803, 2000.

SNYDER, C. S. Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. **Agriculture, Ecosystem & Environmental**, Amsterdam, v. 133, p. 247-266. 2009.

SORATTO, R. P. et al. Produção, decomposição e ciclagem de nutrientes em resíduos de crotalaria e milho, cultivados solteiros e consorciados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.47, n.10, p.1462-1470, 2012.

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.

STEHFEST, E.; BOUWMAN, L. N₂O and NO emission from agricultural fields and soils under natural vegetation: summarizing available measurement data and modeling of global annual emissions. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 74, p. 207–228, 2006.

STRECK, N.A. Climate change and agroecosystems: the effect of elevated CO₂ and temperature on crop growth, development, and yield. **Ciência Rural**, v. 35, n. 3, p. 730-740, 2005.

SUWANWAREE, P.; ROBERTSON, G. P. Methane oxidation in forest, successional, and no-till agricultural ecosystems: effects of nitrogen and soil disturbance. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 69, p. 1722–1729, 2005.

TARAWALLY, M.A. et al. Field compaction at different soilwater status: effects on pore size distribution and soil water characteristics of a Rhodic Ferralsol in Western Cuba. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 76, p. 95-103, 2004.

TEIXEIRA, C. M. et al. Produção de biomassa e teor de macronutrientes do milho, feijão-deporco e guandu-anão em cultivo solteiro e consorciado, **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 1, p. 93-99, 2005.

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.

TIMOSSI, P. C.; DURIGAN, J. C.; LEITE, G. J. Formação de palhada por braquiárias para adoção do sistema plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 4, p. 617-622, 2007.

TORMENA, C.A et al. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo Vermelho distrófico cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, p.795-801, 2002.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; FABIAN, A. J. Produção de fitomassa por plantas de cobertura e mineralização de seus resíduos em plantio direto **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.3, p.421-428, mar. 2008.

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 Agrônômica**, Capinas, v. 130, p.12-21, 2010.

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

VIEIRA, F.C.B. Estoques e labilidade da matéria orgânica e acidificação de um Argissolo sob plantio direto afetado por sistemas de cultura e adubação nitrogenada. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007. 123p. (**Tese de Doutorado**).

VIEIRA, F.C.B. et al. Carbon management index based on physical fractionation of soil organic matter in na Acrisol under long-term no-till cropping systems. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 96, v. 195–204, 2007.

WAGNER, G. H.; WOLF, D. C. Carbon transformations and soil organic matter formation. In: SYLVIA, D. M.; **Principles and applications of soil microbiology**, New Jersey: Prentice Hall, 1999, p. 218-256.

WUTKE, E.B. Adubação verde: manejo da fitomassa e espécies utilizadas no Estado de São Paulo. In: WUTKE, E.B.. Curso sobre adubação verde no Instituto Agrônômico. Campinas: Instituto Agrônômico, 1993. p.17-29. (IAC. Documentos, 35).

ZANATTA, J. A. Emissão de óxido nitroso afetada por sistemas de manejo do solo e sistemas de manejo. 2009. 79 f. 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.

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.