

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

**EMISSÃO DE ÓXIDO NITROSO E PRODUTIVIDADE  
DO GIRASSOL SOB DIFERENTES FONTES DE  
ADUBAÇÃO NITROGENADA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Getúlio Elias Pilecco**

**Santa Maria, RS, Brasil.  
2013**

**EMISSÃO DE ÓXIDO NITROSO E PRODUTIVIDADE DO  
GIRASSOL SOB DIFERENTES FONTES DE ADUBAÇÃO  
NITROGENADA**

**Getúlio Elias Pilecco**

*Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração Biodinâmica e Manejo do Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de*  
**Mestre em Ciência do Solo.**

**Orientador: Dr. Sandro José Giacomini**

**Santa Maria, RS, Brasil.  
2013**

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Pilecco, Getúlio Elias

Emissão de óxido nitroso e produtividade do girassol sob diferentes fontes de adubação nitrogenada / Getúlio Elias Pilecco.-2013.

59 p.; 30cm

Orientador: Sandro José Giacomini

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, RS, 2013

1. Helianthus annuus 2. Adubação orgânica 3. Gases de efeito estufa 4. Balanço energético I. Giacomini, Sandro José II. Título.

---

©2013

*Todos os direitos autorais reservados a Getúlio Elias Pilecco. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.  
E-mail: pilecco35@yahoo.com.br*

---

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Ciências Rurais  
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo**

*A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Dissertação de Mestrado*

**EMISSÃO DE ÓXIDO NITROSO E PRODUTIVIDADE DO GIRASSOL  
SOB DIFERENTES FONTES DE ADUBAÇÃO NITROGENADA**

*elaborada por*  
**Getúlio Elias Pilecco**

*como requisito parcial para obtenção do grau de  
Mestre em Ciência do Solo*

**Comissão Examinadora:**

---

**Sandro José Giacomoni, Dr.**  
*(Presidente/Orientador)*

---

**Eduardo Lorensi de Souza, Dr. (UFSM)**  
*(Avaliador)*

---

**Mirla Andrade Weber, Dra. (UNIPAMPA)**  
*(Avaliador)*

*Santa Maria, 29 de julho de 2013.*

## AGRADECIMENTOS

*À Deus, pela força e coragem para continuar sempre.*

*Aos meus pais Milvo e Nilda, pelo incentivo, carinho, educação e pela confiança depositada em mim.*

*Aos meus irmãos Alexandre e Amábile, pela amizade e carinho.*

*À Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo.*

*À CAPES pela bolsa de estudo concedida.*

*Ao professor Sandro José Giacomini, pela orientação, pelos ensinamentos passados e pela amizade.*

*Aos professores do PPGCS pelos ensinamentos durante a realização deste curso.*

*Aos colegas e ex-colegas pós-graduandos do LABCEN, Douglas, Janquieli, Rosângela, Alessandra, Alex, Doneda, Guilherme, Maiara, Ricardo, Daniela, Pedro, Rogério, Paola, Vagner, Lineu, Mariângela, Stefen, Cantú, Ezequiel, Redin, pela amizade, momentos de descontração e ensinamentos compartilhados.*

*Aos demais colegas e amigos de curso, pela amizade.*

*Em especial aos bolsistas e ex-bolsistas de iniciação científica do LABCEN, Adriane, Aílson, Bruno, Cledir, Frederico, Heitor Isaías, Ismael, José, Leonardo, Luana, Maurício, Raquel, Willian. Muito obrigado a todos vocês pelo auxílio na realização deste trabalho e, sobretudo pela amizade, convívio e pelos momentos de alegria proporcionados por vocês.*

*Aos bolsistas e ex-bolsistas do grupo do professor Aita, pela amizade, convívio e momentos de descontração.*

*Aos funcionários do Departamento de Solo, Rose, Eunice, Héverton, Finamor, Paulinho, Michel, Pozzobon, pela amizade e pela ajuda.*

*À banca examinadora deste trabalho, composta pela professora Mirla Andrade Weber e pelo doutor Eduardo Lorensi de Souza, pelas considerações e contribuições.*

***À todos vocês, muito obrigado!***

*“A ciência permanecerá sempre a satisfação do desejo mais alto da nossa natureza, a curiosidade; fornecerá sempre ao homem o único meio que ele possui de melhorar a própria sorte.”*  
(Renan Ernest)

*“Para se ter sucesso, é necessário amar de verdade o que se faz. Caso contrário, levando em conta apenas o lado racional, você simplesmente desiste.”*  
(Steve Jobs)

*“O êxito da vida não se mede pelo caminho que você conquistou, mas sim pelas dificuldades que superou no caminho.”*  
(Abraham Lincoln)

*“Só existe uma coisa melhor do que fazer novos amigos: conservar os velhos.”*  
(Elmer G. Letterman)

## **RESUMO**

*Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo  
Universidade Federal de Santa Maria*

### **EMISSÃO DE ÓXIDO NITROSO E PRODUTIVIDADE DO GIRASSOL SOB DIFERENTES FONTES DE ADUBAÇÃO NITROGENADA**

**AUTOR: GETÚLIO ELIAS PILECCO**

**ORIENTADOR: SANDRO JOSÉ GIACOMINI**

*Data e Local da Defesa: Santa Maria, 29 de julho de 2013.*

*A cultura do girassol se destaca como uma das oleaginosas com grande potencial para utilização como fonte de matéria prima na produção de biodiesel no Brasil. No entanto, há uma carência de estudos realizados com o uso de fontes de adubação orgânica visando avaliar a eficiência fertilizante e o efeito destas sobre as emissões de gases de efeito estufa, especialmente o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), nos cultivos de girassol no Brasil. Neste contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da aplicação de fontes de adubação orgânica sobre o fornecimento de N, a produtividade de grãos e as emissões de N<sub>2</sub>O no cultivo do girassol em sistema de plantio direto. O experimento foi conduzido nos anos agrícolas de 2011/12 e 2012/13 em um Argissolo Vermelho Distrófico arênico. Os tratamentos aplicados no girassol foram: adubação mineral (NPK); cama de frango (CF); cama sobreposta de suínos (CS); e controle sem adubação nitrogenada. A aplicação dos adubos orgânicos aumentou o acúmulo de N e a produtividade do girassol, apresentando resultados similares à adubação mineral. No entanto, as emissões de N<sub>2</sub>O aumentaram com a aplicação dos fertilizantes orgânicos e mineral, especialmente nos primeiros 40 dias de avaliação. As maiores emissões acumuladas de N-N<sub>2</sub>O, na média dos dois cultivos, foram observadas nos tratamentos com adubação orgânica, variando de 3,1 (CS) a 3,85 (CF) kg N-N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>. A emissão acumulada de N-N<sub>2</sub>O verificada nos tratamentos CF e CS foi, respectivamente, 76 e 70% no primeiro cultivo e 55 e 53% superior a emissão acumulada do tratamento controle sem aplicação de N no segundo cultivo. Ao final dos dois anos de cultivo o fator médio de emissão de N<sub>2</sub>O nos tratamentos com aplicação de adubos orgânicos variou de 0,87% do N aplicado com cama sobreposta de suínos a 1,18% do N aplicado com cama de frango. Os valores médios dos fatores de emissão obtidos neste estudo, conforme metodologia do IPCC, para os tratamentos com adubação orgânica estão próximos do valor padrão de 1%. Para a adubação mineral o fator de emissão obtido foi inferior ao indicado pelo IPCC. Desta forma, os tratamentos com adubação orgânica apresentaram maior potencial de emissão de N<sub>2</sub>O, em relação à adubação mineral. Por outro lado, os resultados deste estudo mostram que a CF e a CS apresentam potencial de fornecimento de N semelhante à adubação mineral e indicam que esses resíduos orgânicos podem substituir a adubação nitrogenada mineral no cultivo do girassol em plantio direto.*

**Palavras-chave:** *Helianthus annuus. Adubação orgânica. Gases de efeito estufa. Balanço energético.*

## **ABSTRACT**

*Master Dissertation  
Graduate Program in Soil Science  
Federal University of Santa Maria*

### **EMISSION OF NITROUS OXIDE AND PRODUCTIVITY OF SUNFLOWER UNDER DIFFERENT SOURCES OF NITROGEN**

**AUTHOR: GETÚLIO ELIAS PILECCO  
ADVISOR: SANDRO JOSÉ GIACOMINI  
Santa Maria, 29-07-2013.**

*The sunflower crop stands as one of oilseeds with high potential for use as a source of feedstock for biodiesel production in Brazil. However, there is a lack of studies with the use of organic fertilizer sources to evaluate the fertilizer efficiency and the effect of these in emissions of greenhouse gases, especially nitrous oxide (N<sub>2</sub>O), in sunflower crops in Brazil. In this context, the aim of this study was to evaluate the effect of sources of organic fertilization on N supply, the grain yield and N<sub>2</sub>O emissions in the cultivation of sunflower in system tillage. The experiment was carried out in the years 2011/12 and 2012/13 on a Paleudalf. The treatments applied on sunflower were: mineral fertilizer (NPK), poultry litter (CF); pig deep litter (CS), and control without nitrogen fertilization. The application of organic fertilizers increased N accumulation and yield of sunflower, presenting results similar to mineral fertilization. However, N<sub>2</sub>O emissions increased with application of organic and mineral fertilizers, especially in the first 40 days evaluation. The largest cumulative emissions of N<sub>2</sub>O-N, in average of the two crops were observed in treatments with organic manure, ranging from 3.1 (CS) to 3.85 (CF) N-N<sub>2</sub>O kg ha<sup>-1</sup>. The accumulated emission of N<sub>2</sub>O-N observed in CS and CF treatments was, respectively, 76 and 70% for first crop and 55 and 53% higher than accumulated emission control treatment without N application in second crop. At the end of two years of cultivation the average emission factor of N<sub>2</sub>O in the treatments with application of organic fertilizers ranged from 0.87% of applied N with pig deep litter to 1.18% of N applied with poultry litter. The average emission factors obtained in this study, according to the methodology IPCC, for treatments with organic fertilization are close to the default value 1%. For mineral fertilizer the emission factor obtained was lower than indicated by the IPCC. Thus, treatments with organic fertilization had greatest potential N<sub>2</sub>O emission in relation to mineral fertilization. On the other hand, the results of this study show that the CF and CS have potential N supply similar to mineral fertilization and indicate that these residues can replace the organic mineral N fertilization in the cultivation of sunflower in no-tillage.*

**Keywords:** *Helianthus annuus. Organic fertilization. Greenhouse gases. Energy balance.*



## LISTA DE FIGURAS

### ARTIGO I

*Figura 1. Fluxos de N-N<sub>2</sub>O, N-mineral (NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), espaço poroso saturado por água (EPSA), precipitação diária e temperatura média diária durante o período de avaliação no primeiro cultivo de girassol (2011/12). Significado das letras e siglas: S: semeadura do girassol; NPK: adubação mineral; C: controle; CF: cama de frango; CS: cama sobreposta de suíno; U: aplicação de ureia em cobertura no tratamento NPK.....24*

*Figura 2. Fluxos de N-N<sub>2</sub>O, N-mineral (NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), espaço poroso saturado por água (EPSA), precipitação diária e temperatura média diária durante o período de avaliação no segundo cultivo de girassol (2012/13). Significado das letras e siglas: S: semeadura do girassol; NPK: adubação mineral; C: controle; CF: cama de frango; CS: cama sobreposta de suíno; U: aplicação de ureia em cobertura no tratamento NPK.....25*

### ARTIGO II

*Figura 1. Temperatura média do ar e precipitação diária ocorrida durante o período de cultivo do girassol em 2011/12 (a) e 2012/13 (b).....43*

## **LISTA DE TABELAS**

### **ARTIGO I**

*Tabela 1. Concentração de MS e quantidades de MS e N aplicadas no solo em dose única (na semeadura) dos adubos orgânicos, nos dois cultivos de girassol.....19*

*Tabela 2. Emissão cumulativa de N-N<sub>2</sub>O, produtividade de grãos e fator de emissão (% do N aplicado) durante os cultivos de girassol.....26*

### **ARTIGO II**

*Tabela 1. Conteúdo de matéria seca (MS) e quantidades de MS e nitrogênio (N) aplicadas no solo em dose única (na semeadura) com cada adubo orgânico, nos dois anos de cultivo do girassol.....45*

*Tabela 2. Conteúdo de N na matéria seca (MS) e grãos aproveitamento aparente do N aplicado<sup>(1)</sup>.....47*

*Tabela 3. Conteúdo de matéria seca (talo + folha + capítulo) e produção de grãos nos dois cultivos de girassol<sup>(1)</sup>.....49*

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>11</b>
<b>2 ARTIGO I - EMISSÃO DE ÓXIDO NITROSO NA CULTURA DO GIRASSOL SOB APLICAÇÃO DE DIFERENTES FONTES DE ADUBAÇÃO NITROGENADA .....</b>	<b>14</b>
<b>2.1 Resumo .....</b>	<b>14</b>
<b>2.2 Introdução.....</b>	<b>15</b>
<b>2.3 Material e métodos.....</b>	<b>17</b>
2.3.1 Localização, clima e solo .....	17
2.3.2 Delineamento experimental e tratamentos avaliados.....	18
2.3.3 Manejo da cultura.....	19
2.3.4 Avaliação das emissões de N <sub>2</sub> O .....	20
2.3.5 Análises de solo .....	21
<b>2.4 Resultados .....</b>	<b>22</b>
2.4.1 EPSA e N mineral .....	22
2.4.2 Fluxos de N <sub>2</sub> O durante o cultivo do girassol .....	23
2.4.3 Emissão acumulada de N-N <sub>2</sub> O e fator de emissão .....	26
<b>2.5 Discussão .....</b>	<b>27</b>
2.5.1 Fluxos de N <sub>2</sub> O.....	27
2.5.2 Emissão acumulada de N <sub>2</sub> O e fator de emissão.....	29
<b>2.6 Conclusões.....</b>	<b>32</b>
<b>2.7 Literatura citada .....</b>	<b>32</b>
<b>3 ARTIGO II - IMPACTO DA ADUBAÇÃO ORGÂNICA SOBRE A PRODUTIVIDADE DE GIRASSOL EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO.....</b>	<b>40</b>
<b>3.1 Resumo.....</b>	<b>40</b>
<b>3.2 Introdução.....</b>	<b>41</b>
<b>3.3 Material e métodos.....</b>	<b>42</b>
<b>3.4 Resultados e discussão .....</b>	<b>46</b>
<b>3.5 Conclusões.....</b>	<b>51</b>
<b>3.6 Literatura citada .....</b>	<b>51</b>
<b>4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>54</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>55</b>

# 1 INTRODUÇÃO GERAL

O efeito estufa é um fenômeno natural imprescindível para a manutenção da vida no planeta, sendo responsável pelo aquecimento da superfície terrestre e da atmosfera. No entanto, desde a Revolução Industrial as atividades antrópicas têm provocado alterações na biosfera, resultando no aumento da concentração atmosférica de três importantes gases causadores do efeito estufa: dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ) e óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) (IPCC, 2007). Os aumentos globais na concentração de  $\text{CO}_2$  são atribuídos principalmente ao uso de combustíveis fósseis e mudanças de uso da terra, por outro lado as atividades agrícolas são consideradas as maiores fontes de  $\text{CH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$ . Assim, os impactos destes gases de efeito estufa (GEE) sobre as mudanças climáticas no planeta tem sido um tema relevante nas investigações científicas. Esta preocupação justifica-se porque o aumento das concentrações destes gases na atmosfera tem sido apontado como uma das principais causas do aumento do aquecimento global (IPCC, 2007; Snyder et al., 2008).

A utilização de biocombustíveis de origem vegetal para atender as nossas necessidades de energia pode contribuir para reduzir as emissões de GEE e, a dependência dos combustíveis fósseis (Dornburg et al., 2005; Lal, 2008). A produção de energia oriunda de biomassa vegetal possibilita a remoção de  $\text{CO}_2$  da atmosfera, podendo atuar como uma fonte de energia substituta dos combustíveis fósseis. Desta forma, pode-se esperar um efeito positivo sobre a redução das emissões de  $\text{CO}_2$ . No entanto, a liberação de outros GEE como o  $\text{N}_2\text{O}$  durante o desenvolvimento das culturas energéticas, pode reduzir ou contrabalançar o efeito positivo destas sobre a mitigação das emissões de  $\text{CO}_2$  (Crutzen et al., 2008; Kern et al., 2010), resultando em um importante impacto sobre o balanço global de GEE dos biocombustíveis (Smeets et al., 2009).

O  $\text{N}_2\text{O}$  é um GEE, cuja concentração atmosférica é relatado ter aumentado de cerca de 270 partes por bilhão (ppb) durante a era pré-industrial, para 319 ppb em 2005 (Forster et al., 2007; Snyder et al., 2009). Embora as emissões de  $\text{N}_2\text{O}$  sejam muito menores, este gás possui um potencial de aquecimento global (PAG) 298 vezes superior, quando comparado ao  $\text{CO}_2$  (IPCC, 2007). O  $\text{N}_2\text{O}$  é produzido no

solo, principalmente, pelos processos microbiológicos de nitrificação e desnitrificação. Como a maior parte do  $N_2O$  emitida a partir de solos é produzido por estes dois processos (Hutchinson & Davidson, 1993; Ambus et al., 2006), a adição de fertilizantes nitrogenados em solos agrícolas aumenta potencialmente as emissões de  $N_2O$  (Chu et al., 2004; Cardenas et al., 2010).

Estima-se que as atividades agrícolas sejam responsáveis por mais de 75% do total mundial das emissões antrópicas de  $N_2O$  (Duxbury et al., 1993; Isermann, 1994; Abdalla et al., 2010; Jackson et al., 2009). No Brasil, atribui-se à agricultura, cerca de 93% das emissões de  $N_2O$  (MCTI, 2013). A produção deste gás, além de ter efeitos adversos sobre o aquecimento global, também resulta na perda de nitrogênio (N) disponível no solo para as plantas (Beaulieu et al., 2011). Portanto, a contribuição dos solos agrícolas para o aumento do aquecimento global tem sido um importante foco de pesquisas sobre a influência da forma e da quantidade de fertilizantes nitrogenados sobre fluxos de  $N_2O$  (Mosier, 1998; Verma et al., 2006; Jones et al., 2007).

O Brasil ocupa o terceiro e o quarto lugar, respectivamente, no ranking mundial de produção de aves e suínos, com destaque para região Sul (IBGE, 2010). Estas atividades geram uma enorme quantidade de dejetos, tornando o uso da cama de frango e da cama sobreposta de suínos uma fonte alternativa de nutrientes para as plantas. Estes resíduos orgânicos podem constituir-se fertilizantes agrícolas eficientes e seguros na produção de grãos, uma vez que são ricos em nutrientes, principalmente em N (Konzen, 2003). Segundo Eghball (2002) e Edmeades (2003), a prática da aplicação de dejetos animais no solo como uma fonte alternativa de nutrientes para as plantas pode ser muito benéfica. Existem evidências substanciais na literatura de que a adição de resíduos orgânicos aumenta a matéria orgânica do solo (MOS) (Annabi et al., 2011; Zerzghi et al., 2010). Este aumento do conteúdo de carbono orgânico (CO) melhora várias propriedades físicas (Leroy et al., 2008; Celik et al., 2004) e químicas do solo (Bulluck III et al., 2002), incluindo o aumento da disponibilidade de nutrientes essenciais para o crescimento das plantas, como o N. No entanto, a adição destes resíduos orgânicos ao solo pode aumentar a produção e as emissões de GEE (Chang et al., 1998; Hayakawa et al., 2009; Sistani et al., 2010). A adição de compostos orgânicos de carbono (C) ao solo pode estimular o crescimento microbiano e a respiração, além de fornecer o carbono orgânico (CO)

*necessário para os microrganismos desnitrificadores do solo reduzirem nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) (Cameron et al., 2013). Desta forma, as aplicações de adubos orgânicos podem contribuir para as emissões de  $\text{N}_2\text{O}$  tanto através da nitrificação, como desnitrificação (Thangarajan et al., 2013).*

*O girassol (*Helianthus annuus* L.) é uma dicotiledônea anual originária da América do Norte. A cultura se destaca entre as oleaginosas, sendo considerada a quarta oleaginosa em produção de óleo e a quinta em produção de grãos no mundo (FAO, 2008). No Brasil, a ampla adaptação às condições edafoclimáticas apresentada pela cultura, permite o seu cultivo em todas as regiões produtoras de grãos (Silva et al., 2011). Nos últimos anos a busca por fontes alternativas de energia às não renováveis, tem impulsionado a demanda por óleos de origem vegetal. Nesse sentido, a cultura do girassol pode tornar-se uma opção viável devido ao alto teor e qualidade de óleo, podendo ser cultivada em larga escala e com rendimentos elevados (Zobiolo et al., 2010). A adubação nitrogenada constitui um fator importante na determinação do rendimento do girassol. A cultura pode extrair grandes quantidades de N do solo, sendo que aproximadamente a metade do N acumulado é exportado pelos grãos (Carvalho & Pissaia, 2002; Lobo et al., 2012). Nesse contexto, o presente estudo teve por objetivo avaliar as emissões de  $\text{N}_2\text{O}$  e o aproveitamento do N aplicado na cultura do girassol e a produtividade de grãos, sob diferentes fontes de adubação nitrogenada em plantio direto.*

## **2 ARTIGO I - EMISSÃO DE ÓXIDO NITROSO NA CULTURA DO GIRASSOL SOB APLICAÇÃO DE DIFERENTES FONTES DE ADUBAÇÃO NITROGENADA**

### **2.1 Resumo**

O efeito da aplicação de diferentes fontes de adubação nitrogenada sobre as emissões de óxido nitroso ( $N_2O$ ) ainda é pouco conhecido nos sistemas agrícolas de produção de girassol no Brasil. Este estudo foi realizado com o objetivo de avaliar o impacto do uso de adubos orgânicos, cama de frango e cama sobreposta de suínos, sobre as emissões de  $N_2O$  na cultura do girassol em comparação à fertilização mineral (NPK) e sem aplicação de nitrogênio (N) (controle). A aplicação dos fertilizantes foi realizada em superfície no momento da semeadura do girassol em plantio direto, em quantidades equivalentes a  $60 \text{ kg N ha}^{-1}$  nos tratamentos fertilizados com N, os quais seguiram um delineamento de blocos ao acaso com quatro repetições. As emissões de  $N_2O$  foram mensuradas através do método da câmara estática, com as coletas de amostras de ar realizadas aos 0, 15 e 30 min após o fechamento das câmaras, durante todo o ciclo da cultura, sendo a concentração do gás determinada por cromatografia gasosa. A emissão de  $N_2O$  para a atmosfera aumentou com a aplicação dos fertilizantes, principalmente nos primeiros 40 dias após a aplicação. Os fluxos diários de  $N-N_2O$  observados foram maiores no primeiro cultivo de girassol, variando de  $-0,7$  (T) a  $548$  (CF)  $\text{g N-N}_2\text{O ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ . Considerando a média dos dois cultivos, a aplicação dos adubos orgânicos também promoveu sensível aumento das emissões acumuladas de  $N-N_2O$  em comparação à fertilização mineral, com destaque para a cama de frango. Dentre os materiais orgânicos, a emissão acumulada foi mais baixa com cama sobreposta de suíno. O fator de emissão de  $N-N_2O$  médio dos dois cultivos de girassol variou de 0,24% do N aplicado no tratamento com adubação mineral a 1,18% com cama de frango.

**Palavras-Chave:** Efeito estufa. Cama de frango. Cama sobreposta de suínos. Fator de emissão.

## 2.2 Introdução

Os incrementos verificados nas concentrações atmosféricas de gases de efeito estufa (GEE) como o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ) e o óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) são responsáveis pela causa de um dos principais problemas ambientais atuais: o aumento do efeito estufa antrópico e, como consequência, o aumento do aquecimento global (Janzen, 2004; Snyder et al., 2008). Os aumentos globais na concentração de  $\text{CO}_2$  são atribuídos principalmente ao uso de combustíveis fósseis e mudanças de uso da terra, enquanto as atividades agrícolas são consideradas as maiores fontes de  $\text{CH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$  (IPCC, 2007; Siqueira Neto et al., 2009).

A utilização de biocombustíveis de origem vegetal para atender as necessidades de energia pode contribuir para mitigar as emissões de GEE e a dependência dos combustíveis fósseis (Dornburg et al., 2005; Lal, 2008). Isso porque as culturas energéticas removem o  $\text{CO}_2$  do ar através da fotossíntese durante o seu desenvolvimento, armazenando-o na biomassa e no solo. Assim, o carbono (C) liberado durante a combustão dos biocombustíveis foi previamente extraído da atmosfera pelas plantas (Farrell et al., 2006; Kim & Dale, 2006; Havlík et al., 2011). Desta forma, com a necessidade de mitigar as emissões de GEE, aumentou-se rapidamente a produção e a demanda mundial de biocombustíveis nos últimos anos (Smeets et al., 2009). Até recentemente, era assumido que a substituição de combustíveis fósseis por combustíveis a partir de biomassa teria um efeito positivo, contribuindo para a mitigação do aquecimento global, devido à geração de níveis mais baixos de GEEs. Contudo, a mitigação das emissões, alcançada com a substituição dos combustíveis fósseis, pode ser contrabalançada durante a produção de culturas bioenergéticas destinadas à produção de biocombustíveis, devido à ocorrência de emissões de outros GEE, como o  $\text{N}_2\text{O}$  (Adler et al., 2007; St Clair et al., 2008; Crutzen et al., 2008; Don et al., 2011; Carter et al., 2012).

O  $\text{N}_2\text{O}$  é um potente GEE, com um potencial de aquecimento global (PAG) cerca de 298 vezes superior ao do  $\text{CO}_2$  (IPCC, 2007), produzido no solo principalmente através dos processos microbiológicos de nitrificação e



desnitrificação (Firestone & Davidson, 1989; Harrison & Webb, 2001; Moreira & Siqueira, 2006). Estes processos são influenciados pelo manejo do solo, tais como a fertilização e o preparo do solo, e fatores abióticos como temperatura, porosidade do solo, teor de umidade, pH e C lábil (Skiba & Smith, 2000; Ruser et al., 2001; Jungkunst et al., 2006; Stehfest & Bouwman, 2006).

Semelhante as demais culturas, as que são utilizadas para a produção de óleo, necessitam da aplicação de fertilizantes nitrogenados para a sua produção. Estes podem ser aplicados no solo sob a forma de adubo mineral ou também na forma de resíduos culturais e dejetos de animais (Snyder et al., 2009). No entanto, dependendo da dose aplicada e das condições edafoclimáticas, a adição destas diferentes fontes de N no solo pode conduzir à emissão de  $N_2O$  pelos processos de nitrificação e desnitrificação. O uso de dejetos animais como fertilizantes pode aumentar as emissões de  $N_2O$  do solo, por geralmente fornecerem elevado teor de C lábil. O C disponível é um substrato para a desnitrificação e este processo é geralmente mais estimulado pela adição de aditivos orgânicos do que por N sintético (Loro et al., 1997; Mogge et al., 1999; Tenuta et al., 2000; Dambreville et al., 2006). Desta forma, mesmo pequenas quantidades deste gás resultantes da aplicação de fertilizantes sintéticos ou dejetos de animais, têm um papel importante no balanço de GEE dos biocombustíveis (Larson, 2006).

Aumento das emissões de  $N_2O$  também implicam perdas de N-fertilizante do sistema agrícola, reduzindo a disponibilidade deste nutriente para as plantas cultivadas (Inselbacher et al., 2011). Para o cálculo das emissões de  $N_2O$  de solos adubados o relatório do IPCC (2006) recomenda um fator de emissão constante de 1%, expresso na forma de  $N-N_2O$ , da quantidade de N aplicado em solos agrícolas. Porém, esta metodologia desconsidera o fato de que a produção de  $N_2O$  no solo pelos microrganismos é afetada por uma série de fatores bióticos e abióticos. A fração de N dos fertilizantes que se perde na forma  $N_2O$  pode variar não só com o clima, condições do solo, práticas agrícolas e com o tipo de fertilizante (Rochette et al., 2008), mas também com o tipo cultura (Philippot et al., 2008; Sauer et al., 2009). De acordo com Abdalla et al. (2010), esse fator de emissão pode variar de 0,2% a 8% para as culturas de cereais. Isso deixa evidente que o fator de emissão do IPCC fornece apenas uma informação muito geral sobre as emissões de  $N_2O$ , não podendo ser regionalizado. Assim, a utilização deste fator para tomar decisões sobre

*o manejo e a escolha das culturas energéticas para produção de biocombustíveis pode ser inadequada, não resultando na mitigação de GEE esperada (Carter et al., 2012).*

*A cultura do girassol (*Helianthus annuus* L.) é a quarta oleaginosa mais produzida no mundo (FAO, 2008). No Brasil, a ampla adaptação às condições edafoclimáticas apresentada pela cultura, permite o seu cultivo em todas as regiões produtoras de grãos (Silva et al., 2011), mostrando-se uma excelente opção de cultivo em rotação ou sucessão de culturas (Leite et al., 2007). Nos últimos anos a busca por fontes alternativas de energia às não renováveis, tem impulsionado a demanda por óleos de origem vegetal. Nesse sentido, a cultura do girassol pode tornar-se uma opção viável devido ao alto teor de óleo (40%), quando comparado à cultura da soja (18%), podendo ser cultivada em larga escala e com rendimentos elevados (Zobiolo et al., 2010).*

*Considerando a existência de uma grande carência de informações sobre o efeito de diferentes fontes de N (orgânicas e minerais) sobre as emissões de  $N_2O$  e a crescente demanda mundial por biocombustíveis, torna-se importante a realização de estudos nas condições edafoclimáticas locais visando à avaliação da magnitude das emissões deste GEE durante o cultivo do girassol. Assim, podemos buscar estratégias de manejo mais adequadas para mitigar as emissões de  $N_2O$ , melhorando o balanço energético da cultura. Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar a influência de diferentes fontes de fertilizantes nitrogenados sobre as emissões de  $N_2O$  na cultura do girassol.*

## **2.3 Material e métodos**

### **2.3.1 Localização, clima e solo**

*O experimento foi realizado nos anos de 2011 a 2013 na área experimental do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, (29°42´S, 53°42´W; cerca de 90 m de altitude), Rio Grande do Sul, Brasil. O clima do*

local é subtropical úmido, tipo Cfa2 (segundo classificação de Köppen). Os dados meteorológicos do período avaliado foram obtidos nos registros da Estação Automática de Meteorologia do Departamento de Fitotecnia da UFSM, distante aproximadamente 1,6 km da área experimental.

O solo é classificado como Argissolo Vermelho Distrófico arênico (Embrapa, 2006), com textura franco arenosa. As características químicas e físicas, na camada 0-0,1 m, apresentadas no início das avaliações foram as seguintes: 1,3% de matéria orgânica (MO); 63% Areia; 12% Argila; 25% Silte; 30,1 mg dm<sup>-3</sup> de P; 66 mg dm<sup>-3</sup> de K; pH H<sub>2</sub>O 5,9; CTC pH<sub>7</sub> de 7,78 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>.

### 2.3.2 Delineamento experimental e tratamentos avaliados

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com quatro repetições, totalizando dezesseis unidades experimentais com dimensões de 5m x 5m (25m<sup>2</sup>). Os tratamentos avaliados consistiram de diferentes fontes de adubação nitrogenada: T1 - fertilizante mineral (NPK); T2 - cama de frango (CF); T3 - cama sobreposta de suíno (CS); e T4 - controle sem o uso de fertilizante nitrogenado (Controle).

A CF utilizada no experimento era proveniente de aviário de criação de frangos de corte, com uma média de cinco lotes de frangos sobre cama de maravalha. A CS foi coletada após terem sido criados três lotes de suínos em fase de terminação sobre uma cama de casca de arroz. Nos dois tipos de material orgânico foram analisados, sem secagem prévia, os teores de matéria seca (MS), N total e N mineral (amoniacoal e nítrico) conforme Tedesco et al. (1995). As principais características e as quantidades adicionadas de MS e N com a CF e a CS estão apresentadas na Tabela 1. A dose de CF e CS foi estabelecida com base na recomendação de adubação orgânica da Comissão de Química e Fertilidade do Solo (CQFS - RS/SC, 2004), que considera que 50% do N total presente nesses materiais orgânicos estarão disponíveis à cultura em sucessão a aplicação. A adubação orgânica foi aplicada em dose única na superfície do solo imediatamente após a semeadura, correspondendo a 120 kg de N total ha<sup>-1</sup> (60 kg de N disponível ha<sup>-1</sup>).

No tratamento NPK foram aplicados na sementeira 20 kg ha<sup>-1</sup> de N, 30 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 30 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>, nas formas de sulfato de amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>SO<sub>4</sub><sup>-</sup>), superfosfato triplo (SFT) e cloreto de potássio (KCl), respectivamente. Em cobertura foram aplicados 40 kg de N ha<sup>-1</sup>, na forma de ureia, aos 40 dias após a emergência das plantas. Nos dois anos agrícolas a adubação estabelecida foi para uma expectativa de rendimento de 2 Mg ha<sup>-1</sup> para o girassol.

Tabela 1. Concentração de MS e quantidades de MS e N aplicadas no solo em dose única (na sementeira) dos adubos orgânicos, nos dois cultivos de girassol.

Material orgânico	Dose aplicada	MS	MS	N	N	N
	Mg ha <sup>-1</sup>	%	Mg ha <sup>-1</sup>	total	amoniaco	nítrico
					.....kg ha <sup>-1</sup> .....	
					.....Girassol 2011.....	
CF	6,6	66	4,4	119,5	41,2	20,1
CS	12,1	61	7,4	119,8	26,7	8,2
					.....Girassol 2012.....	
CF	6,2	63	3,9	119,7	31,9	16,1
CS	12,7	59	7,5	119,4	29,1	7,2

<sup>(1)</sup>CF: Cama de Frango; CS: Cama de Suíno.

### 2.3.3 Manejo da cultura

A sementeira do girassol no primeiro e segundo cultivo foi realizada em 14 de outubro de 2011 e 9 de novembro de 2012, respectivamente. Nos dois anos agrícolas, a sementeira foi realizada de forma mecanizada com semeadora para plantio direto sobre uma cobertura de 3,4 Mg ha<sup>-1</sup> de palha de aveia preta (*Avena strigosa*) em 2011 e, de 4,7 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos culturais de canola (*Brassica napus* L.) em 2012. Em 2011 a cultivar de girassol utilizada foi a Embrapa BRS 324 e em 2012 o híbrido simples Dow Agrosience M734. Nos dois anos o espaçamento entrelinhas foi de 0,7m, com uma população final de aproximadamente 45.000 plantas ha<sup>-1</sup>. No segundo ano de cultivo a sementeira do girassol foi realizada nas mesmas parcelas utilizadas no cultivo anterior. Durante o desenvolvimento do

girassol foram realizadas irrigações por aspersão quando constado déficit hídrico. Também foi realizada a aplicação foliar, aos 40 dias após a emergência das plantas nos dois cultivos de girassol, de  $1,5 \text{ kg ha}^{-1}$  de boro na forma de borato de sódio (bórax).

#### 2.3.4 Avaliação das emissões de $\text{N}_2\text{O}$

As avaliações das emissões de  $\text{N}_2\text{O}$  foram realizadas com o auxílio de um sistema composto por uma base e uma câmara estática, conforme proposto por Mosier (1989). Em cada tratamento foram instaladas três bases retangulares, confeccionadas em aço galvanizado, com dimensões de  $0,4 \text{ m} \times 0,7 \text{ m}$  e  $0,1 \text{ m}$  de altura. As bases foram inseridas nas entrelinhas de semeadura do girassol até uma profundidade de  $0,05 \text{ m}$  no solo, permanecendo no local durante todo o período de avaliação. Na parte superior das bases ficava exposta uma canaleta, sobre a qual era encaixada a câmara, também em aço galvanizado, e em seguida adicionado água na canaleta para impedir trocas gasosas entre o interior da câmara e o ambiente externo durante as coletas. As câmaras, com dimensões de  $0,4 \text{ m} \times 0,7 \text{ m}$  e  $0,2 \text{ m}$  de altura, possuíam um ventilador tipo cooler que era acionado com o auxílio de uma bateria de  $12\text{V}$  durante 30 segundos para homogeneização da atmosfera interna, imediatamente antes das coletas das amostras de ar. Na parte superior da câmara havia uma válvula de três vias, na qual era acoplada uma seringa de polipropileno de  $20 \text{ mL}$  para a coleta das amostras. Termômetros digitais eram utilizados para monitorar a temperatura do ar no interior das câmaras a cada amostragem.

As amostras de ar foram coletadas sempre no período entre às 09:00 e 11:00 horas da manhã e os tempos de coleta utilizados foram de 0, 15 e 30 minutos após o fechamento das câmaras. Após a coleta, as seringas contendo as amostras eram acondicionadas em caixas térmicas contendo bolsas de gelo gel e encaminhadas para o Laboratório de Biotransformações do Carbono e Nitrogênio (LABCEN) do Departamento de Solos da UFSM para análise. A determinação da concentração de  $\text{N}_2\text{O}$  foi realizada por cromatografia gasosa (Shimadzu GC – 2014 modelo

Greenhouse) em um período máximo de 24 horas após a coleta das amostras. O cromatógrafo usado é equipado com um detector de captura de elétrons (ECD), utilizado para quantificar  $N_2O$ .

Os fluxos de  $N_2O$  foram calculados considerando-se a variação das concentrações dos gases dentro da câmara durante o período que esta permaneceu fechada, o volume da câmara, a área do solo ocupada por esta e o peso molecular do gás  $N_2O$  (Jantalia et al., 2008). Sendo, o volume molar do gás, corrigido para a temperatura no interior da câmara medida no momento de cada amostragem.

Os fluxos diários de  $N_2O$  foram calculados por interpolação linear e os fluxos acumulados obtidos pela integração das médias diárias. Para isso, foi calculada a média dos fluxos de  $N_2O$  entre duas coletas consecutivas, multiplicando-se o valor resultante pelo intervalo de tempo, em dias, decorrido entre as duas coletas. A variação da concentração de  $N_2O$  em cada coleta foi obtida pelo coeficiente angular da equação da reta ajustada aos valores obtidos nos tempos 0, 15 e 30 minutos. As emissões acumuladas foram comparadas entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância, utilizando-se os procedimentos disponíveis no programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2000).

### 2.3.5 Análises de solo

Durante o período de avaliação das emissões de  $N_2O$ , foram monitorados os teores de N mineral (amônio ( $N-NH_4^+$ ) e nitrito ( $N-NO_2^-$ ) + nitrato ( $N-NO_3^-$ )), a temperatura do ar e o espaço poroso saturado por água (EPSA) com o objetivo de auxiliar na compreensão das variações dos fluxos de  $N_2O$ . As coletas de solo foram realizadas com o auxílio de um trado calador, na profundidade de 0-0,1m, nas parcelas onde eram avaliadas as emissões de  $N_2O$ .

O nitrogênio mineral ( $NH_4^+$  e  $NO_3^-$ ) do solo foi extraído com KCl 1 M e determinado por destilação conforme Tedesco et al. (1995) e a umidade gravimétrica do solo foi obtida pela secagem de uma subamostra em estufa a 105°C durante 24 horas. A partir dos valores de umidade gravimétrica e da densidade do solo (dados

analisados e não mostrados), e assumindo-se uma densidade de partícula de  $2,65 \text{ g cm}^{-3}$ , foi calculado o EPISA conforme equação descrita por Paul & Clark (1996):

$$\text{EPISA}\% = \frac{(\text{Ug} \times \text{Ds})}{1 - \left(\frac{\text{Ds}}{\text{Dp}}\right)} \times 100$$

Onde,

$\text{Ug}$  = Umidade gravimétrica ( $\text{g g}^{-1}$ )

$\text{Ds}$  = Densidade aparente do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ )

$\text{Dp}$  = Densidade de partícula ( $2,65 \text{ g cm}^{-3}$ )

## 2.4 Resultados

### 2.4.1 EPISA e N mineral

Os valores de EPISA apresentaram um comportamento semelhante entre os tratamentos avaliados durante os dois anos de cultivo de girassol. Porém no primeiro ano de cultivo (Figura 1), devido à ocorrência de um menor volume de precipitações, os valores de EPISA observados foram menores variando de 21 a 87% (média de 53%). Em 7 avaliações, de um total de 23 realizadas, os valores de EPISA encontravam-se acima de 60%. Já no segundo ano de cultivo (Figura 2), os valores variaram de 29% a 89% (média de 61% no período). Em 20 avaliações realizadas, 11 apresentaram valores de EPISA superiores a 60%. O volume total de precipitação ocorrida durante o período de avaliação no primeiro e no segundo cultivo de girassol foi de 276 e 772 mm, respectivamente.

Os teores de N mineral no solo ( $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$ ) apresentaram uma dinâmica semelhante entre os tratamentos com adubação orgânica durante os dois cultivos de girassol (Figuras 1 e 2). Os teores de  $\text{NO}_3^-$  apresentaram valores máximos aos 6 dias após a aplicação dos tratamentos no primeiro ano de cultivo do girassol e entre os 6 e 31 dias no segundo cultivo. Após um período de 50 dias decorridos da

aplicação dos tratamentos, com exceção do  $\text{NH}_4^+$  no primeiro ano, houve um decréscimo nos teores de N mineral no solo.

#### 2.4.2 Fluxos de $\text{N}_2\text{O}$ durante o cultivo do girassol

Os fluxos de  $\text{N}_2\text{O}$  variaram entre os tratamentos, em especial nos primeiros 35 dias após a semeadura (Figuras 1 e 2), nos dois anos de cultivo do girassol. Após um período de 31 dias a partir da aplicação dos tratamentos no primeiro ano de cultivo de girassol (Figura 1) e após 34 dias no segundo cultivo (Figura 2), os fluxos  $\text{N-N}_2\text{O}$  decresceram para valores inferiores a  $20 \text{ g N-N}_2\text{O ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ .

Os fluxos de  $\text{N-N}_2\text{O}$  variaram de  $-0,7$  a  $548 \text{ g N-N}_2\text{O ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$  no primeiro ano e de  $-0,6$  a  $24 \text{ g N-N}_2\text{O ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$  no segundo ano. Os fluxos diários de  $\text{N-N}_2\text{O}$  observados, foram maiores no primeiro ano de cultivo de girassol. Os picos de emissão de  $\text{N}_2\text{O}$  foram observados após a ocorrência de períodos secos seguidos por precipitações pluviométricas elevadas, as quais elevaram os valores de EPSA do solo. Os maiores fluxos diários de  $\text{N}_2\text{O}$ , no primeiro e segundo cultivo de girassol, ocorreram aos 11 e 32 dias após semeadura, respectivamente.



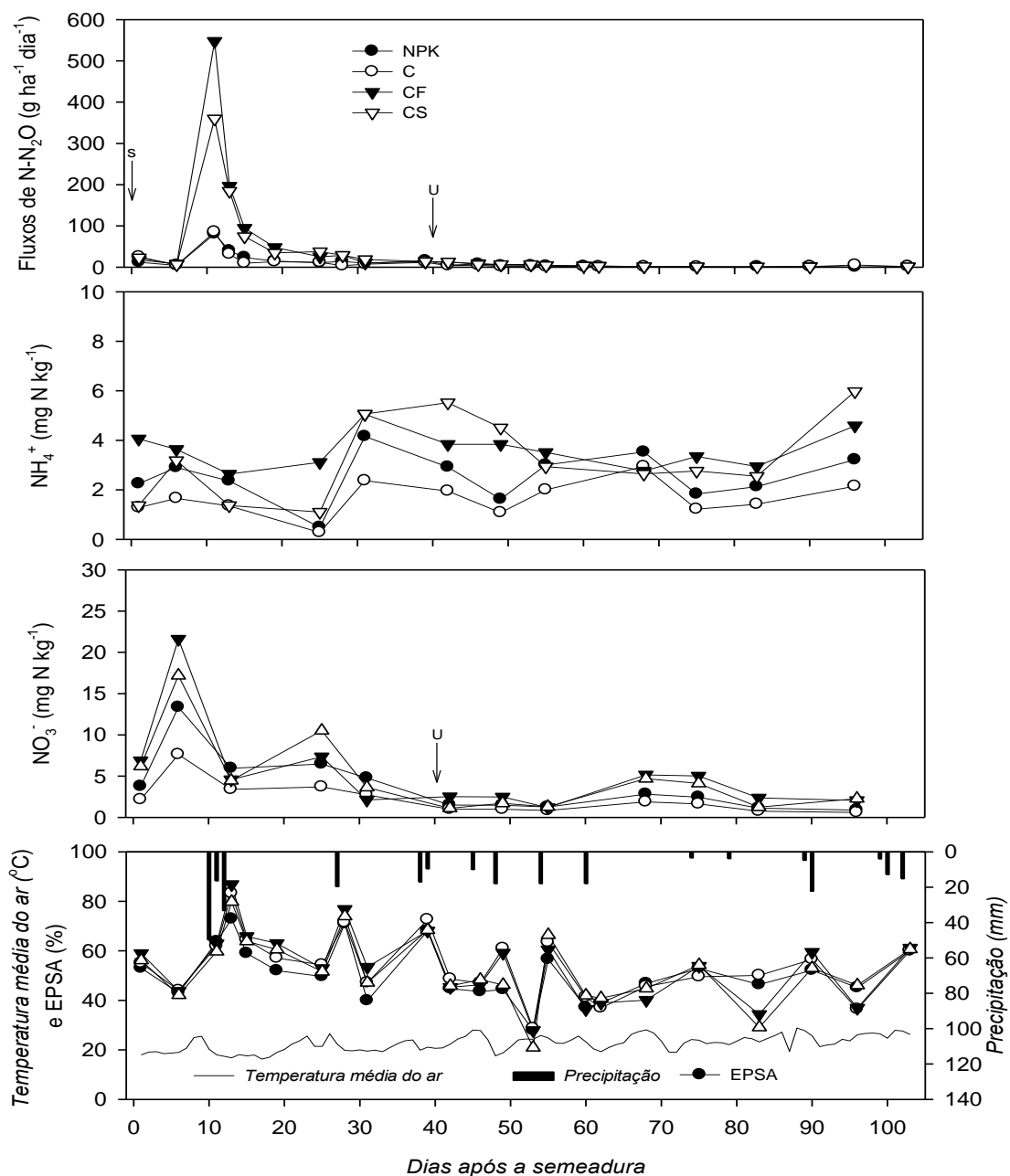


Figura 1. Fluxos de  $N-N_2O$ , N-mineral ( $NH_4^+$  e  $NO_3^-$ ), espaço poroso saturado por água (EPSA), precipitação diária e temperatura média diária durante o período de avaliação no primeiro cultivo de girassol (2011/12). Significado das letras e siglas: S: semeadura do girassol; NPK: adubação mineral; C: controle; CF: cama de frango; CS: cama sobreposta de suíno; U: aplicação de ureia em cobertura no tratamento NPK.

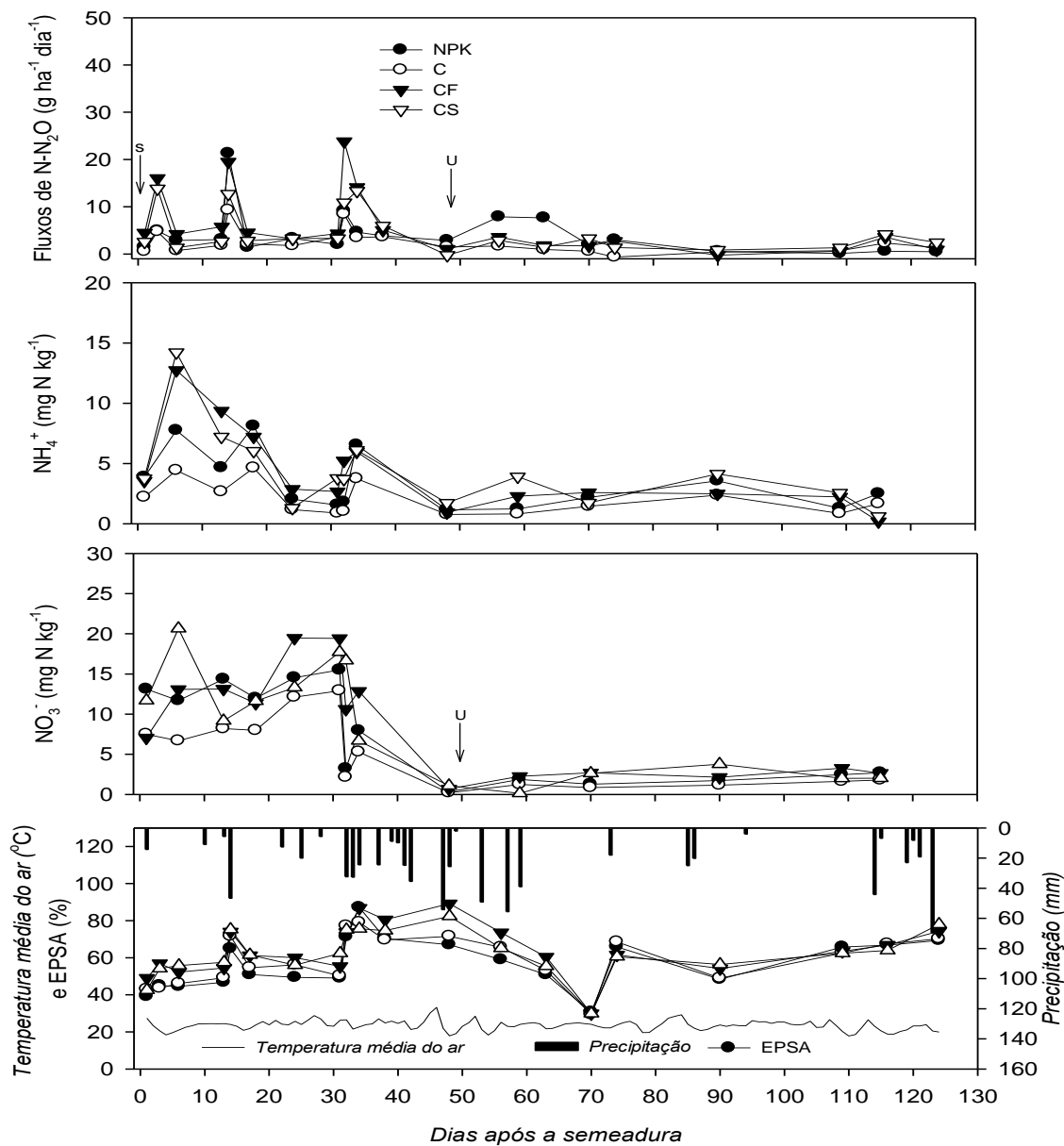


Figura 2. Fluxos de N-N<sub>2</sub>O, N-mineral (NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), espaço poroso saturado por água (EPSA), precipitação diária e temperatura média diária durante o período de avaliação no segundo cultivo de girassol (2012/13). Significado das letras e siglas: S: semeadura do girassol; NPK: adubação mineral; C: controle; CF: cama de frango; CS: cama sobreposta de suíno; U: aplicação de ureia em cobertura no tratamento NPK.

### 2.4.3 Emissão acumulada de N-N<sub>2</sub>O e fator de emissão

O efeito das diferentes fontes de adubação nitrogenada sobre emissão acumulada de N-N<sub>2</sub>O ao longo dos dois ciclos de cultivo de girassol variou entre os tratamentos avaliados (Tabela 2).

Tabela 2. Emissão cumulativa de N-N<sub>2</sub>O, produtividade de grãos e fator de emissão (% do N aplicado) durante os cultivos de girassol.

Tratamentos <sup>1</sup>	N-N <sub>2</sub> O (kg ha <sup>-1</sup> )	N-N <sub>2</sub> O (% N aplicado)	Produção de grãos (Mg ha <sup>-1</sup> )	g N-N <sub>2</sub> O/kg <sup>-1</sup> grão
.....Girassol 2011.....				
Controle	0,82 b	-	1,62 b	0,51 b
NPK	0,92 b	0,17 b	2,40 a	0,38 b
CF	3,43 a	2,18 a	2,69 a	1,27 a
CS	2,74 a	1,60 a	2,28 a	1,20 a
.....Girassol 2012.....				
Controle	0,19 b	-	1,89 b	0,10 a
NPK	0,37 a	0,30 a	2,82 a	0,13 a
CF	0,42 a	0,19 ab	2,84 a	0,15 a
CS	0,36 a	0,14 b	2,75 a	0,13 a

<sup>1</sup>CF: Cama de Frango; CS: Cama de Suíno. As médias seguidas pela mesma letra não diferenciam entre si pelo teste de Tukey a 5%.

No primeiro ano, as emissões acumuladas dos tratamentos com adubação orgânica foram significativamente superiores ao controle sem N e ao tratamento com adubação mineral (NPK). Este por sua vez não diferiu estatisticamente do tratamento controle sem N. No segundo ano, novamente o tratamento CF foi estatisticamente superior ao tratamento controle, porém, não diferiu significativamente dos NPK e CS. Comparando os dois anos de cultivo de girassol, as maiores emissões acumuladas de N-N<sub>2</sub>O foram verificadas no primeiro cultivo, variando de 0,82 a 3,43 kg N-N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> e, de 0,19 a 0,42 kg N-N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>, no segundo

cultivo. Nos dois anos os menores valores de emissão acumulada de  $N_2O$  foram verificados no tratamento controle.

A proporção do N adicionado e que foi perdido na forma de  $N-N_2O$ , fator de emissão (FE), variou de 0,17 a 2,18% no primeiro cultivo de girassol e de 0,14 a 0,30% no segundo cultivo (Tabela 2). No primeiro ano de cultivo, os tratamentos CF e CS apresentaram os maiores FE 2,18 e 1,60%, respectivamente, não havendo diferença estatística entre os mesmos. No entanto, o FE desses tratamentos foi estatisticamente maior ( $p < 0,05$ ) que o tratamento NPK (0,17%). No segundo ano foi verificada uma menor variação entre os fatores de emissão dos tratamentos. O tratamento NPK apresentou maior fator de emissão, emitindo 0,30% do N aplicado na forma de  $N-N_2O$ , sendo estatisticamente superior ao tratamento CS (0,14%), porém não diferiu do tratamento CF (0,19%). Já os tratamentos CF e CS não diferiram entre si. Considerando a média dos dois anos de cultivo do girassol, as diferentes fontes de N apresentaram um fator de emissão médio de 1,18, 0,87 e 0,24% nos tratamentos CF, CS e NPK, respectivamente.

## **2.5 Discussão**

### **2.5.1 Fluxos de $N_2O$**

Nos dois anos de cultivo do girassol os fluxos de  $N_2O$  variaram entre os tratamentos. A aplicação dos fertilizantes promoveu sensível aumento nas emissões de  $N_2O$ , em especial nos primeiros 40 dias após a semeadura do girassol (Figuras 1 e 2). O tratamento fertilizado com cama de frango (CF) resultou nos maiores fluxos de  $N_2O$  durante as avaliações dos dois cultivos de girassol. No primeiro cultivo (Figura 1) o fluxo máximo de emissão de  $N_2O$  verificado neste tratamento, ocorreu aos 11 dias após a semeadura e foi 6 vezes superior ao observado no tratamento controle sem aplicação de N. O tratamento com cama sobreposta de suíno (CS) também apresentou seu pico máximo de emissão nesta avaliação, sendo 4 vezes superior ao tratamento controle. Essa dinâmica de emissão de  $N_2O$ , em que os

fluxos mais intensos são observados nos primeiros dias após a aplicação de dejetos, tem sido relatada em diversos trabalhos conduzidos em diferentes condições (Chadwick et al., 2000; Chantigny et al., 2001; Giacomini et al., 2006; Rochette et al., 2008).

Durante o segundo cultivo (Figura 2) o maior fluxo de  $N_2O$  ocorreu aos 32 dias após sementeira no tratamento com cama de frango (CF), seguido pelo tratamento com aplicação de fertilizante mineral (NPK). Assim como no primeiro cultivo, estes picos de emissão de  $N_2O$  ocorreram logo após eventos pluviométricos elevados e coincidiram com os maiores valores de EPISA verificados nas avaliações. A ocorrência destes eventos deve ter potencializado as emissões de  $N_2O$ , pois segundo Bateman & Baggs (2005), altas taxas de emissão de  $N_2O$  ocorrem quando o solo apresenta grande parte do EPISA acima de 60%. Isto ocorre porque a difusão de oxigênio ( $O_2$ ) no solo é dificultada, ocorrendo a formação de ambientes anaeróbicos, favorecendo a desnitrificação.

No início do experimento, as maiores emissões de  $N_2O$  em relação ao tratamento controle foram observadas nos tratamentos com cama de frango (CF) e de suínos (CS), respectivamente. Comparativamente ao tratamento fertilizado com cama de suíno, os maiores fluxos de  $N_2O$  observados no tratamento com aplicação de cama de frango, podem estar relacionados com a maior concentração de  $NO_3^-$  presente neste último no momento da aplicação (Tabela 1). Em relação ao tratamento com adubação mineral (NPK), os maiores fluxos observados nos tratamentos com adubação orgânica podem estar relacionados à adição de substratos carbonados. Este C recém-adicionado pode estimular a atividade microbiana no solo, provocando a formação zonas anóxicas devido a um maior consumo de  $O_2$  pela atividade respiratória dos microrganismos, além de sustentar a atividade das bactérias desnitrificadoras heterotróficas (Bhandral et al., 2007), favorecendo assim a desnitrificação (Stevens & Laughlin, 2001; Azam et al., 2002). Outro fator a ser considerado também é aplicação parcelada do N no tratamento com fertilizante mineral. Isto deve ter reduzido as concentrações de  $NO_3^-$  no solo, o que explica em parte os baixos fluxos de  $N_2O$  apresentados na fase inicial do experimento.

Após 30 e 40 dias da aplicação dos tratamentos com adubação orgânica, no primeiro e no segundo cultivo de girassol respectivamente, os fluxos de  $N-N_2O$

reduziram, sendo observadas baixas emissões mesmo após eventos de chuva. Tal resultado possivelmente deve-se a redução na disponibilidade de N mineral e do C lábil no solo nesse período, pois estes estão entre os principais fatores controladores da produção de  $N_2O$  (Dalal et al., 2003; Gomes et al., 2009; Baggs & Philippot, 2010). No primeiro cultivo não foi verificado efeito da aplicação do N em cobertura no tratamento NPK, sobre a emissão de  $N_2O$ . Isto pode ser explicado pela ocorrência de um baixo volume de precipitação após a aplicação, ao contrário do segundo ano, quando a ocorrência de precipitações elevadas após a adubação nitrogenada de cobertura proporcionou maiores fluxos de  $N_2O$ , comparativamente aos demais tratamentos.

### 2.5.2 Emissão acumulada de $N_2O$ e fator de emissão

O efeito das diferentes fontes de adubação nitrogenada sobre emissão acumulada de  $N_2O$  variou entre os tratamentos avaliados nos dois cultivos de girassol (Tabela 2). O tratamento CF apresentou a maior emissão acumulada de N- $N_2O$  nos dois cultivos. No primeiro cultivo tratamento com cama de frango e de suíno apresentaram baixas emissões acumuladas até os 10 primeiros dias de avaliação (dados não mostrados). Após a ocorrência de um volume elevado de precipitações entre os dias 11 e 13 e com o aumento dos teores de  $NO_3^-$  no solo, a emissão acumulada de N- $N_2O$  aumentou rapidamente nestes tratamentos (dados não mostrados). Isto pode ser atribuído à nitrificação do N amoniacal adicionado e principalmente pelo  $NO_3^-$  já presente nos resíduos orgânicos. Esse aumento ocorreu até os 31 dias e correspondeu a 91 e 88% do total das emissões acumuladas de N- $N_2O$  observadas nos tratamentos com cama de frango e de suíno, respectivamente, estabilizando após este período. Esta estabilização das emissões é devido os baixos fluxos de  $N_2O$  verificados após os 31 dias, e que devem estar relacionados à redução na disponibilidade de C lábil para a desnitrificação e de  $NO_3^-$  no solo, causado pelo aumento da sua absorção pelas plantas de girassol. No tratamento com NPK o N aplicado na semeadura também proporcionou um aumento na emissão acumulada a partir dos 10 dias e estabilizando após os 19 dias,

correspondendo a 55% do total da emissão acumulada de  $N-N_2O$ . Não foi observado aumento na emissão acumulada de  $N-N_2O$  após a aplicação de ureia em cobertura neste tratamento.

No segundo cultivo foi observado um aumento nas emissões acumuladas a partir dos 3 dias da aplicação dos fertilizantes. Nos tratamentos com adubação orgânica a emissão acumulada aumentou até os 38 dias. Tendo os tratamentos com cama de frango e de suíno emitido, respectivamente, 65 e 55% do  $N_2O$  neste período. Neste mesmo intervalo de tempo a emissão acumulada no tratamento NPK correspondeu a 48% do total. Em decorrência da adubação nitrogenada de cobertura e da ocorrência de eventos pluviométricos, após os 48 dias foi verificado um aumento expressivo na emissão acumulada de  $N-N_2O$  neste tratamento.

No primeiro cultivo as emissões acumuladas de  $N-N_2O$  nos tratamentos com adubação orgânica foram superiores ( $P < 0,05$ ) ao tratamento com adubação mineral, corroborando com resultados encontrados em diversos estudos nos quais a utilização de dejetos de animais resultou em maiores emissões acumuladas de  $N_2O$  em comparação à fertilizantes minerais (Rochette et al., 2000; Akiyama & Tsuruta, 2003; Jones et al., 2007; Denega, 2009). Por outro lado, no segundo cultivo não houve diferença estatística nas emissões acumuladas entre os tratamentos com adubação orgânica e mineral. Comparativamente ao primeiro cultivo, foi observado uma baixa emissão acumulada de  $N-N_2O$ . Isto pode estar relacionado à ocorrência de um volume de precipitação 2,8 vezes maior no período do segundo cultivo, sendo observado, conseqüentemente, um maior teor de água no solo durante as avaliações. Esta diferença no teor de água no solo, nos dois anos de cultivo do girassol, deve ter influenciado nas emissões de  $N_2O$ . Estudos realizados por Bateman & Baggs (2005) e Shelton et al. (2000) mostram que, quando EPSA é inferior a 60%, as emissões de  $N_2O$  são principalmente devido à nitrificação e quando o EPSA é superior a 60%, as emissões de  $N_2O$  são devido a desnitrificação. No entanto, quando os valores de EPSA excedem 80%, a desnitrificação produz  $N_2$  onde o  $N_2O$  é utilizado como acceptor de elétrons (Rudaz et al., 1999). Neftel et al. (2000) observaram fluxos negativos de  $N_2O$  durante o período de crescimento de uma pastagem cultivada, quando os valores de EPSA se encontravam na faixa de 50 a 90%. A enzima óxido nitroso redutase, que catalisa a redução de  $N_2O$  a  $N_2$ , é sensível à presença de  $O_2$  (Shapleigh, 2011). Desta forma, a redução na

concentração de  $O_2$  juntamente com o aumento dos valores de EPSA, pode levar à desnitrificação completa reduzindo a relação  $N_2O/N_2$  (Rudaz et al., 1999; Zhu et al., 2013). Weiler (2012), avaliando o efeito da decomposição de resíduos culturais de plantas de cobertura sobre a emissão de  $N_2O$  durante dois anos consecutivos, em área adjacente ao local onde foi realizado o presente estudo e com o mesmo tipo de solo, também verificou maior emissão acumulada de  $N_2O$  no ano em que a precipitação acumulada foi menor (182 mm vs 332mm) corroborando os resultados encontrados. Outro fator que também pode ter contribuído para uma menor emissão acumulada de  $N-N_2O$  no segundo ano de cultivo foi as possíveis perdas de  $N-NO_3^-$  e C lábil por lixiviação. Estas perdas devem ter sido facilitadas pela textura arenosa do solo e o maior volume de chuvas. De acordo com Cameron et al. (2013) as perdas de N por lixiviação de  $NO_3^-$  são geralmente maiores em solos arenosos do que em solos argilosos, devido a infiltração de água ser mais rápida nos solos arenosos por causa do maior volume de macroporos. Em estudo realizado por Rochette et al. (2008), avaliando a aplicação de dejetos líquidos e sólidos de bovinos de leite durante dois anos consecutivos em dois solos de textura contrastante, verificaram maior emissão de  $N_2O$  no solo arenoso no primeiro ano, quando choveu 333 mm, do que no segundo ano quando as precipitações somaram 604 mm no período de avaliação. No solo de textura argilosa foi observado um comportamento contrário, levando os autores a concluir que no solo arenoso a nitrificação deve ter sido o principal processo produtor de  $N_2O$  enquanto que no solo argiloso foi a desnitrificação.

Levando-se em consideração a média dos dois cultivos de girassol, os tratamentos com adubação orgânica apresentaram os maiores fatores de emissão de  $N-N_2O$ . As maiores emissões acumuladas de  $N-N_2O$  verificadas nos tratamentos CF e CS no primeiro cultivo, contribuíram para este resultado. Estes valores dos fatores de emissão estão próximos ao índice geral de 1% estipulado pelo IPCC (2006), enquanto que no tratamento com fertilizante mineral o FE ficou abaixo do valor proposto pelo IPCC. O FE médio de 1,18% do tratamento CF também está de acordo com o valor encontrado por Thornton et al. (1998), que relata uma perda de 1% do N aplicado com cama de frango, em pastagem de grama Bermuda (*Cynodon dactylon* L.), na forma de  $N-N_2O$ . Por outro lado, Denega (2009) aponta um fator de emissão de 1,4% do N total aplicado com cama sobreposta de suínos na cultura do



milho. Sendo este valor, superior ao fator de emissão médio de 0,87% observado nos dois anos de cultivo do girassol no presente estudo para esta fonte de N. Mais informações na literatura sobre trabalhos que tenham avaliado a emissão de N-N<sub>2</sub>O com a aplicação de cama sobreposta de suínos são escassas.

As emissões de N<sub>2</sub>O por unidade de rendimento (g N-N<sub>2</sub>O kg grãos<sup>-1</sup>) de grãos de girassol foram maiores no primeiro ano de cultivo para todas as fontes de N, principalmente a CF e CS. Embora o rendimento de grãos tenha sido semelhante nos dois cultivos do girassol entre os tratamentos que receberam adubação nitrogenada, houve maiores emissões acumuladas de N-N<sub>2</sub>O no primeiro ano de cultivo. Resultando desta forma, em maiores emissões de N<sub>2</sub>O baseadas no rendimento de grãos, enquanto que no segundo ano de cultivo elas foram menores.

## 2.6 Conclusões

Os tratamentos com fontes de adubação orgânica cama de frango e cama sobreposta de suíno apresentaram maior potencial de emissão de N<sub>2</sub>O, em relação à adubação mineral.

A adubação orgânica resultou em produtividade de grãos semelhante aquela obtida com o uso de fertilizante mineral, porém a relação g N-N<sub>2</sub>O kg<sup>-1</sup> grão produzido pode ser maior com a fertilização orgânica, impactando negativamente o balanço energético da cultura.

## 2.7 Literatura citada

ABDALLA, M.; JONES, M.; AMBUS, P.; WILLIAMS, M. Emissions of nitrous oxide from Irish arable soils: effects of tillage and reduced N input. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.86, p.53-65, 2010.

ADLER, P.R.; DEL GROSSO, S.J.; PARTON, W.J. Life-cycle assessment of net greenhouse-gas flux for bioenergy cropping systems. **Ecological Applications**, v.17, p.675-691, 2007.

AKIYAMA, H.; TSURUTA, H. Nitrous oxide, nitric oxide, and nitrogen dioxide fluxes from soils after manure and urea application. **Journal of Environmental Quality** v.32, p.423-431, 2003.

AZAM, F.; MÜELLER, C.; WEISKE, A.; BENKISER, G.; OTTOW, J.C.G. Nitrification and denitrification as sources of atmospheric nitrous oxide-role of oxidizable carbon and applied nitrogen. **Biology and Fertility of Soils**, v.35, p.54-61, 2002.

BAGGS, E.; PHILIPPOT, L. Microbial terrestrial pathways to nitrous oxide. In: SMITH, K.A. (Ed.) **Nitrous oxide and climate change**. Londres: Earthscan, 2010. p.4-35.

BATEMAN, E.J.; BAGGS, E.M. Contributions of nitrification and denitrification to N<sub>2</sub>O emissions from soils at different water-filled pore space, **Biology and Fertility of Soils**, v.41, p.379-388, 2005.

BHANDRAL, R.; BOLAN, N.S.; SAGGAR, S.; HEDLEY, M.J. Nitrogen transformation and nitrous oxide emissions from various types of farm effluents. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.79, p.193-208, 2007.

CAMERON, K.C.; DI, H.J. & MOIR, J.L. Nitrogen losses from the soil/plant system: a review. **Annals of Applied Biology**, v.162, p.145-173, 2013.

CARTER, M.S.; HAUGGAARD-NIELSEN, H.; HEISKE, S.; JENSEN, M.; THOMSEN, S.T.; SCHMIDT, J.E.; JOHANSEN, A.; AMBUS, P. Consequences of field N<sub>2</sub>O emissions for the environmental sustainability of plant-based biofuels produced within an organic farming system. **Global Change Biology Bioenergy**, v.4, p.435-452, 2012.

CHADWICK, D.R.; JOHN, F.; PAIN, B.F.; CHAMBERS, B.J.; WILLIAMS, J. Plant uptake of nitrogen from the organic nitrogen fraction of animal manures: A laboratory experiment. **The Journal of Agricultural Science**, v.134, p.159-168, 2000.

CHANTIGNY, M.H.; ROCHETTE, P.; ANGERS, D.A. Short-term C and N dynamics in a soil amended with pig slurry and barley straw: a field experiment. **Canadian Journal of Soil Science**, v.81, p.131-137, 2001.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC – CQFS. Passo Fundo, **Recomendações de Adubação e de Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 4. ed. Passo Fundo, SBCN – Núcleo Regional Sul/EMBRAPA – CNPT, 2004.

CRUTZEN, P.J.; MOSIER, A.R.; SMITH, K.A.; WINIWATER, W. N<sub>2</sub>O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v.8, p.389-395, 2008.

DAMBREVILLE, C.; HALLET, S.; NGUYEN, C.; MORVAN, T.; GERMON, J.C.; PHILIPPOT, L. Structure and activity of the denitrifying community in a maize-cropped field fertilized with composted pig manure or ammonium nitrate. **FEMS Microbiology Ecology**, v.56, p.119-131, 2006.

DALAL, R.C.; WANG, W.; ROBERTSON, G.P.; PARTON, W.J. Nitrous oxide emission from Australian agricultural lands and mitigation options: a review. **Australian Journal of Soil Research**, v.41, p.165-195, 2003.

DENEGA, G.L. **Emissão de óxido nitroso e dióxido de carbono após aplicação de dejetos de suínos e bovinos em um Argissolo**. Santa Maria: UFSM, 2009. 93p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, 2009.

DON, A.; OSBORNE, B.; HASTINGS, A.; SKIBA, U.; CARTER, M.S.; DREWER, J.; FLESSA, H.; FREIBAUER, A.; HYVÖNEN, N.; JONES, M.B.; LANIGAN, G.J.; MANDER, U.; MONTI, A.; DJOMO, S.N.; VALENTINE, J.; WALTER, K.; ZEGADALIZARAZU, W.; ZENONE, T. Land-use change to bioenergy production in Europe: implications for the greenhouse gas balance and soil carbon. **Global Change Biology Bioenergy**, v.4, p.372-391, 2011.

DORNBURG, V.; TERMEER, G.; FAAIJ, A.P.C. Economic and greenhouse gas emission analysis of bioenergy production using multi-product crops-case studies for the Netherlands and Poland. **Biomass and Bioenergy**, v.28, p.454-474, 2005.

EMBRAPA/CNPQ. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2.ed. Brasília: Embrapa, 2006, 306 p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). (2008). *The state of the food and agriculture 2008*. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/340/default.aspx>>. Acesso em: 21 de junho de 2013.

FARRELL, A.E.; PLEVIN, R.J.; TURNER, B.T.; JONES, A.D.; O'HARE, M.; KAMMEN, D.M. Ethanol can contribute to energy and environmental goals. **Science**, v.311, p.506-508, 2006.

FERREIRA, D.F. **Sistemas de análises estatística para dados balanceados**. Lavras: UFLA/DEX/SISVAR, 2000. 145 p.

FIRESTONE, M.K.; DAVIDSON, E. A. Microbiological basis of NO and N<sub>2</sub>O production and consumption in soils. In: ANDREAE, M.O.; SHIMEL, D.S. (Eds) **Exchange of trace gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere**. New York: Wiley, 1989. p.7-21.

GIACOMINI, S.J.; JANTALIA, C.P.; AITA, C.; URQUIAGA, S.S.; ALVES, B.J.R. Emissão de óxido nitroso com a aplicação de dejetos líquidos de suínos em solo sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.1653-1661, 2006.

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

HARRISON, R.; WEBB, J. A review of the effect of N fertilizer type on gaseous emissions. **Advances in Agronomy**, v.73, p.65-108, 2001.

HAVLÍK, P.; SCHNEIDER, U.A.; SCHMID, E.; BÖTCHER, H.; FRITZ, S.; SKALSKÝ, R.; DE CARA, S.; KINDERMANN, G.; KRAXNER, F.; LEDUC, S.; MCCALLUM, I.; MOSNIER, A.; SAUER, T.; OBERSTEINER, M. Global land-use implications of first and second generation biofuel targets. **Energy Policy**, v.39, p.5690-5702, 2011.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. 2006. In: Eggleston, H.S.; Buendia, L.; Miwa, K.; Ngara, T.; Tanabe, K. (Eds.), **Guidelines for National Greenhouse gas Inventories**, v.4, Agriculture, Forestry and Other Land Use. National Greenhouse gas Inventories Programme, 2006.

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.

INSELSBACHER, E.; WANEK, W.; RIPKA, K.; HACKL, E.; SESSITSCH, A.; STRAUSS, J.; ZECHMEISTER-BOLTENSTERN, S. Greenhouse gas fluxes respond

to different N fertilizer types due to altered plant-soil-microbe interactions. **Plant and Soil**, v.343, p.17-35, 2011.

JANTALIA, C.P.; SANTOS, H.P.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M.; ALVES, B. J.R. Fluxes of nitrous oxide from soil under different crop rotations and tillage systems in the South of Brazil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.82, p.161-173, 2008.

JANZEN, H.H. Carbon cycling in earth systems: a soil science perspective. **Agronomy Ecosystems and Environment**, v.104, p.399-417, 2004.

JONES, S.K.; REES, R.M.; SKIBA, U.M.; BALL, B.C. Influence of organic and mineral N fertiliser on N<sub>2</sub>O fluxes from a temperate grassland. **Agriculture Ecosystems and Environment**, v.121, p.74-83, 2007.

JUNGKUNST, H.F.; FREIBAUER, A.; NEUFELDT, H.; BARETH, G. Nitrous oxide emissions from agricultural land use in Germany - a synthesis of available annual field data. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v.169, p.341-351, 2006.

KIM, S. AND DALE, B.E. Ethanol fuels: E10 or E85 - life cycle perspectives. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v.11, p.117-121, 2006.

LAL, R. Carbon sequestration. **Philosophical Transactions of the Royal Society Biological Sciences**, v.363, p.815-830, 2008.

LARSON, E. A review of life-cycle analysis studies on liquid biofuel systems for the transport sector. **Energy for Sustainable Development**, v.10, p.109-126, 2006.

LEITE, R.M.V.B.C.; CASTRO, C. de; BRIGHENTI, A.M.; OLIVEIRA, F.A.; CARVALHO, G.C.P.; OLIVEIRA, A.C.B. **Indicações para o cultivo de girassol nos Estados do Rio Grande do Sul, Paraná, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Goiás e Roraima**. Embrapa – Comunicado Técnico, n.78. Londrina, PR, 2007.

LORO, P.J.; BERGSTROM, D.W.; BEAUCHAMP E.G. Intensity and duration of denitrification following application of manure and fertilizer to soil. **Journal of Environmental Quality**, v.26, p.706-713, 1997.

MOGGE, B.; KAISER, E.A.; MUNCH, J.C. Nitrous oxide emissions and denitrification N-losses from agricultural soils in the Bornhoved Lake region: influence of organic fertilizers and land-use. **Soil Biology & Biochemistry**, v.31, p.1245-1252, 1999.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e Bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: Editora UFLA, 2006. 729 p.

MOSIER, A.R. Chamber and isotope techniques. In. ANDRADE, M.M.; SCHIMEL, D.S. (Eds.). **Exchange of traces gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere: report of the Dahlem Workshop**. Berlin: Wiley, p.175-187, 1989.

NEFTEL, A.; BLATTER, A.; SCHMID, M.; LEHMANN, B.; TARAKANOV, S.V. An experimental determination of the scale length of N<sub>2</sub>O in the soil of a grassland. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, v.105, p.12095-12103, 2000.

PAUL, E.A.; CLARK, F.E., 1996. **Soil microbiology and biochemistry**. 2° Ed. Califórnia, Academic Press, 340 p.

PHILIPPOT, L.; HALLIN S.; BÖRJESSON G.; BAGGS, E.M. Biochemical cycling in the rhizosphere having an impact on global change. **Plant and Soil**, v.321, p.61-81, 2008.

ROCHETTE, P.; ANGERS, D.A.; CHANTIGNY, M.H.; GAGNON, B.; BERTRAND, N. N<sub>2</sub>O fluxes in soils of contrasting textures fertilized with liquid and solid dairy cattle manures. **Canadian Journal of Soil Science**, v.88, p.175-187, 2008.

ROCHETTE, P.; VAN BOCHOVE, E.; PREVOST, D.; ANGERS, D.; COTE, D.; BERTRAND, N. Soil carbon and nitrogen dynamics following application of pig slurry for the 19th consecutive year. **Soil Science Society of American Journal**, v.64, p.1396-1403, 2000.

RUDAZ, A.; WÄLTI, E.; KYBURZ, G.; LEHMANN, P.; FUHRER, J. Temporal variation in N<sub>2</sub>O and N<sub>2</sub> fluxes from a permanent pasture in Switzerland in relation to management, soil water content and soil temperature. **Agriculture Ecosystems and Environment**, v.73, p.83-91, 1999.

RUSER, R.; FLESSA, H.; SCHILLING, R.; BEESE, F.; MUNCH, J.C. Effect of crop-specific field management and N fertilization on N<sub>2</sub>O emissions from a fine-loamy soil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.59, p.177-191, 2001.

SAUER, T.J.; COMPSTON, S.R.; WEST, C.P.; HERNANDEZ-RAMIREZ, G.; GBUR, E.E.; PARKIN, T.B. Nitrous oxide emissions from a bermudagrass pasture: Interseeded winter rye and poultry litter. **Soil Biology and Biochemistry**, v.41, p.1417-1424, 2009.

SHAPLEIGH, J.P. Oxygen control of nitrogen oxide respiration, focusing on  $\alpha$ -proteobacteria. **Biochemical Society Transactions**, v.39, p.179-183, 2011.

SHELTON, D.R.; SADEGHI, A.M.; MCCARTY, G.W. Effect of soil water content on denitrification during cover crop decomposition. **Soil Science**, v.165, p.365-371, 2000.

SILVA, H.R.F.; AQUINO, L.A. de; BATISTA, C.H. Efeito residual do adubo fosfatado na produtividade do girassol em sucessão ao algodoeiro. **Bioscience Journal**, v.27, p.786-793, 2011.

SIQUEIRA NETO, M.; PICCOLO, M.C.; FEIGL, B.J.; VENZKE FILHO, S.P.; CERRI, C.E.P.; CERRI, C.C. Rotação de culturas no sistema de plantio direto em Tibagi (PR). II – Emissões de CO<sub>2</sub> e N<sub>2</sub>O. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.1023-1029, 2009.

SKIBA, U. AND SMITH, K.A. The control of nitrous oxide emissions from agricultural and natural soils. **Chemosphere - Global Change Science**, v.2, p.379-386, 2000.

SMEETS, E.M.W.; BOUWMANW, L.F.; STEHFEST, E.; VAN VUUREN, D.P.; POSTHUMA, A. Contribution of N<sub>2</sub>O to the greenhouse gas balance of first-generation biofuels. **Global Change Biology**, v.15, p.1-23, 2009.

SNYDER, C.S.; BRUULSEMA, T.W.; DOBBIE, K.E.; JENSEN, T.L.; FIXEN, P.E. Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.133, p.247-266, 2009.

SNYDER, C.S.; BRUULSEMA, T.W.; JENSEN, T.L. Melhores práticas de manejo para minimizar emissões de gases de efeito estufa associadas ao uso de fertilizantes. Piracicaba, SP. **Informações Agronômicas**, n.121, p.13-14. 2008.

ST CLAIR, S.; HILLIER, J.; SMITH, P. (2008) Estimating the pre-harvest greenhouse gas costs of energy crop production. **Biomass and Bioenergy**, v.32, p.442-452, 2008.

STEHFEST, E. AND BOUWMAN, L. N<sub>2</sub>O 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**, v.74, p.207-228, 2006.

STEVENS, R.J.; LAUGHLIN, R.J. Cattle slurry affects nitrous oxide and dinitrogen emissions from fertilizer nitrate. **Soil Science Society of American Journal**, v.65, p.1307-1314, 2001.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174p. (Boletim Técnico, 5).

TENUTA, M.; BERGSTROM, D.W.; BEAUCHAMP, E.G. Denitrifying enzyme activity and carbon availability for denitrification following manure application. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.31, p.861-876, 2000.

THORNTON, F.C.; SHURPALI, N.J.; BOCK, B.R.; REDDY, K.C. N<sub>2</sub>O and NO emissions from poultry litter and urea applications to Bermuda grass. **Atmospheric Environment**, v.32, p.1623-1630, 1998.

WEILER, D.A. **Decomposição de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo e emissões de óxido nítrico**. Santa Maria: UFSM, 2012. 73p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, 2012.

ZHU, T.; ZHANG, J.; YANG, W.; CAI, Z. Effects of organic material amendment and water content on NO, N<sub>2</sub>O, and N<sub>2</sub> emissions in a nitrate-rich vegetable soil. **Biology and Fertility of Soils**, v.49, p.153-163, 2013.

ZOBIOLE, L.H.S.; CASTRO, de C.; OLIVEIRA, F.A. de; OLIVEIRA JUNIOR, A. de. Marcha de absorção de macronutrientes na cultura do girassol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.425-433, 2010.



### **3 ARTIGO II - IMPACTO DA ADUBAÇÃO ORGÂNICA SOBRE A PRODUTIVIDADE DE GIRASSOL EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO**

#### **3.1 Resumo**

*A cultura do girassol possui ampla adaptabilidade à diferentes condições edafoclimáticas, com perspectivas de aumento de sua área cultivada nas regiões agrícolas do Brasil. A utilização de resíduos orgânicos como fonte de N em substituição a adubação mineral no girassol, pode ser uma alternativa viável. O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito do uso da cama de frango (CF) e da cama sobreposta de suínos (CS) sobre o fornecimento de N e a produtividade de grãos da cultura do girassol em plantio direto. O experimento foi conduzido por dois anos agrícolas em Argissolo Vermelho distrófico arênico. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com quatro repetições. Os tratamentos avaliados foram os seguintes: adubação mineral (NPK); CF; CS; e controle sem adubação nitrogenada. As doses de CF e CS aplicadas foram definidas a fim de fornecer para a cultura do girassol 60 kg de N ha<sup>-1</sup>. Na maturação fisiológica do girassol foram avaliadas a produção de matéria seca (MS), o acúmulo de N e a produtividade grãos. O acúmulo de N e a produtividade de grãos do girassol não diferiram entre os tratamentos NPK, CF e CS. Na média desses tratamentos, a quantidade de N acumulado (93,4 kg ha<sup>-1</sup>) e a produtividade de grãos (2,64 Mg ha<sup>-1</sup>) superou em 41 e 50%, respectivamente, aquela obtida no tratamento controle. O presente estudo aponta que a CF e a CS apresentam potencial de fornecimento de N semelhante à adubação mineral e indica que esses resíduos orgânicos podem substituir a adubação nitrogenada mineral no cultivo do girassol em plantio direto.*

**Palavras-chave:** *Helianthus annuus. Cama de frango. Cama sobreposta de suínos. Plantio direto.*

### 3.2 Introdução

*A crescente demanda por óleos de origem vegetal para a fabricação de biodiesel tem provocado aumento na área cultivada com oleaginosas no Brasil. Entre as espécies cultivadas para este fim destaca-se o girassol (*Helianthus annuus* L.), pela sua adaptação às diferentes condições edafoclimáticas do país e pelas suas características agrônômicas desejáveis, como ciclo curto, bom rendimento de óleo e maior tolerância à déficits hídricos, quando comparado a maioria das espécies agrícolas cultivadas (Castro et al., 2005). Essas características também tornam o girassol uma excelente opção em esquemas de rotação de culturas em sistema de plantio direto (Silva et al., 2011).*

*O girassol extrai grandes quantidades de nitrogênio (N) do solo, podendo acumular na biomassa aérea até 130 kg ha<sup>-1</sup>, dos quais aproximadamente 53% são exportados através da colheita dos grãos (Lobo et al., 2012). Atualmente, os fertilizantes nitrogenados minerais são a principal fonte de N para atender a demanda em N da cultura, o que tem impactado negativamente o balanço energético de cultivos voltados à produção de matéria-prima para a geração de biodiesel (Urquiaga et al., 2005). Isso se deve à elevada quantidade de energia consumida na fabricação do N, a qual é contabilizada como energia gasta na fase agrícola do balanço energético da produção de biodiesel. Por isso, a produção de bioenergia a partir do uso de fertilizantes minerais está sendo atualmente questionada (Ortega, Watanabe & Cavalett, 2008), uma vez que ela estaria competindo, por insumos escassos e com a produção de alimentos.*

*A substituição dos fertilizantes nitrogenados minerais por fontes alternativas de N como, por exemplo, os dejetos gerados na avicultura e suinocultura pode ser uma alternativa para manter a produtividade do girassol e melhorar o balanço energético da cultura. Na região sul do Brasil, onde se concentra cerca de 56% da produção nacional de aves e 49% da produção nacional de suínos (IBGE, 2010) são gerados grandes volumes de cama de frango (CF) e de cama sobreposta de suínos (CS), respectivamente. A CF e a CS são resíduos orgânicos que contêm na sua constituição concentrações elevadas de carbono (C) e de nutrientes, principalmente de N (Konzen, 2003). O uso desses resíduos orgânicos em solos agrícolas, além de*

*possibilita a reciclagem dos nutrientes, pode contribuir para a redução do impacto ambiental ocasionado pelo seu descarte inadequado.*

*O uso de fertilizantes orgânicos como fonte de nutrientes à cultura do girassol é um aspecto ainda pouco estudado. O uso da CF na cultura do milho por Adeli et al. (2007) e no algodão por Boateng et al. (2006) evidenciou o seu elevado potencial no fornecimento de N às culturas. Quanto à CS, o seu uso como fertilizante é recente e, por isso, ainda são escassos os resultados de pesquisa. Estudos realizados (Giacomini & Aita, 2008; Denega, 2009), indicam um baixo potencial de fornecimento de N por esse material orgânico, principalmente devido à elevada proporção de N orgânico, cuja taxa de mineralização é reduzida (Giacomini et al., 2013). No trabalho de Giacomini & Aita (2008), a aplicação de CS na cultura do milho em plantio direto aumentou a produtividade de grãos, porém os valores atingiram apenas 37% daqueles obtidos com a fertilização nitrogenada mineral, respectivamente. Para que a CF e CS possam se tornar fontes alternativas de N para a cultura do girassol é preciso realizar a avaliação do efeito desses resíduos na produtividade da cultura. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi comparar o potencial fertilizante da CF e da CS ao da adubação mineral recomendada ao girassol em plantio direto, sobre a produtividade de grãos.*

### **3.3 Material e métodos**

*O experimento foi realizado nos anos agrícolas de 2011/12 e 2012/13 na área experimental do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, (29°42´S, 53°42´W; cerca de 90 m de altitude), Rio Grande do Sul, Brasil. O clima do local é subtropical úmido, tipo Cfa2 (segundo classificação de Köppen). Na Figura 1 são apresentados os valores de temperatura média do ar e precipitação ocorridas nos dois anos agrícolas. Os dados meteorológicos foram obtidos da Estação Automática de Meteorologia do Departamento de Fitotecnia da UFSM distante 1,6 km do experimento.*

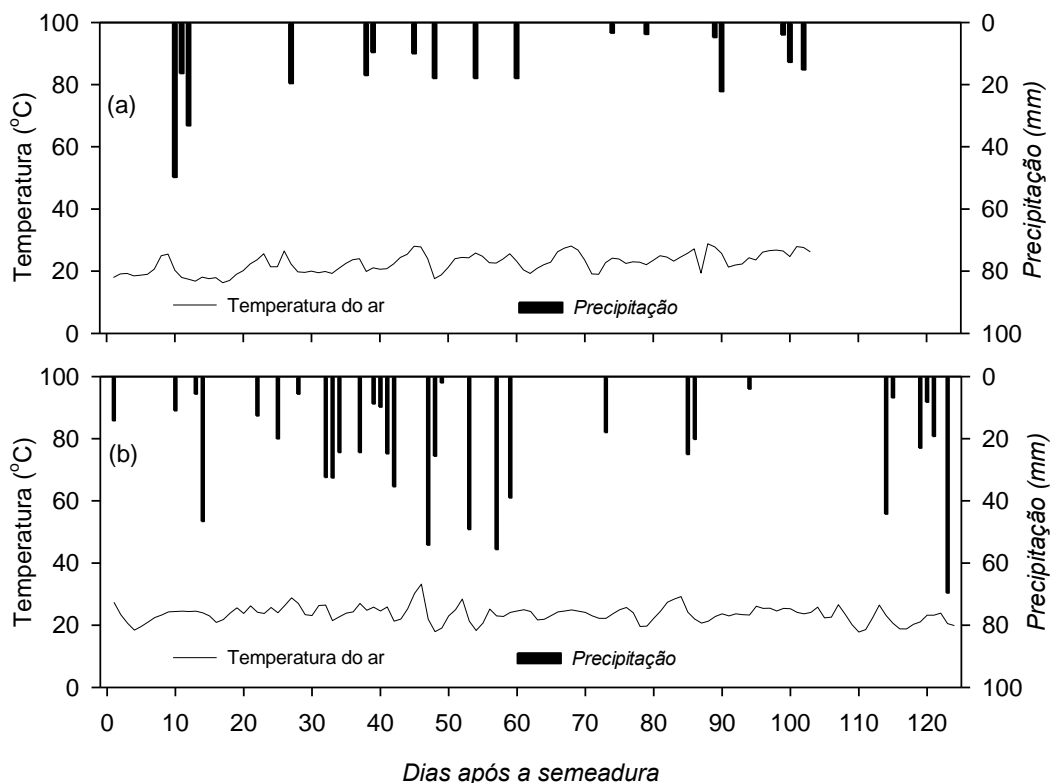


Figura 1. Temperatura média do ar e precipitação diária ocorrida durante o período de cultivo do girassol em 2011/12 (a) e 2012/13 (b).

O solo da área experimental é classificado como Argissolo Vermelho distrófico arênico (Embrapa, 2006), com textura franco arenosa. As características químicas e físicas, na camada 0-0,1 m, apresentadas no início das avaliações foram as seguintes: 1,3% de matéria orgânica; 63% Areia; 12% Argila; 25% Silte; 30,1 mg dm<sup>-3</sup> de P; 66 mg dm<sup>-3</sup> de K; pH H<sub>2</sub>O de 5,9; CTC pH7 de 7,78 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; e densidade de 1,65 g cm<sup>-3</sup>.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com quatro repetições, totalizando dezesseis unidades experimentais com dimensões de 5m x 5m (25m<sup>2</sup>). Os tratamentos avaliados consistiram de diferentes fontes de adubação nitrogenada: T1 - fertilizante mineral (NPK); T2 - cama de frango (CF); T3 - cama sobreposta de suíno (CS); e T4 - controle sem o uso de fertilizante nitrogenado (Controle).

A semeadura do girassol no primeiro e segundo cultivo foi realizada em 14 de outubro de 2011 e 9 de novembro de 2012, respectivamente. Nos dois anos

agrícolas a semeadura foi realizada de forma mecanizada com semeadora para plantio direto sobre uma cobertura de 3,4 Mg ha<sup>-1</sup> de palha de aveia preta (*Avena strigosa*) em 2010 e de 4,7 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos culturais de canola (*Brassica napus* L.) em 2011. Em 2010 a cultivar de girassol utilizada foi a Embrapa BRS 324 e em 2011 o híbrido simples Dow Agrosience M734. Nos dois anos o espaçamento entrelinhas foi de 0,7m, com uma população final de aproximadamente 45.000 plantas ha<sup>-1</sup>. No segundo ano de cultivo a semeadura do girassol foi realizada nas mesmas parcelas do cultivo anterior.

A CF utilizada no experimento era proveniente de aviário de criação de frangos de corte, com uma média de cinco lotes de frangos sobre cama de maravalha. Já a CS foi coletada após terem sido criados três lotes de suínos em fase de terminação sobre uma cama de casca de arroz. Nos dois tipos de material orgânico foram analisados, sem secagem prévia, os teores de matéria seca (MS), N total e N mineral (amoniacoal e nítrico) conforme Tedesco et al. (1995). As principais características e as quantidades adicionadas de MS e N com a CF e a CS estão apresentadas na Tabela 1. A dose de CF e CS foi estabelecida com base na recomendação de adubação orgânica da Comissão de Química e Fertilidade do Solo (CQFS - RS/SC, 2004), que considera que 50% do N total presente nesses materiais orgânicos estarão disponíveis à cultura em sucessão a aplicação. A adubação orgânica foi aplicada em dose única na superfície do solo imediatamente após a semeadura, correspondendo a uma aplicação de 120 kg de N total ha<sup>-1</sup> (60 kg de N disponível ha<sup>-1</sup>). No tratamento NPK foram aplicados na semeadura 20 kg ha<sup>-1</sup> de N, 30 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 30 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>, nas formas de sulfato de amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>SO<sub>4</sub><sup>-</sup>), superfosfato triplo (SFT) e cloreto de potássio (KCl), respectivamente. Em cobertura e na superfície do solo foram aplicados 40 kg de N ha<sup>-1</sup>, na forma de ureia, aos 40 dias após a emergência das plantas. Nos dois anos agrícolas a adubação estabelecida foi para uma expectativa de rendimento de 2 Mg ha<sup>-1</sup> de grãos de girassol.

Tabela 1. Conteúdo de matéria seca (MS) e quantidades de MS e nitrogênio (N) aplicadas no solo em dose única (na semeadura) com cada adubo orgânico, nos dois anos de cultivo do girassol.

Material orgânico <sup>(1)</sup>	Dose aplicada Mg ha <sup>-1</sup>	MS	MS	N	N	N
		%	Mg ha <sup>-1</sup>	total	amoniacal	nítrico
.....kg ha <sup>-1</sup> .....						
Girassol 2011/12						
CF	6,6	66	4,4	119,5	41,2	20,1
CS	12,1	61	7,4	119,8	26,7	8,2
Girassol 2012/13						
CF	6,2	63	3,9	119,7	31,9	16,1
CS	12,7	59	7,5	119,4	29,1	7,2

<sup>(1)</sup>CF: Cama de Frango; CS: Cama de Suíno.

A avaliação da MS e a produtividade de grãos foram realizadas na maturação fisiológica da cultura que ocorreu em 23 de fevereiro de 2012 (103 dias de ciclo) no primeiro cultivo e em 12 de março de 2013 (124 dias de ciclo) no segundo cultivo. Para a determinação da MS foram coletadas quinze plantas de girassol em dois segmentos de 2,5 m das linhas centrais de cada parcela, descartando-se 1,25 m das extremidades das linhas. As amostras foram separadas em folha, talo e capítulo. A produção de MS foi obtida pela secagem destes componentes em estufa a 65 °C até massa constante. Já para a produção de grãos, foi colhida a área útil da parcela e após a debulha manual, a umidade dos grãos foi corrigida para 11%. Uma subamostra dos grãos foi colocada para secar em estufa regulada a 65 °C para obtenção da massa seca de grãos. Os materiais secos foram moídos e tiveram os teores de N total determinados por combustão seca em analisador elementar (modelo Flash EA 1112, Thermo Finigan).

A estimativa do aproveitamento do N pelo girassol nos tratamentos com adubação orgânica e mineral foi realizada a partir dos valores de N acumulado na maturação fisiológica da cultura. Para isso, a quantidade de N acumulada no tratamento sem a aplicação de fertilizantes (controle) foi subtraída das quantidades de N acumuladas nos tratamentos com fertilizantes. Esse método desconsidera o efeito “priming” na mineralização do N da matéria orgânica do solo (MOS) resultante do N aplicado com os adubos orgânicos ou minerais. Denominando-se assim, o valor resultante dessa estimativa de aproveitamento “aparente” do N aplicado. O

*cálculo do aproveitamento do N foi realizado conforme procedimento realizado por Giacomini & Aita (2008):*

$$\text{AaN} = \frac{(\text{NAPf} - \text{NAPsf})}{\text{Naf}} \times 100$$

*sendo, AaN o aproveitamento aparente, em %, do N aplicado com a adubação orgânica ou mineral; NAPf é a quantidade de N acumulado pela planta nos tratamentos com aplicação de fertilizantes (orgânico ou mineral); NAPsf é a quantidade de N acumulado pela planta no tratamento sem a aplicação de fertilizantes e Naf é a quantidade de N aplicada com os fertilizantes orgânicos ou mineral.*

*Os resultados relativos à produção de MS, à produtividade de grãos, ao acúmulo de N na planta e ao aproveitamento aparente do N aplicado foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos foram comparadas entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância, utilizando-se o programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2000).*

### **3.4 Resultados e discussão**

*A análise estatística dos resultados de N acumulado, MS da parte aérea e produtividade de grãos do girassol indicaram que a resposta da cultura às diferentes fontes de adubação nitrogenada não diferiu entre os dois anos agrícolas, apontando que não houve interação entre os fatores adubação e cultivos. Houve apenas efeito isolado destes fatores sobre as variáveis avaliadas no girassol (Tabelas 2 e 3).*

*A quantidade de N acumulado na parte aérea do girassol (palha + grãos) no tratamento controle foi significativamente inferior àquela observada nos tratamentos que receberam adubação mineral e orgânica, os quais não diferiram entre si (Tabela 2).*

Tabela 2. Conteúdo de N na matéria seca (MS) e grãos aproveitamento aparente do N aplicado<sup>(1)</sup>.

Tratamentos <sup>(2)</sup>	N total (palha + grãos)			N nos grãos	Aproveitamento
	2011/12	2012/13	Média		
	----- kg ha <sup>-1</sup> -----			----- % -----	
NPK	101,2	91,5	96,3 a	62,2	49,7 a*
CF	98,6	94,3	96,4 a	63,1	50,0 a
CS	95,3	82,8	89,0 a	58,8	37,7 a
Controle	70,5	62,5	66,5 b	57,0	-
Média	91,4 A	82,8 B	-	60,3	-

<sup>(1)</sup>Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. <sup>(2)</sup>CF: Cama de Frango; CS: Cama de Suíno. \*Valores considerando uma eficiência fertilizante dos resíduos orgânicos de 0,5 do N aplicado.

Na média dos tratamentos NPK, CF e CS o acúmulo de N atingiu 93,4 kg ha<sup>-1</sup>, valor esse 41% (27,4 kg ha<sup>-1</sup>) superior ao observado no controle. Esse resultado indica que a CF e a CS nas doses utilizadas atenderam a demanda em N do girassol com efeito similar ao do tratamento NPK. Com isso, é possível destacar que a recomendação de adubação orgânica presente no Manual de Adubação e de Calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFS - RS/SC, 2004) está adequada para a cultura do girassol nas condições do presente estudo.

O aproveitamento pelo girassol do N aplicado com a adubação mineral e orgânica, embora tenha variado de 37,7% na CS a 50,0% na CF, não diferiu entre os tratamentos avaliados (Tabela 2). É importante destacar que os valores de aproveitamento do N na CS e CF foram calculados considerando apenas 50% do N total aplicado, pois conforme a CQFS - RS/SC (2004) esses materiais apresentam um índice de eficiência para o N de apenas 0,5 para o primeiro cultivo. Caso seja considerada a quantidade de N total aplicada com a CS e CF, os valores de aproveitamento reduzem para 18,9 e 25%, respectivamente. A tendência do menor aproveitamento do N pelo girassol na CS do que com a CF deve estar relacionado às diferenças na composição entre os dois materiais orgânicos, pois a CF apresenta maior concentração de N mineral do que a CS (Tabela 1). No momento da aplicação



dos materiais orgânicos ao solo, observa-se que 45% do N total ( $54,4 \text{ kg ha}^{-1}$ ) da CF estava na forma mineral contra apenas 30% ( $35,6 \text{ kg ha}^{-1}$ ) na CS.

Resultados de pesquisa sobre o acúmulo e o aproveitamento do N aplicado com a CS na cultura do girassol não foram encontrados na literatura consultada. Em trabalho realizado por Giacomini & Aita (2008) com a aplicação de CS no milho, foi verificado que o aproveitamento pela cultura do N aplicado com a CS em plantio direto foi de apenas 17,9% (8,9% do N total aplicado). Segundo esses autores, o baixo aproveitamento do N esteve relacionada a reduzida proporção de N mineral na CS (11% do N total) e a baixa taxa de mineralização do N contido neste material orgânico. Tal hipótese elaborada por Giacomini & Aita (2008) foi avaliada em estudo realizado por Giacomini et al. (2013) em laboratório, os quais verificaram uma taxa de mineralização de apenas 14,6% para o N orgânica presente na CS. O maior valor de aproveitamento do N da CS pelo girassol comparado ao obtido na cultura do milho por Giacomini & Aita (2008) deve-se principalmente as diferenças na composição dos resíduos orgânicos utilizados. A CS utilizada por esses autores apresentava menos de 10% do N total na forma mineral, os contra 30% medido na CS usada no presente estudo.

A quantidade de N acumulado nos grãos do girassol variou de 57,0 a 63,1% (Tabela 2). Esses valores de porcentagem são próximos aos 53% encontrados por Lobo et al. (2012) para o girassol cultivado sob doses de N que variaram de 50 a  $130 \text{ kg ha}^{-1}$ . Considerando o tratamento NPK do presente estudo, observa-se que 62,2% ( $59,9 \text{ kg ha}^{-1}$ ) dos  $96,3 \text{ kg de N ha}^{-1}$  acumulados na parte aérea estavam presentes nos grãos. Essa quantidade de N exportada é semelhante aos  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  de N-ureia aplicados via adubação nitrogenada. Desta forma pode-se inferir que a adubação com NPK permite a reposição do N exportado com os grãos. No entanto, conforme discutido anteriormente, apenas 50% do N aplicado no tratamento NPK foi recuperado pelo girassol. Aliado a isso, resultados de Rochette et al. (2009) demonstram que 64% do N aplicado ao solo com a ureia em plantio direto são perdidos do sistema solo-planta. Com isso verifica-se que a produção de girassol com o uso exclusivo de fertilizante mineral pode provocar o empobrecimento em N do solo devido a expressiva exportação de N via os grãos desta cultura. Essa situação dificilmente irá ocorrer nos tratamentos CS e CF devido a maior quantidade de N aplicada desses resíduos orgânicos em função da presença de uma fração de

N orgânico, a qual no presente estudo variou de 55 a 70%. Desta forma, o uso desses materiais orgânicos como fonte de N para o girassol poderá contribuir para manter e até mesmo elevar os estoques de N total no solo conforme verificado por Annabi et al. (2011). Além do N, a CS (Wang et al., 2004) e a CF (Valadão et al., 2011; Adeli et al., 2007) apresentam na fração orgânica expressiva quantidade de C, que durante o processo de decomposição dos resíduos poderá ser incorporado a MOS contribuindo também ao sequestro de C no solo (Pandolfo & Cerreta, 2008).

Considerando o acúmulo de N pelo girassol nos dois anos agrícolas observa-se que em 2011/12 a quantidade de N na parte aérea da planta foi maior do que em 2012/13, em  $8,6 \text{ kg ha}^{-1}$  (Tabela 2). Comportamento semelhante foi observado para a produção de MS, a qual foi superior em  $1,48 \text{ Mg ha}^{-1}$  no primeiro cultivo comparado ao segundo cultivo (Tabela 3).

Tabela 3. Conteúdo de matéria seca (talo + folha + capítulo) e produção de grãos nos dois cultivos de girassol<sup>(1)</sup>.

Tratamentos <sup>(2)</sup>	Matéria seca			Produtividade de grãos			Relação Grãos/MS
	2011/12	2012/13	Média	2011/12	2012/13	Média	
	----- $\text{kg ha}^{-1}$ -----						
NPK	5.566	3.919	4.743 a	2.398	2.818	2.608 a	0,35
CF	5.060	4.209	4.635 a	2.692	2.840	2.766 a	0,37
CS	5.877	3.676	4.776 a	2.281	2.752	2.516 a	0,35
Controle	4.290	3.076	3.683 a	1.624	1.891	1.757 b	0,32
Média	5.198 A	3.720 B	-	2.249 A	2.575 A	-	-

<sup>(1)</sup>Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. <sup>(2)</sup>CF: Cama de Frango; CS: Cama de Suíno.

Tais resultados podem ser devido às diferenças na composição química dos materiais orgânicos e as condições climáticas ocorridas em cada ano de estudo que devem ter afetado as transformações do N no solo. O maior volume de chuvas no período após a aplicação dos fertilizantes no primeiro ano agrícola comparado ao segundo (Figura 1) deve ter contribuído para potencializar as perdas de N, principalmente por lixiviação de  $\text{NO}_3^-$ . Outro aspecto que pode explicar essas

diferenças observadas para os valores de MS e N acumulado na parte aérea do girassol em cada ano pode estar relacionado aos distintos materiais de girassol utilizados em cada ano agrícola. Mello et al. (2006) ao avaliarem o efeito da época de plantio em quatro híbridos de girassol sobre a biomassa produzida para a silagem verificaram que a produção de MS variou de 5,02 a 8,01 Mg ha<sup>-1</sup> entre os materiais testados.

Embora a MS total da parte aérea (palha + grãos) do girassol tenha variado de 3,68 a 4,78 Mg ha<sup>-1</sup> na média dos dois anos agrícolas, não foi observado diferenças entre os tratamentos com fertilizante e o controle (Tabela 3). Já a produtividade de grãos nos tratamentos com fertilizante foi significativamente superior ao controle sem N (Tabela 3). Na média dos três tratamentos com fertilização (NPK, CF e CS) a produtividade de grãos do girassol superou em 1,5 vezes aquela obtida no tratamento controle (2,64 vs 1,76 Mg ha<sup>-1</sup>). A produtividade média de grãos obtida nos tratamentos com fertilização superou a produtividade média nacional de 1,6 Mg ha<sup>-1</sup> no ano agrícola de 2012/13 (CONAB, 2013) e aquela de 2,07 Mg ha<sup>-1</sup> encontrada por Carvalho & Pissaia (2002) ao aplicar 75 kg ha<sup>-1</sup> de N-ureia no girassol em plantio direto sobre palha de aveia preta. No entanto, foram semelhantes à de 2,95 Mg ha<sup>-1</sup> encontrada por Simon (2009), com a aplicação de fertilizante nitrogenado mineral na mesma dose utilizada no presente estudo.

Os resultados obtidos de acúmulo de N e produtividade de grãos de girassol nos tratamentos CS e CF apontam esses resíduos orgânicos como fontes alternativas de adubação nitrogenada para a cultura do girassol. O uso da CS e da CF em cultivos de girassol além de permitir a reciclagem dos nutrientes presentes nesses resíduos orgânicos poderá contribuir para melhorar o balanço energético da cultura, ou seja, torná-lo mais positivo. Além disso, esses resultados indicam que o índice de eficiência de 0,5 utilizado pela CQFS – RS/SC (2004) é válido para o girassol, pois nas condições edafoclimáticas que foi realizado o estudo o desempenho da cultura nos tratamentos com CS e CF foi similar ao observado no tratamento com adubação mineral (NPK).

### 3.5 Conclusões

A cama de frango e a cama sobreposta de suínos aumentaram significativamente o acúmulo de N e o rendimento de grãos do girassol, alcançando resultados similares aos obtidos com a adubação mineral recomendada para a cultura.

As fontes orgânicas apresentaram potencial de fornecimento de N semelhante à adubação mineral, o que indica que esses adubos orgânicos podem constituir fertilizantes eficientes na produção de grãos de girassol sob plantio direto.

### 3.6 Literatura citada

ADELI, A.; SISTANI, K.R.; ROWE, D.E.; TEWOLDE, H. Effects of broiler litter applied to no-till and tillage cotton on selected soil properties. **Soil Science Society of American Journal**, v.71, p.974-983, 2007.

ANNABI, M.; LE BISSONNAIS, Y.; LE VILLIO-POITRENAUD, M.; HOUOT, S. Improvement of soil aggregate stability by repeated applications of organic amendments to a cultivated silty loam soil. **Agriculture Ecosystems and Environment**, v.144, p.382-389, 2011.

BOATENG, S.A.; ZICKERMANN, J. & KORNAHRENS, M. Poultry manure effect on growth and yield of maize. **West Africa Journal Applied Ecology**, v.9, p.1-11, 2006.

CARVALHO, D.B.; PISSAIA, A. Cobertura nitrogenada em girassol sob plantio direto na palha. **Scientia Agraria**, v.3, p.41-45, 2002.

CASTRO, C.; FARIAS, J.R.B. Ecofisiologia do girassol. In: LEITE, R.M.V.B.C.; BRIGHIRNTI, A.M.; CASTRO, C. **Girassol no Brasil**. 1.ed. Londrina: Embrapa Soja, 2005. p.317-365.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. Passo Fundo, **Recomendações de Adubação e de Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa**

**Catarina**. 4. ed. Passo Fundo, SBCN – Núcleo Regional Sul/EMBRAPA – CNPT, 2004. 400p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira: girassol, décimo levantamento, julho/2013** – Companhia Nacional de Abastecimento. Brasília: Conab 2013. Disponível em: [http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13\\_07\\_09\\_09\\_04\\_53\\_boletim\\_graos\\_junho\\_\\_2013.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_07_09_09_04_53_boletim_graos_junho__2013.pdf). Acesso em: 13 de julho de 2013.

DENEGA, G.L. **Emissão de óxido nitroso e dióxido de carbono após aplicação de dejetos de suínos e bovinos em um Argissolo**. Santa Maria: UFSM, 2009. 93p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

FERREIRA, D.F. **Sistemas de análises estatística para dados balanceados**. Lavras: UFLA/DEX/SISVAR, 2000. 145 p.

GIACOMINI, S.J.; AITA, C.; PUJOL, S.B.; MIOLA, E.C.C. Transformação do nitrogênio no solo após adição de dejetos líquidos e cama sobreposta de suínos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.48, p 211-219, 2013.

GIACOMINI, S.J.; AITA, C. Cama sobreposta e dejetos líquidos de suínos como fonte de nitrogênio ao milho. **Ciência do Solo**, v.32, p.195-205, 2008.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/ppm/2010/ppm2010.pdf>. Acesso em: 18 de junho de 2013.

KONZEN, E.A. **Fertilização de lavoura e pastagem com dejetos de suínos e cama de aves**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo – Circular Técnica, n.31, 2003. 16 p.

LOBO, T.F.; FILHO, H.G.; COELHO, H.A. Efeito da adubação nitrogenada na produtividade do girassol. **Científica**, v.40, p.59-68, 2012.

MELLO, R.; NÖRNBERG, J.L.; RESTLE, J.; NEUMANN, M.; QUEIROZ, A.C. de; COSTA, P.B.; MAGALHÃES, A.L.R.; DAVID, D.B. de. Características fenológicas, produtivas e qualitativas de híbridos de girassol em diferentes épocas de semeadura para produção de silagem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, p.672-682, 2006.

ORTEGA, E.; WATANABE, M.; CAVALETT, O. 2008. **A produção de etanol em micro e minidestilarias**. In: CORTEZ, L.A.B.; GOMEZ, E.E.S.; LORA, E.O. Biomassa para energia. Campinas-SP, UNICAMP, 2008, p.475-489.

PANDOLFO, C.M.; CERETTA, C.A. Aspectos econômicos do uso de fontes orgânicas de nutrientes associadas a sistemas de preparo do solo. **Ciência Rural**, v.38, p.1572-1580, 2008.

ROCHETTE, P.; ANGERS, D.; CHANTINI, M.H.; MacDONALD, J.D.; GASSER, M.; BERTRAND, N. Reducing ammonia volatilization in a no-till soil by incorporating urea and pig slurry in shallow bands. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.84, p.71-80, 2009.

SILVA, H.R.F.; AQUINO, L.A. de; BATISTA, C.H. Efeito residual do adubo fosfatado na produtividade do girassol em sucessão ao algodoeiro. **Bioscience Journal**, v.27, p.786-793, 2011.

SIMON, J. **Culturas bioenergéticas: produção de biomassa, decomposição e liberação de nitrogênio dos resíduos culturais**. 2009. 62p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.

URQUIAGA, S.; ALVES, B.J.R. & BOODEY, R.M. Produção de biocombustíveis: a questão do balanço energético. **Política Agrícola**, v.1, p.42-46, 2005.

VALADÃO, F.C.A.; MAAS, K.D.B.; WEBER, O.L. dos; VALADÃO JÚNIOR, D.D.; SILVA, T.J. da. Variação nos atributos do solo em sistemas de manejo com adição de cama de frango. **Ciência do Solo**, v.35, p. 2073-2082, 2011.

WANG, P.; CHANGA, C.M.; WATSON, M.E.; DICK, W.A.; CHEN, Y.; HOITINK, H.A.J. Maturity indices for composted dairy and pig manures. **Soil Biology and Biochemistry**, v.36, p.767-776, 2004.

#### **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

*Os resultados deste estudo demonstram que a cama de frango e a cama sobreposta de suínos são capazes a suprir a demanda de N no cultivo do girassol em sistema de plantio direto, alcançando resultados de produtividade similares à adubação mineral. No entanto, a aplicação destas fontes de N também aumentaram consideravelmente as emissões de N<sub>2</sub>O em relação ao controle sem N. Porém, para uma comparação mais precisa entre as diferentes fontes fertilizantes nitrogenadas, sobre o impacto no balanço energético da cultura do girassol, é necessário a contabilização da energia gasta na geração de cada fonte de N. Desta forma, mais pesquisas são necessárias para identificar de que modo estratégias podem ser desenvolvidas para mitigar as emissões de N<sub>2</sub>O durante o período de cultivo do girassol.*

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDALLA, M.; JONES, M.; AMBUS, P.; WILLIAMS, M. Emissions of nitrous oxide from Irish arable soils: effects of tillage and reduced N input. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.86, p.53-65, 2010.

AMBUS, P.; ZECHMEISTER-BOLTENSTERN, S.; BUTTERBACH-BAHL, K. Sources of nitrous oxide emitted from European forest soils. **Biogeosciences**, v.3, p.135-145, 2006.

ANNABI, M.; LE BISSONNAIS, Y.; LE VILLIO-POITRENAUD, M.; HOUOT, S. Improvement of soil aggregate stability by repeated applications of organic amendments to a cultivated silty loam soil. **Agriculture Ecosystems and Environment**, v.144, p.382-389, 2011.

BEAULIEU J.J.; TANK J.L.; HAMILTON S.K.; WOLLHEIM W.M.; HALL JR. R.O.; MULHOLLAND P.J.; et al. Nitrous oxide emission from denitrification in stream and river networks. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v.108, p.214-219, 2011.

BULLUCK III, L.R.; BROSIUS, M.; EVANYLO, G.K.; RISTAINO, J.B. Organic and synthetic fertility amendments influence soil microbial, physical and chemical properties on organic and conventional farms. **Applied Soil Ecology**, v. 19, p.147-60, 2002.

CAMERON, K.C.; DI, H.J. & MOIR, J.L. Nitrogen losses from the soil/plant system: a review. **Annals of Applied Biology**, v.162, p.145-173, 2013.

CARDENAS, L.M.; THORMAN, R.; ASHLEE, N.; BUTLER, M.; CHADWICK, D.; CHAMBERS, B.; CUTTLE, S.; DONOVAN, N.; KINGSTON, H.; DHANOA, M.S.; SCHOLEFIELD, D. Quantifying annual N<sub>2</sub>O emission fluxes from grazed grassland under a range of inorganic fertiliser nitrogen inputs. **Agriculture Ecosystems and Environment**, v.136, p.218-226, 2010.

CARVALHO, D.B.; PISSAIA, A. Cobertura nitrogenada em girassol sob plantio direto na palha. **Scientia Agraria**, v.3, p.41-45, 2002.



CELIK, I.; ORTAS, I.; KILIC, S. Effects of compost, mycorrhiza, manure and fertilizer on some physical properties of a Chromoxerert soil. **Soil and Tillage Research**, v.78, p.59-67, 2004.

CHANG, C.; CHO, C.M.; JANZEN, H.H. Nitrous oxide emission from long-term manured soils. **Soil Science Society of American Journal**, v.62, p.677-682, 1998.

CHU, H.; HOSEN, Y.; YAGI, K. Nitrogen oxide emissions and soil microbial properties as affected by N-fertilizer management in a Japanese Andisol. **Soil Science Plant Nutrition**, v.50, p.287-29, 2004.

CRUTZEN, P.J.; MOSIER, A.R.; SMITH, K.A.; WINIWATER, W. N<sub>2</sub>O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v.8, p.389-395, 2008.

DORNBURG, V.; TERMEER, G.; FAAIJ, A.P.C. Economic and greenhouse gas emission analysis of bioenergy production using multi-product crops-case studies for the Netherlands and Poland. **Biomass and Bioenergy**, v.28, p.454-474, 2005.

DUXBURY, J.M.; HARPER, L.A.; MOSIER, A.R. Contribution of agroecosystems to global climate change. In: HARPER, L.A.; MOSIER, A.R.; DUXBURY, J.M.; ROLSTON, D.E. (eds) *Agricultural ecosystem effects on trace gases and global climate change*. **American Society of Agronomy**, p.1-18, 1993.

EDMEADES, D.C. The long-term effects of manures and fertilizers on soil productivity and quality: A review. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.66, p.165-180, 2003.

EGHBALL, B. Soil properties as influenced by phosphorus-and nitrogen-based manure and compost applications. **Agronomy Journal**, v.94, p.128-135, 2002.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). (2008). *The state of the food and agriculture 2008*. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/011/i0100e/i0100e00.htm>>. Acesso em: 21 de junho de 2013.

FORSTER, P.; RAMASWAMY, V.; ARTAXO, P.; BERNSTEN, T.; BETTS, R.; FAHEY, D.W.; HAYWOOD, J.; LEAN, J.; LOWE, D.C.; MYHRE, G.; NGANGA, J.; PRINN, R.; RAGA, G.; SCHUTZ, M.; VAN DORLAND, R. Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing. In: **Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment**

**Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** (Eds SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M.; CHEN, Z.; MARQUIS, M.; AVERYT, K.B.; TIGNOR, M.; MILLER, H.L.), p.129-234, 2007.

HAYAKAWA, A.; AKIYAMA, H.; SUDO, S.; YAGI, K. N<sub>2</sub>O and NO emissions from an Andisol field as influenced by pelleted poultry manure. **Soil Biology and Biochemistry**, v.41, p.521-529, 2009.

HUTCHINSON, G.L.; DAVIDSON, E.A. Processes for production and consumption of gaseous nitrogen oxides in soil. In: HARPER, L.A.; MOSIER, A.R.; DUXBURY, J.M.; ROLSTON, D.E. (eds) *Agricultural ecosystem effects on trace gases and global climate change*. **American Society of Agronomy Journal**, v.55, p.79-94, 1993.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/ppm/2010/ppm2010.pdf>>. Acesso em: 18 de junho de 2013.

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.

ISERMANN, K. Agriculture's share in the emission of trace gases affecting the climate and some cause-oriented proposals for sufficiently reducing this share. **Environmental Pollution**, v.83, p.95-111, 1994.

JACKSON, J.; CHOUDRIE, S.; THISTLETHWAITE, G.; PASSANT, N.; MURRELLS, T.; WATTERSON, J.; MOBBS, D.; CARDENAS, L.; THOMSON, A.; LEECH, A. UK greenhouse gas inventory, 1990 to 2007 annual report for submission under the framework Convention on Climate Change, AEA Technology, p.71, 2009.

JONES, S.K.; REES, R.M.; SKIBA, U.M.; BALL, B.C. Influence of organic and mineral N fertiliser on N<sub>2</sub>O fluxes from a temperate grassland. **Agriculture Ecosystems and Environment**, v.121, p.74-83, 2007.

KERN, J.; HELLEBRAND, H.J.; SCHOLZ, V.; LINKE, B. Assessment of nitrogen fertilization for the CO<sub>2</sub> balance during the production of poplar and rye. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.14, p.1453-1460, 2010.

KONZEN, E.A. **Fertilização de lavoura e pastagem com dejetos de suínos e cama de aves**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo – Circular Técnica, n.31, 2003. 16 p.

LAL, R. Carbon sequestration. **Philosophical Transactions of the Royal Society Biological Sciences**, v.363, p.815-830, 2008.

LEROY, B.; HERATH, H.; SLEUTEL, S.; DE NEVE, S.; GABRIËLS, D.; REHEUL, D. et al. The quality of exogenous organic matter: short-term effects on soil physical properties and soil organic matter fractions. **Soil Use and Management**, v.24, p.139-47, 2008.

LOBO, T.F.; FILHO, H.G.; COELHO, H.A. Efeito da adubação nitrogenada na produtividade do girassol. **Científica**, v.40, p.59-68, 2012.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO (MCTI). **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**. 2013. Disponível em: <[http://www.mct.gov.br/upd\\_blob/0226/226591.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0226/226591.pdf).> Acesso em 09 de julho de 2013.

MOSIER, A.R. Soil processes and global change. **Biology Fertility of Soils**, v.27, p.221-229, 1998.

SILVA, H.R.F.; AQUINO, L.A. de; BATISTA, C.H. Efeito residual do adubo fosfatado na produtividade do girassol em sucessão ao algodoeiro. **Bioscience Journal**, v.27, p.786-793, 2011.

SISTANI, K.R.; WARREN, J.G.; LOVANH, N.; HIGGINS, S.; SHEARER, S. Greenhouse Gas Emissions from Swine Effluent Applied to Soil by Different Methods. **Soil Science Society of American Journal**, v.74, p.429-435, 2010.

SMEETS, E.M.W.; BOUWMANW, L.F.; STEHFEST, E.; VAN VUUREN, D.P.; POSTHUMA, A. Contribution of N<sub>2</sub>O to the greenhouse gas balance of first-generation biofuels. **Global Change Biology**, v.15, p.1-23, 2009.

SNYDER, C.S.; BRUULSEMA, T.W.; DOBBIE, K.E.; JENSEN, T.L.; FIXEN, P.E. Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.133, p.247-266, 2009.

SNYDER, C.S.; BRUULSEMA, T.W.; JENSEN, T.L. Melhores práticas de manejo para minimizar emissões de gases de efeito estufa associadas ao uso de fertilizantes. Piracicaba, SP. **Informações Agronômicas**, n.121, p.13-14. 2008.

THANGARAJAN, R.; BOLAN, N.S.; TIAN, G.; NAIDU, R.; KUNHIKRISHNAN, A. Role of organic amendment application on greenhouse gas emission from soil. **Science of the Total Environment**, 2013.

VERMA, A.; TYAGI, L.; YADAV, S.; SINGH, S.N. Temporal changes in N<sub>2</sub>O efflux from cropped and fallow agricultural fields. **Agriculture Ecosystems and Environment**, v.116, p.209-215, 2006.

ZERZGHI, H.; GERBA, C.P.; BROOKS, J.P.; PEPPER, I.L. Long-term effects of land application of class b biosolids on the soil microbial populations, pathogens, and activity. **Journal of Environmental Quality**, v.39, p.402-408, 2010.

ZOBIOLE, L.H.S.; CASTRO, de C.; OLIVEIRA, F.A. de; OLIVEIRA JUNIOR, A. de. Marcha de absorção de macronutrientes na cultura do girassol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.425-433, 2010.