

**Emissões Anuais de Metano e de  
Óxido Nitroso em Terras Baixas:  
Efeito do Método de Irrigação  
para o Arroz**



ISSN 1678-2518

Dezembro, 2015

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Clima Temperado  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

# ***Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*** 236

## **Emissões Anuais de Metano e de Óxido Nitroso em Terras Baixas: Efeito do Método de Irrigação para o Arroz**

Walkyria Bueno Scivittaro  
Gerson Lübke Buss  
Rogério Oliveira de Sousa  
Anderson Dias Silveira  
Marla de Oliveira Farias

Embrapa Clima Temperado  
Pelotas, RS  
2015

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

**Embrapa Clima Temperado**

Endereço: BR 392, Km 78

Caixa postal 403, CEP 96010-971 - Pelotas/RS

Fone: (53) 3275-8100

[www.embrapa.br/clima-temperado](http://www.embrapa.br/clima-temperado)

[www.embrapa.br/fale-conosco/sac/](http://www.embrapa.br/fale-conosco/sac/)

**Comitê de Publicações da Embrapa Clima Temperado**

Presidente: *Ana Cristina Richter Krolow*

Vice-Presidente: *Enio Egon Sosinski Junior*

Secretária: *Bárbara Chevallier Cosenza*

Membros: *Ana Luiza Barragana Viegas, Fernando Jackson, Marilaine Schaun Pelufê, Sonia Desimon*

Revisão de texto: *Eduardo Freitas de Souza*

Normalização bibliográfica: *Marilaine Schaun Pelufê*

Editoração eletrônica: *Nathália Coelho Moreira (estagiária)*

Foto de capa: *Walkyria Scivittaro*

**1ª edição**

1ª impressão (2015): 30 exemplares

**Todos os direitos reservados.**

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

Embrapa Clima Temperado

---

E53 Emissões anuais de metano e de óxido nitroso em terras baixas: efeito do método de irrigação para o arroz / Walkyria Bueno Scivittaro... [et al.]. - Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2015. 32 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Clima Temperado, ISSN 1678-2518 ; 236)

1. Efeito estufa. 2. Solo hidromórfico. 3. Irrigação.  
4. Arroz. I. Scivittaro, Walkyria Bueno. II. Série.

---

CDD 633.18

©Embrapa 2015

# Sumário

<b>Resumo</b> .....	5
<b>Abstract</b> .....	7
<b>Introdução</b> .....	9
<b>Material e Métodos</b> .....	12
<b>Resultados e Discussão</b> .....	16
<b>Conclusões</b> .....	27
<b>Referências</b> .....	28



# Emissões Anuais de Metano e de Óxido Nitroso em Terras Baixas: Efeito do Método de Irrigação para o Arroz

*Walkyria Bueno Scivittaro<sup>1</sup>*

*Gerson Lübke Buss<sup>2</sup>*

*Rogério Oliveira de Sousa<sup>3</sup>*

*Anderson Dias Silveira<sup>4</sup>*

*Marla de Oliveira Farias<sup>5</sup>*

## Resumo

O método de irrigação do arroz condiciona manejos diferenciados do solo e da cultura, proporcionando potenciais distintos de emissão de metano ( $\text{CH}_4$ ) e óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) do solo durante o período de cultivo do arroz e, possivelmente, também durante a entressafra (outono/inverno). O objetivo desse trabalho foi avaliar as emissões anuais de  $\text{CH}_4$  e de  $\text{N}_2\text{O}$  de solo de terras baixas cultivado com arroz irrigado por inundação e por aspersão, comparando-as com as emissões de mesmo solo sem histórico recente de cultivo (área natural). O estudo foi realizado no período de novembro de 2011 a novembro de 2012, em Planossolo Háplico, no município de Capão do Leão, RS. Avaliaram-se os seguintes tratamentos: área cultivada com arroz irrigado por inundação na safra 2011/2012 e mantida em pousio com ressemeadura de azevém no outono/inverno de 2012 (Inundação);

<sup>1</sup> Engenheira-agrônoma, doutora em Ciências, pesquisadora da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS.

<sup>2</sup> Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água da UFPel, Pelotas, RS.

<sup>3</sup> Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência do Solo, professor da Faem/UFPel, Pelotas, RS.

<sup>4</sup> Engenheiro-agrônomo, Faem/UFPel, Pelotas, RS.

<sup>5</sup> Engenheira-agrônoma, doutora em Agronomia, bolsista DTI do CNPq, Pelotas, RS.

área cultivada com arroz irrigado por aspersão na safra 2011/2012 e com nabo forrageiro em sistema plantio direto durante o outono/inverno de 2012 (Aspersão); e área natural adjacente às demais (Área natural), com mesmo solo e sem histórico de cultivo nos últimos 20 anos. Periodicamente, realizaram-se coletas de amostras de ar, pelo método da câmara estática fechada. A adoção do método de irrigação por aspersão para o arroz promove a mitigação das emissões de metano do solo em terras baixas do Rio Grande do Sul, relativamente à irrigação por inundação, porém potencializa as emissões de óxido nitroso nos períodos de safra (primavera/verão) e de entressafra (outono/inverno). O potencial de aquecimento global parcial de área irrigada por inundação decorre basicamente da emissão de metano, sendo superior ao de área irrigada por aspersão durante o período de cultivo do arroz (safra de primavera/verão). Na entressafra, a área sob irrigação por aspersão apresenta maior potencial de aquecimento global parcial (composto exclusivamente por  $N_2O$ ) que a área irrigada por inundação. Os dois sistemas de irrigação (aspersão e inundação), quando comparados com área natural sem histórico de cultivo recente, apresentam menores valores de potencial de aquecimento global parcial nos períodos de safra e de entressafra.

**Termos para indexação:** gás de efeito estufa, sistema de irrigação, *Oryza sativa* L.

# Annual Emissions of Methane and Nitrous Oxide in Lowlands: Effect of Irrigation Method for Rice Crop

---

*Walkyria Bueno Scivittaro*

*Gerson Lübke Buss*

*Rogério Oliveira de Sousa*

*Anderson Dias Silveira*

*Marla de Oliveira Farias*

## Abstract

*Rice irrigation method determines different soil and crop managements, providing distinct soil potentials of methane (CH<sub>4</sub>) and nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) emissions during rice grown season and possibly also during autumn/winter season. This work had the objective of evaluating annual emissions of CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O from a lowland soil grown with flooded rice and sprinkler irrigated rice, comparing them with the emissions of a reference area with the same soil, but with no recent history of crop cultivation (natural area). The study was carried out from November 2011 to November 2012 in Planosolo (Typic Albaqualf), at Embrapa Temperate Agriculture, in Capão do Leão, State of Rio Grande do Sul, Brazil. The following treatments were evaluated: area grown with flooded rice in the 2011/2012 season and kept fallow with ryegrass natural seeding during 2012 autumn/winter season (Flood); area grown with sprinkler irrigated rice during 2011/2012 season and with radish in no tillage system during 2012 autumn/winter (Sprinkler); and a natural area with no recent history of grown in the last 20 years (Natural Area). The air sampling for CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O soil emissions analysis was performed periodically, using static closed chambers. The adoption of sprinkler irrigation method for rice promotes mitigation of soil methane emissions in the lowlands,*

8 Emissões Anuais de Metano e de Óxido Nitroso em Terras Baixas: Efeito do Método de Irrigação para o Arroz

*comparing to flood rice, but enhances soil nitrous oxide emissions, during rice growing season (spring/summer) and off-season (autumn/winter). Partial global warming potential of flooded area is basically due to methane emissions. It is higher than sprinkler irrigated area during rice grown season (spring/summer). During autumn/winter season, sprinkler irrigated area presents higher partial global warming potential (composed exclusively of N<sub>2</sub>O) than the flooded area. Both rice irrigated areas (flood and sprinkler) provide lower partial global warming potential than the natural area during rice spring/summer and autumn/winter seasons.*

***Index terms:*** greenhouse gas, irrigation system, *Oryza sativa* L.

## Introdução

Dentre as atividades humanas envolvidas com a produção e emissão de gases de efeito estufa (GEE), o cultivo de arroz irrigado por inundação do solo responde por 15-20% das emissões de metano ( $\text{CH}_4$ ), devido à decomposição microbiana de materiais orgânicos em ambiente anóxico (LE MER; ROGER, 2001). Já as emissões de óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) decorrem, principalmente, da aplicação de fertilizantes nitrogenados (LIU et al., 2010). Em áreas cultivadas com arroz irrigado, as emissões de  $\text{N}_2\text{O}$  estão associadas, ainda, à variação no potencial de oxirredução do solo, sendo fortemente influenciadas pela capacidade de drenagem do solo, pelo sistema de irrigação e pelas práticas de manejo da água para a cultura.

No Brasil, a maior parte da produção de arroz provém da região Sul, particularmente do Estado do Rio Grande do Sul (RS) (SOSBAI, 2014), onde há uma vasta extensão de áreas de terras baixas, propícias ao cultivo de arroz irrigado, cultura adaptada à condição de hidromorfismo (má drenagem) característica dos solos dessas áreas (KLAMT et al., 1985). Anualmente, cultivam-se mais de um milhão de hectares de arroz nas terras baixas do Rio Grande do Sul, predominantemente no sistema irrigado por inundação contínua, atingindo produtividades altas e crescentes, com média superior a  $7.200 \text{ kg ha}^{-1}$  na safra 2013/2014 (CONAB, 2014).

O relevo das terras baixas do RS é diversificado, variando desde muito plano (declividade inferior a 0,2%) a suave ondulado (declividade variando entre 2-5%). As áreas com maior declividade ocorrem em todas as regiões arrozeiras do estado, sendo mais frequentes, porém, na Fronteira Oeste. Nas áreas mais onduladas, o método de irrigação por inundação dificulta o manejo da lavoura, particularmente as operações de semeadura, colheita e irrigação, em razão da grande quantidade de taipas necessárias ao controle adequado da água. Tal fato, associado à preocupação crescente do setor produtivo com a redução no uso da água pelo arroz, tem estimulado a busca de

métodos alternativos de irrigação para a cultura, dentre os quais se destaca o de aspersão nos sistemas de pivô-central ou linear, que facilita o manejo da cultura e proporciona grande economia de água à lavoura (PARFITT et al., 2011).

Apesar do investimento inicial elevado, a irrigação por aspersão pode promover redução de cerca de 50% no uso da água pelo arroz (CONCENÇO et al., 2009b). Nesse sentido, análises econômicas preliminares mostram a viabilidade do sistema de irrigação por aspersão para o arroz (CONCENÇO et al., 2009a), particularmente na Fronteira Oeste do RS, região em que a cultura apresenta potencial produtivo elevado, mas é mais limitada quanto à disponibilidade de recursos hídricos, eventualmente restringindo a área de cultivo (GOMES et al., 2008a, 2008b).

Além de economia de água, a adoção de irrigação por aspersão para o arroz, em substituição à tradicional irrigação por inundação, pode contribuir para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa (GEE). Isto porque o efluxo de metano ( $\text{CH}_4$ ) e de óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) associado ao cultivo de arroz está fortemente relacionado ao método de irrigação. A produção e emissão de  $\text{CH}_4$ , principal gás de efeito estufa em cultivos de arroz irrigado (ZSCHORNACK, 2011), decorre, basicamente, da condição anaeróbia proporcionada pela inundação contínua do solo (BUENDIA et al., 1997). Por outro lado, a irrigação por aspersão, por preconizar a manutenção do solo oxidado, não é favorável à produção de metano (BUSS, 2012).

Com relação ao óxido nitroso, o comportamento das emissões em lavouras de arroz é distinto, ou seja, essas são favorecidas pela irrigação por aspersão (BUSS, 2012), uma vez que a condutividade hidráulica dos solos de terras baixas é pequena (STRECK et al., 2008). Essa característica, associada aos eventos de precipitação intensa a que estão sujeitas as áreas de terras baixas, condicionam variações nas condições de oxirredução do solo, favorecendo a alternância

dos processos de nitrificação/desnitrificação e, conseqüentemente, a produção e emissão de  $N_2O$ . Contrariamente, quando o arroz é irrigado por inundação contínua, o solo é mantido reduzido durante todo ou a maior parte do período de cultivo do arroz, minimizando o potencial de emissão de óxido nitroso.

A viabilidade da implementação de sistema de irrigação por aspersão para o arroz no ambiente de terras baixas requer o estabelecimento de sistemas de rotação e sucessão de culturas, sendo o arroz um dos componentes. Esse procedimento otimiza o uso das áreas e do equipamento de irrigação ao longo do ano.

A intensificação no uso das áreas de terras baixas, proporcionada pela adoção de sistemas rotacionados de cultivo em áreas irrigadas por aspersão, deve influenciar na produção e emissão de gases de efeito estufa, visto que as áreas passam a ser ocupadas e manejadas não apenas durante a safra de primavera/verão, mas também durante o período de entressafra (outono/inverno). Neste período, as áreas são usualmente utilizadas na produção de culturas de cobertura do solo, contribuindo para a melhoria da qualidade do solo ou ainda representando uma fonte adicional de renda para o produtor, mediante o fornecimento de massa seca para uso na alimentação animal ou mesmo a produção de sementes.

Pelo exposto, realizou-se o presente trabalho que teve por objetivo avaliar as emissões anuais de metano e de óxido nitroso de um solo de terras baixas cultivado com arroz irrigado por inundação e aspersão, comparando-as com as emissões de uma área natural (não cultivada).

## Materiais e Métodos

O experimento foi realizado na Estação Experimental Terras Baixas da Embrapa Clima Temperado, em Capão do Leão, RS. As avaliações incluíram os períodos de safra 2011/2012 (29 de novembro de 2011 a 28 de março de 2012) e entressafra 2012 (30 de março a 13 de novembro de 2012).

Avaliaram-se três tratamentos, representados por dois sistemas de irrigação para o arroz, inundação contínua e aspersão, e uma área natural, utilizada como referência. Por requererem infraestrutura de irrigação distinta, os tratamentos foram implementados em áreas adjacentes com mesmo solo – Planossolo Háplico (STRECK et al., 2008). As unidades experimentais, com dimensões de 10 m x 10 m (100 m<sup>2</sup>), foram dispostas em delineamento de faixas, com cinco repetições. Uma descrição sucinta dos tratamentos avaliados é apresentada na sequência:

- Sistema irrigado por inundação (Inundação): área cultivada com arroz irrigado por inundação no período de primavera/verão (safra 2011/2012), com ressemeadura natural de azevém na entressafra subsequente (período de outono/inverno). Nesse tratamento, as plantas de arroz foram semeadas em solo seco em terreno previamente preparado em sistema convencional. A irrigação do arroz por inundação do solo foi iniciada quando as plantas atingiram o estágio de quatro folhas (V4), mantendo-se uma lâmina de água contínua (7,5 cm de altura) até a maturação de colheita (estádio R9). Após a colheita, manteve-se a resteva do arroz em superfície, havendo ressemeadura natural de azevém.
- Sistema irrigado por aspersão (Aspersão): área cultivada com arroz irrigado por aspersão, em sistema linear móvel no período de primavera/verão, e com nabo forrageiro em sistema plantio direto na entressafra subsequente (período de outono/inverno). Nesse tratamento, as plantas de arroz foram irrigadas por aspersão sempre

que a leitura da tensão de água no solo, medida por sensores Watermark®, atingia 0,020 MPa, no período compreendido entre a semeadura e maturação de colheita. As lâminas de irrigação utilizadas durante o período de cultivo do arroz foram de 9 mm, na fase vegetativa, e de 12 mm, na fase reprodutiva.

- Área natural: área típica do ambiente de terras baixas adjacente e com mesmo solo das demais áreas em avaliação, mas sem histórico de cultivo nos últimos 20 anos. Por estar localizada em cota baixa na paisagem, está sujeita a inundações periódicas, especialmente no período de outono/inverno, quando há maior incidência de chuva na região. Revestida por vegetação herbácea, composta predominantemente por gramíneas e espécies vegetais de pequeno porte, com baixa incidência de arbustos, estabelecendo uma paisagem regular e homogênea ao longo do ano.

Para o acompanhamento dos estádios de desenvolvimento das plantas de arroz, utilizou-se, como referência, a escala de desenvolvimento de Counce et al. (2000).

As amostragens de ar para determinação das emissões de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O foram realizadas em intervalos regulares de aproximadamente sete dias, durante o período de safra (primavera/verão), e de 14 dias, no período de entressafra (outono/inverno). Excepcionalmente, na semana subsequente à realização das adubações nitrogenadas em cobertura para o arroz, no início do perfilhamento (estádio V4) e na fase de iniciação da panícula, a frequência de amostragem foi reduzida para intervalos de dois dias.

Nas amostragens, utilizou-se o método da câmara estática fechada (MOSIER, 1989), adaptado e padronizado pelo Comitê de Cultivo de Arroz e Fluxo de Gases, como parte do Projeto "Internacional Global Atmospheric Chemistry". Para tanto, em três das cinco repetições de cada tratamento, foi disposto um sistema coletor de gases de efeito

estufa (base + extensor + câmara).

As bases são confeccionadas em alumínio, apresentando formato quadrado (64 cm x 64 cm) e 30 cm de altura. Essas são inseridas no solo a uma profundidade de 5 cm. Acima da superfície do solo, em dois lados opostos, as bases dispõem de dois orifícios com diâmetro de 2,5 cm, que permitem, quando presente, a circulação de água da área experimental para o interior do sistema coletor. Esses orifícios são fechados durante os períodos de coletas, utilizando-se de rolha de borracha. Apenas as bases dos sistemas coletores permaneceram nas parcelas experimentais durante todo o período de avaliação. Embora eventualmente, particularmente por ocasião das operações agrícolas mecanizadas, as bases foram temporariamente retiradas do solo.

Durante as coletas, câmaras de alumínio foram dispostas sobre as bases. Quando as plantas de arroz atingiram alturas superiores à do conjunto base-câmara, um ou dois extensores, conforme a necessidade, foram colocados entre as bases e as câmaras. Os conjuntos base-extensores-câmaras foram fechados hermeticamente durante as coletas, pela colocação de água em canaletas existentes na parte superior das bases e dos extensores (GOMES et al., 2009).

As amostragens de ar foram realizadas sempre no período da manhã, entre 9 e 12 horas, horário em que os fluxos de emissão de gases de efeito estufa são representativos das emissões médias diárias na região Sul do Brasil (COSTA et al., 2008). As amostras de ar do interior das câmaras foram tomadas manualmente com auxílio de seringas de polipropileno (20 mL) nos tempos 0, 5, 10 e 20 minutos após seu fechamento. O ar no interior das câmaras era homogeneizado durante 30 segundos antes de cada amostragem, por meio de ventiladores presentes na parte superior das câmaras e a temperatura interna, monitorada com auxílio de termômetro digital de haste com visor externo.

Durante os períodos de amostragens, as seringas eram acondicionadas em caixas térmicas e mantidas sob baixa temperatura, sendo o ar armazenado imediatamente após transferido para frascos específicos dotados de vácuo. As precipitações ocorridas ao longo do período de avaliação foram monitoradas continuamente (dados não apresentados).

As concentrações de  $\text{CH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$  nas amostras de ar foram determinadas por cromatografia gasosa, no laboratório de Biogeoquímica Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Por sua vez, os fluxos de  $\text{CH}_4$  e de  $\text{N}_2\text{O}$  do solo (taxas de emissão) foram calculados pela relação linear entre a variação na concentração desses gases e o tempo de coleta, segundo a equação:

$$f = \frac{dC}{dt} \frac{MPV}{RT} \frac{1}{A}$$

onde:  $dC/dt$  corresponde à mudança na concentração de  $\text{CH}_4$  ou de  $\text{N}_2\text{O}$  ( $\text{mmol mol}^{-1}$ ) no intervalo de tempo  $t$  (min);  $M$  é o peso molecular do respectivo gás ( $\text{g mol}^{-1}$ );  $P$  é a pressão (atm) no interior da câmara (assumida como 1,0 atm);  $V$  e  $T$  correspondem ao volume da câmara (L) e à temperatura interna (K);  $R$  é a constante universal dos gases ( $0,08205 \text{ L atm K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ ) e  $A$  é a área da base da câmara ( $\text{m}^2$ ).

A taxa de aumento de gás no interior das câmaras foi obtida pelo coeficiente angular da equação da reta ajustada entre a concentração dos gases e o tempo. A emissão total do período foi calculada pela integração da área sob a curva obtida pela interpolação dos valores diários de emissão de  $\text{CH}_4$  e de  $\text{N}_2\text{O}$  do solo (GOMES et al., 2009). Com base na emissão acumulada de  $\text{CH}_4$  e de  $\text{N}_2\text{O}$ , foi calculado o potencial de aquecimento global parcial (PAGp), que considera o potencial de aquecimento de cada gás em relação ao  $\text{CO}_2$  (25 vezes para o  $\text{CH}_4$  e 298 para o  $\text{N}_2\text{O}$ ). Os fluxos diários e as emissões totais foram analisados de forma descritiva (média  $\pm$  desvio padrão).

## Resultados e Discussão

Durante a safra de primavera/verão, a área cultivada com arroz irrigado por inundação proporcionou fluxos iniciais de  $\text{CH}_4$  praticamente nulos, sendo observados valores mais expressivos de emissão apenas a partir do 34º dia de avaliação. As emissões de  $\text{CH}_4$  na área irrigada por aspersão, por sua vez, foram praticamente nulas durante todo o período de cultivo de arroz. O maior valor medido ( $5 \text{ g CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ) ocorreu aos 68 dias. Já na área natural, as emissões de  $\text{CH}_4$  nesse período foram bastante variáveis, estando relacionadas fundamentalmente às condições de umidade do solo. Nessa área, a emissão máxima de  $\text{CH}_4$  ocorreu no 103º dia após o início das avaliações, atingindo  $595 \text{ g CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$  (Figura 1).

Na área irrigada por inundação foram determinados dois picos de emissão de  $\text{CH}_4$  de maior magnitude durante o período de cultivo do arroz; o primeiro deles ocorreu 75 dias após o início das avaliações, com magnitude de  $110 \text{ g CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ , coincidindo com a fase de floração do arroz (Figura 1). O aumento nas emissões de metano durante a floração é atribuído à liberação de grandes quantidades de exsudados radiculares, decorrente da atividade metabólica elevada da planta. Os exsudados radiculares atuam como substrato para os organismos metanogênicos, aumentando a produção de  $\text{CH}_4$  (AULAKH et al., 2001). Segundo esses autores, existe uma correlação positiva entre a massa de matéria seca da parte aérea e das raízes das plantas de arroz e a exsudação de compostos orgânicos. Portanto, a exsudação de compostos orgânicos é comandada pela produção de matéria seca das plantas de arroz, que, por sua vez, depende da taxa fotossintética.

O segundo pico de emissão de  $\text{CH}_4$  na área cultivada com arroz irrigado por inundação ocorreu no 103º dia após o início das avaliações (Figura 1), possivelmente estando relacionado à senescência das raízes de arroz e às suas escamações, que são intensificadas na fase de maturação, favorecendo a atividade das

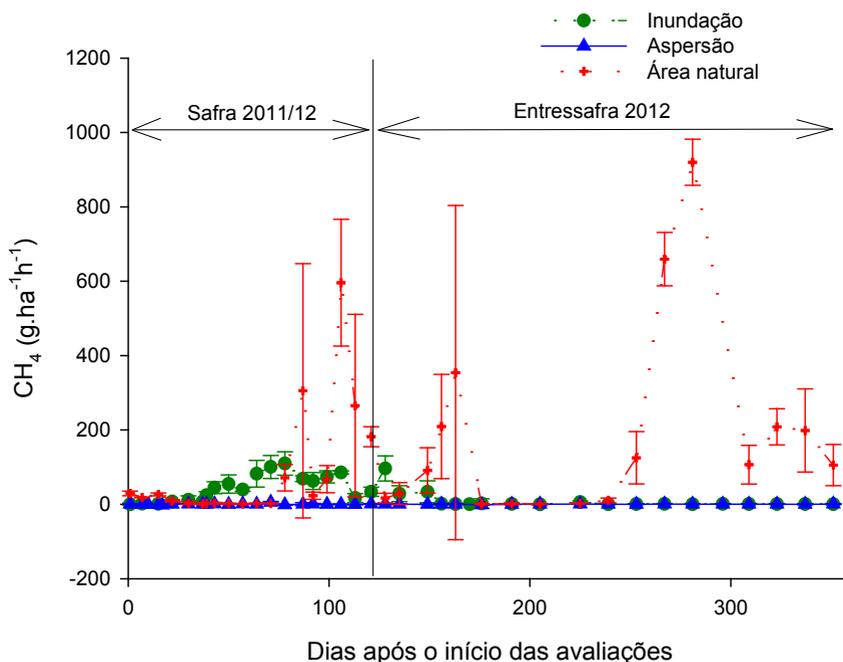
bactérias metanogênicas e aumentando o fluxo de  $\text{CH}_4$  do solo (AULAKH et al., 2001). Além disso, na maturação, as folhas mortas são depositadas sobre o solo, formando uma liteira que, conjuntamente aos perfilhos que não produziram panícula, passam a ter participação significativa no fornecimento de carbono aos organismos metanogênicos (WATANABE et al., 1999).

Na área irrigada por aspersão praticamente não houve emissão de  $\text{CH}_4$ , pois a metanogênese requer condições anaeróbicas restritas, sendo procedida por micro-organismos anaeróbios obrigatórios, que são sensíveis à presença de oxigênio (SILVA et al., 2008). Assim, como a condição de anaerobiose é apenas eventual em áreas irrigadas por aspersão, ainda que no ambiente de terras baixas, a produção e emissão de metano é restringida. O incremento nas emissões de  $\text{CH}_4$  por volta do 68º dia após o início das avaliações, atingindo  $5 \text{ g CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$  (Figura 1), coincidiu com um período em que o solo apresentava umidade superior à saturação, devido à ocorrência de evento recente de precipitação elevada.

A área natural não apresentou emissões significativas de  $\text{CH}_4$  nas primeiras semanas de avaliação. Mas em três coletas realizadas no final do período de avaliação (84º, 103º e 110º dias após o início das avaliações), essas foram elevadas, possivelmente em razão das quantidades elevadas de material orgânico estocado que, na presença de umidade do solo alta, proporcionou rápida produção e emissão de  $\text{CH}_4$  e em nível elevado, ou seja, solos de terras baixas em condição natural (não cultivado) possuem potencial elevado de emissão de  $\text{CH}_4$  sob condição de umidade superior à saturação.

Já na entressafra, o pico máximo de emissão de  $\text{CH}_4$  na área cultivada com arroz irrigado por inundação ocorreu 8 dias após o início das avaliações nesse período, correspondendo a  $96 \text{ g CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ . Na área em que se cultivou arroz irrigado por aspersão não se determinou emissão de  $\text{CH}_4$  nesse período, havendo, inclusive, registros de fluxos

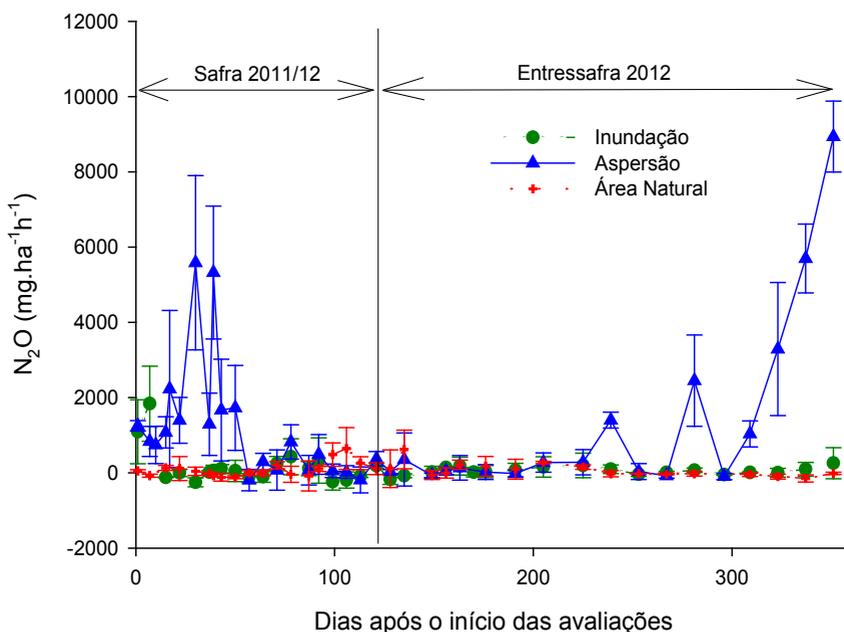
negativos de metano de pequena magnitude. Já na área natural, o pico máximo de emissão de  $\text{CH}_4$  ocorreu aos 161 dias após o início das avaliações na entressafra, atingindo  $918 \text{ g CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ . Também nesse período, as emissões de metano na área natural foram bastante variáveis (Figura 1), correlacionando-se com as condições de umidade do solo, resultantes das precipitações ocorridas.



**Figura 1.** Fluxos de metano ( $\text{CH}_4$ ) em Planossolo cultivado com arroz irrigado por inundação e aspersão e em área natural, nos períodos de safrinha e entressafra. Barras verticais representam o desvio padrão da média.

Quanto às emissões de  $\text{N}_2\text{O}$  do solo durante a safrinha de primavera/verão, essas foram maiores na área cultivada com arroz irrigado por aspersão, comparativamente às áreas cultivadas com arroz irrigado

por inundação e natural. Os maiores fluxos de  $N_2O$  ocorreram durante a fase inicial de avaliação (50 dias iniciais de avaliação) (Figura 2), possivelmente devido às maiores concentrações de nitrogênio no solo, decorrentes do aporte de N para o arroz, via adubação. Como o sistema de preparo nesse tratamento foi o plantio direto, esse sistema pode determinar adensamento do solo, com conseqüente ocorrência de microssítios anaeróbios, onde o N-nítrico do solo é perdido por desnitrificação. Portanto, o manejo da adubação nitrogenada em lavouras de arroz irrigadas por aspersão é um aspecto crítico, requerendo adequações, particularmente quanto ao parcelamento e época de aplicação, para minimizar as emissões de  $N_2O$ .



**Figura 2.** Fluxos de óxido nitroso ( $N_2O$ ) em Planossolo cultivado com arroz irrigado por inundação e aspersão e em área natural, nos períodos de safra e entressafra. Barras verticais representam o desvio padrão da média.

Na área irrigada por inundação, as maiores emissões de  $N_2O$  durante o período de cultivo do arroz ocorreram nas duas primeiras coletas, atingindo valor máximo de  $1.837 \text{ mg ha}^{-1} \text{ h}^{-1} N_2O$ , na segunda coleta. No período restante, as emissões variaram entre  $-250$  e  $428 \text{ mg } N_2O \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$  (Figura 2). Wesz (2012), em estudo realizado no mesmo solo do presente trabalho, também encontrou valores praticamente nulos de emissão de óxido nitroso em cultivo de arroz irrigado por inundação, com valores variando de  $-243$  a  $416 \text{ mg N-N}_2O \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ . No sistema inundado, a manutenção de lâmina de água contínua cria condições estritamente anaeróbias, as quais restringem as emissões de  $N_2O$  (TOWPRAYOON et al., 2005), de forma que os fluxos se aproximam de zero (JOHNSON-BEEBOUT et al., 2009; LIU et al., 2010), podendo, inclusive ser negativos (CAI et al., 1997; HOU et al., 2000). Em trabalho conduzido sob condições controladas por lida et al. (2007), constatou-se que a permanência de uma lâmina de água baixa ( $<2 \text{ cm}$ ) sobre o solo foi capaz de suprimir as emissões de  $N_2O$ . Nem mesmo as adubações nitrogenadas em cobertura resultaram em aumento nas taxas de emissão de  $N_2O$  do solo sob lâmina de água permanente.

Na área natural, as emissões de  $N_2O$  do solo foram relativamente baixas durante quase todo o período de safra de primavera/verão, não superando  $200 \text{ mg } N_2O \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ . Apenas nas últimas três coletas as emissões foram um pouco maiores, atingindo o pico de  $647 \text{ mg } N_2O \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$  (Figura 2).

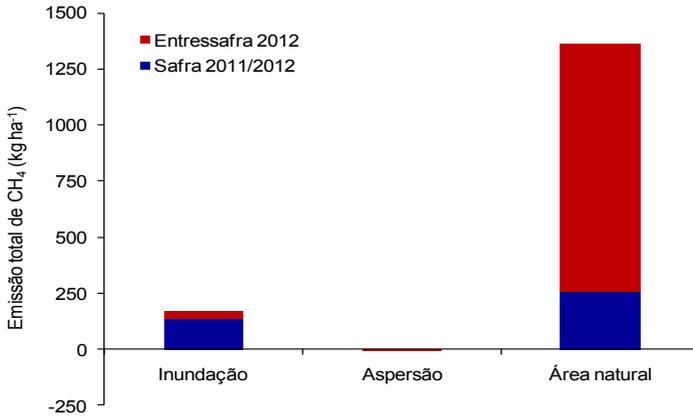
Por sua vez na entressafra, a emissão de  $N_2O$  do solo na área irrigada por aspersão foi mais elevada no período inicial de avaliação, entre o final do mês de abril e início do mês de junho, atingindo valor máximo de  $2.750 \text{ mg } N_2O \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ . Nos demais tratamentos, porém, praticamente não foram medidos fluxos de  $N_2O$  durante a entressafra (Figura 2). É provável que o maior fluxo de  $N_2O$  determinado na área irrigada por aspersão esteja associado à decomposição dos resíduos do nabo forrageiro cultivado, que são ricos em nitrogênio.

Com relação à emissão total de  $\text{CH}_4$  durante a safra de primavera/verão, verifica-se que a área irrigada por aspersão apresentou efeito mitigador das emissões desse GEE, comparativamente às áreas irrigadas por inundação e natural (Figura 3), apresentando emissão total de  $\text{CH}_4$  praticamente nula ( $0,17 \text{ kg CH}_4 \text{ ha}^{-1}$ ). Caso na área cultivada com arroz irrigado por aspersão não tivesse ocorrido emissão de  $\text{CH}_4$  no 68º dia após o início das avaliações (Figura 1), esse sistema não teria proporcionado emissão; ao contrário, teria proporcionado absorção de metano. Em solos oxidados, Hanson e Hanson (1996) observaram que a utilização de sistemas conservacionistas de manejo, como o plantio direto, pode determinar a recuperação gradativa da capacidade do solo em absorver  $\text{CH}_4$ , pelo estabelecimento de condições mais favoráveis à atividade da microbiota metanotrófica, com a oxidação do  $\text{CH}_4$  a  $\text{CO}_2$  e a imobilização de carbono na biomassa.

A área cultivada com arroz irrigado por inundação apresentou emissão total de  $\text{CH}_4$  49% menor ( $133,31 \text{ kg ha}^{-1}$ ) que a área natural, a qual apresentou emissão total de  $256,77 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{CH}_4$ . Wesz (2012), trabalhando no mesmo solo, determinou para arroz irrigado por inundação emissão total de  $157 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{CH}_4$ .

Também no período de entressafra houve mitigação na emissão de metano na área irrigada por aspersão, comparativamente às demais (Figura 3), apresentando na totalização do período emissão negativa, ou seja, absorção de  $\text{CH}_4$  ( $-0,82 \text{ kg ha}^{-1}$ ). A baixa ou mesmo ausência de emissão de  $\text{CH}_4$  nesse período pode ser explicada pelo fato de sua produção no solo (metanogênese) requerer condições estritamente anaeróbicas, uma vez que é restrita a micro-organismos anaeróbios obrigatórios, que são sensíveis ao oxigênio (SILVA et al., 2008), sendo a anaerobiose uma condição apenas eventual em áreas irrigadas por aspersão, decorrente preponderantemente da ocorrência de eventos concentrados de precipitação intensa, uma vez que o suprimento de água, via irrigação, restringe-se ao atendimento da demanda hídrica

das culturas.



**Figura 3.** Emissão total de metano (CH<sub>4</sub>) em Planossolo cultivado com arroz irrigado por inundação e por aspersão e em área natural, nos períodos de safra e entressafra.

Muito embora a irrigação por aspersão optimize o uso da água no cultivo de arroz (PARFITT et al., 2011), esse método de irrigação pode potencializar a emissão de N<sub>2</sub>O do solo. Conforme se observa na Figura 4, a emissão total de N<sub>2</sub>O durante o período de cultivo de arroz irrigado foi mais de 10 vezes superior na área irrigada por aspersão (3,07 kg N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>), comparativamente aos demais (sistema irrigado por inundação (0,44 kg N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>) e a área natural (0,28 kg N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>). Atribui-se esse comportamento à oscilação nas condições de oxidação/redução do solo na área irrigada por aspersão, favorecendo a alternância nos processos de nitrificação e desnitrificação, intensificando a produção e emissão de N<sub>2</sub>O, principalmente nos períodos próximos às adubações nitrogenadas em cobertura do arroz.

No mesmo período, o sistema inundado proporcionou emissão total

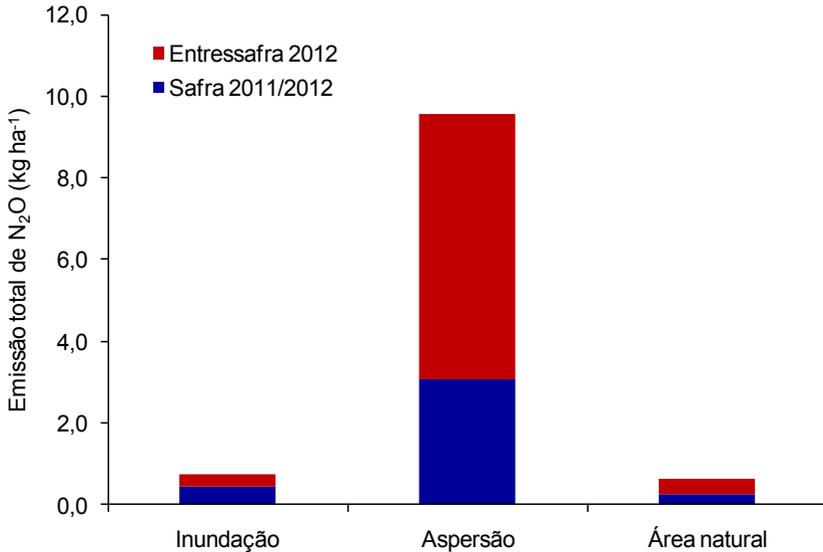
baixa de  $N_2O$ . Por não apresentar condições favoráveis à ocorrência dos processos de nitrificação e desnitrificação, as perdas de nitrogênio porventura ocorridas devem ter sido na forma de  $N_2$ . Sob condições prolongadas de alagamento, o  $N_2O$  presente no solo pode ser biologicamente reduzido a  $N_2$ , contribuindo para a mitigação das emissões de  $N_2O$  (REDDY; DELAUNE, 2008).

A emissão total de  $N_2O$  da área natural durante a safra de primavera/verão foi inferior a de ambas as áreas cultivadas com arroz irrigado, possivelmente em razão do estoque de carbono elevado, estando, portanto, sujeita à imobilização de N em maior magnitude.

Quanto à emissão total de óxido nitroso no outono/inverno (Figura 4), essa também foi superior na área irrigada por aspersão (6,51 kg  $N_2O$  ha<sup>-1</sup>), comparativamente às demais (irrigação por inundação 0,31 kg  $N_2O$  ha<sup>-1</sup> e área natural 0,34 kg  $N_2O$  ha<sup>-1</sup>). Também nesse período, a maior emissão de óxido nitroso na área irrigada por aspersão deve estar associada à alternância nas condições de oxirredução do solo durante os períodos de chuvas intensas, em razão da drenagem natural deficiente do solo, favorecendo os processos de nitrificação e desnitrificação e, portanto, a produção e emissão de  $N_2O$ .

Na Figura 5 é apresentado o potencial de aquecimento global parcial (PAGp) dos sistemas avaliados ao longo do ano (períodos de safra e de entressafra). Durante a safra de primavera/verão, o PAGp foi maior na área natural (6.502 kg CO<sub>2</sub> equiv. ha<sup>-1</sup>), seguida das áreas irrigadas por inundação (3.463 kg CO<sub>2</sub> equiv. ha<sup>-1</sup>) e por aspersão (919 kg CO<sub>2</sub> equiv. ha<sup>-1</sup>). Nesse período, o metano foi o gás de efeito estufa predominantemente emitido na área natural (6.419 kg CO<sub>2</sub> equiv. ha<sup>-1</sup>, correspondendo a 98,7% do total de emissões) e na cultivada com arroz irrigado por inundação (3.333 kg CO<sub>2</sub> equiv. ha<sup>-1</sup>, correspondendo a 96,2% do total de emissões), enquanto que na área cultivada com arroz irrigado por aspersão, o óxido nitroso foi o principal gás de efeito estufa emitido (915 kg CO<sub>2</sub> equiv. ha<sup>-1</sup>, representando 99,5% do

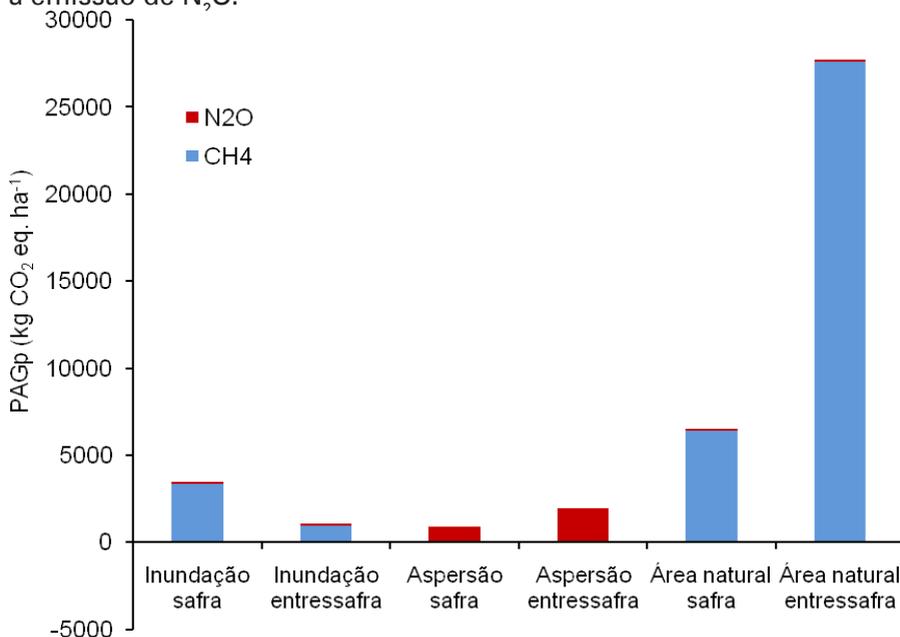
total emitido no período).



**Figura 4.** Emissão total de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) em Planossolo cultivado com arroz irrigado por inundação e por aspersão e em área natural, nos períodos de safra e entressafra.

Também no outono/inverno, o potencial de aquecimento global parcial da área natural foi superior ao das áreas avaliadas; apresentou, porém, magnitude bastante superior (27.712 kg CO<sub>2</sub> equiv. ha<sup>-1</sup>) àquela medida durante a safra de primavera/verão, possivelmente em razão da abundância de fonte de carbono lábil associada à condição de anaerobiose praticamente permanente, decorrente de eventos de precipitação frequentes e intensos e à má drenagem do solo (KLAMT et al., 1985). Nesse período, o potencial de aquecimento global parcial da área irrigada por aspersão foi superior (1.918 kg CO<sub>2</sub> equiv. ha<sup>-1</sup>, integralmente na forma de N<sub>2</sub>O), porém, ao da área irrigada por inundação (1.053 kg CO<sub>2</sub> equiv. ha<sup>-1</sup>, 91,1% como metano) (Figura 5). Explica-se esse comportamento pela presença de quantidades

significativas de resíduos de nabo forrageiro, ricos em nitrogênio, na área sob irrigação por aspersão, cujos produtos da decomposição/mineralização em período chuvoso em solo de terras baixas propiciam a emissão de  $N_2O$ .

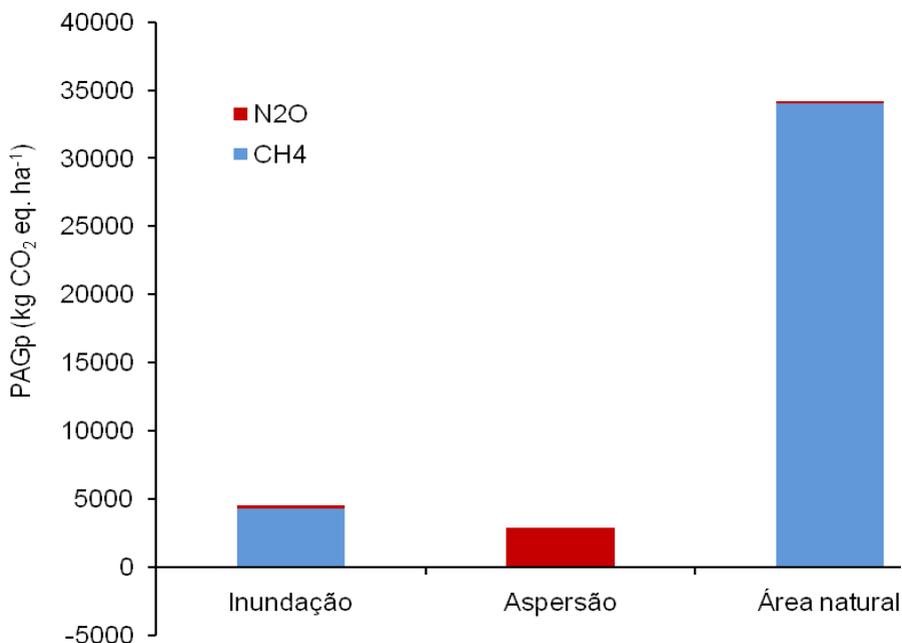


**Figura 5.** Potencial de Aquecimento Global parcial (PAGp) em Planossolo cultivado com arroz irrigado por inundação e por aspersão e em área natural, nos períodos de safra e entressafra.

A totalização das emissões no ano, incluindo os períodos de safra 2011/2012 e a entressafra 2012, mostra que a área de terras baixas sob condição natural, ou seja, sem histórico recente de cultivo, proporcionou maior emissão de gases de efeito estufa (basicamente na forma de metano) que aquelas cultivadas com arroz irrigado na primavera/verão (Figura 6). O PAGp anual da área natural foi 7,6 e 12 vezes maior que o das áreas cultivada com arroz irrigado por inundação e aspersão, respectivamente. Com relação a esse resultado, vale ressaltar que a área natural utilizada como referência

neste estudo, embora típica e representativa das terras baixas dos campos do Sul do Brasil, está localizada em cota baixa no terreno e, por essa razão, está sujeita ao alagamento do solo em períodos de precipitações frequentes ou de elevada magnitude. Esse fator, associado à presença de vegetação herbácea abundante, que se constitui em fonte de carbono lábil, favorece a produção e a emissão de metano do solo. Desta forma, as emissões de GEE, particularmente  $\text{CH}_4$ , medidas nessa área natural, são representativas de áreas de terras baixas com características semelhantes, podendo distinguir-se das emissões derivadas de áreas com melhor condição de drenagem.

Na área com cultivo de arroz irrigado por inundação, o PAGp foi composto preponderantemente por metano e naquela com arroz irrigado por aspersão, exclusivamente por óxido nitroso.



**Figura 6.** Potencial de Aquecimento Global parcial (PAGp) em Planossolo cultivado com arroz irrigado por inundação e por aspersão e em área natural, ao longo de um ano (períodos de safra e entressafra).

## Conclusões

A adoção do método de irrigação por aspersão para o arroz promove a mitigação das emissões de metano do solo em terras baixas do Rio Grande do Sul, relativamente à irrigação por inundação, porém potencializa as emissões de óxido nitroso, nos períodos de safra (primavera/verão) e de entressafra (outono/inverno).

O potencial de aquecimento global parcial de área irrigado por inundação decorre basicamente da emissão de metano, sendo superior ao de área irrigada por aspersão durante o período de cultivo do arroz (safra de primavera/verão). Na entressafra, a área sob irrigação por aspersão apresenta maior potencial de aquecimento global parcial (composto exclusivamente por  $N_2O$ ) que a área irrigada por inundação.

Os dois sistemas de irrigação (aspersão e inundação), quando comparados com área natural sem histórico de cultivo recente, apresentam menores valores de potencial de aquecimento global parcial nos períodos de safra e de entressafra.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPERGS e ao CNPq pela concessão das bolsas de estudo e auxílio financeiro para a realização do trabalho, e aos funcionários do laboratório de Fertilidade do Solo da Embrapa Clima Temperado, pelo auxílio na coleta e preparo de amostras de ar.

## Referências

AULAKH, M. S.; KHERA, T. S.; DORAN, J. W.; BRONSON, K. F. Denitrification, N<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub> fluxes in rice-wheat cropping system as affected by crop residues, fertilizer N and legume green manure. **Biology and Fertility of Soils**, Berlim, v. 34, p. 375-389, 2001.

BUENDIA, L. V.; NEUE, H. U.; WASSMANN, R.; LANTIN, S.; JAVELLANA, A. M. Understanding the nature of methane emission from rice ecosystem as basis of mitigation strategies. **Applied Energy**, Oxford, v. 56, p. 433-444, 1997.

BUSS, G. L. **Emissões de metano e óxido nitroso em cultivo de arroz irrigado por aspersão, alagamento contínuo e intermitente**. 2012. 85 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Solos. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2012.

CAI, Z.; XING, G.; YAN, X.; XU, H.; TSURUTA, H.; YAGI, K.; MINAMI, K. Methane and nitrous oxide emissions from rice paddy fields as affected by nitrogen fertilizers and water management. **Plant Soil**, The Hague, v. 196, p. 7-14, 1997.

CONAB (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO).

**Acompanhamento da safra brasileira de grãos:** terceiro levantamento, dez. 2014. Brasília, DF, 2014. v. 1, n. 3, p. 46-50.

CONCENÇO, G.; BATALHA, B. R.; LARUE, J. L.; GALON, L.; TIRONI, S. P.; MANTOVANI, E. C.; ROLFES, C. R.; SILVA, A. A. Eficiência do uso da água na produção de arroz sob irrigação mecanizada ou inundação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 6.; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 28., 2009, Porto Alegre, RS. **Anais...** Porto Alegre: IRGA, 2009a. 1 CD-ROM.

CONCENÇO, G.; LARUE, J. L.; MELO, V.; ROLFES, C. R.; KIEP, B. L.; LOPES, M. B. Análise de custos variáveis em lavouras de arroz em sistema de rotação no Sul do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 6.; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 28., 2009, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: IRGA, 2009b. 1 CD-ROM.

COSTA, F. S.; BAYER, C.; LIMA, M. A.; FRIGHETTO, R. T. S.; MACEDO, V. R. M.; MARCOLINI, E. Variação diária da emissão de metano em solo cultivado com arroz irrigado no Sul do Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 7, p. 2049-2053, 2008.

COUNCE, P. A.; KEISLING, T. C.; MITCHELL, A. J. A uniform, objective, and adaptive system for expressing rice development. **Crop Science**, Madison, v. 40, p. 436-443, 2000.

GOMES, A. da S.; PETRINI, J. A.; SCIVITTARO, W. B.; FERREIRA, L. E. G.; KABKE, R.; CHIARELO, C.; SANTOS, L. O. dos; PIMENTA, R. P.; HANNEMANN, M. A.; OSSANES, L. da S. Estratégias para o aumento da eficiência do uso da água pelo arroz: efeito de sistemas alternativos de irrigação. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 18., 2008. **Anais...** São Mateus: ABID, 2008a. 1 CD-ROM.

GOMES, A. da S.; SCIVITTARO, W. B.; PETRINI, J. A.; FERREIRA, L. E. G.

**A água:** distribuição, regulamentação e uso na agricultura com ênfase ao arroz irrigado. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2008b. 44 p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 205).

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**, Amsterdam, v. 106, p. 36-44, 2009.

HANSON, R. S.; HANSON, T. E. Methanotrophic bacteria. **Microbiology and Molecular Biology Reviews**, Washington, v. 60, n. 2, p. 439-471, 1996.

HOU, A. X.; CHEN, G. X.; WANG, Z. P.; VAN CLEEMPUT, O.; PATRICK JUNIOR, W. H. Methane and nitrous oxide emissions from a rice field in relation to soil redox and microbiological processes. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 64, p. 2180-2186, 2000.

IIDA, T.; DEB, S. K.; KHARBUJA, R. G. Nitrous oxide emission measurement with acetylene inhibition method in paddy fields under flood conditions. **Paddy and Water Environmental**, Berlin, v. 5, p. 83-91, 2007.

JOHNSON-BEEBOUT, S. E.; ANGELES, O. R.; ALBERTO, M. C. R.; BURESH, R. J. Simultaneous minimization of nitrous oxide and methane emission from rice paddy soils is improbable due to redox potential changes with depth in a greenhouse experiment without plants. **Geoderma**, Amsterdam, v. 149, p. 45-53, 2009.

KLAMT, E.; KÄMPF, N.; SCHNEIDER, P. **Solos de várzea do Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: UFRGS, Departamento de Solos, 1985. 43 p. (Boletim Técnico, 4).

LE MER, J.; ROGER, P. Production, oxidation, emission and consumption of methane by soils: a review. **European Journal of Soil Biology**, Paris, v. 37, n. 1, p. 25-50, 2001.

LIU, S.; QIN, Y.; ZOU, J.; LIU, Q. Effects of water regime during rice-growing season on annual direct N<sub>2</sub>O emission in a paddy rice-winter wheat rotation system in southeast China. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 408, p. 906-913, 2010.

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

PARFITT, J. M. B.; PINTO, M. A. B.; TIMM, J. C.; BAMBERG, A. L.; SILVA, D. M. da; BRETANHA, G. Manejo da irrigação por aspersão e desempenho da cultura do arroz. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 7, 2011, Balneário Camboriú. **Anais...** Itajaí: Epagri: Sosbai, 2011. v. 2, p. 461-464.

REDDY, K. R.; DeLAUNE, R. D. **Biogeochemistry of wetlands: science and applications**. Cleveland: CRC, 2008. 800 p.

SILVA, L. S.; SOUSA, R. O.; POCOJESKI, E. Dinâmica da matéria orgânica em ambientes alagados. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo**. Porto Alegre: Metrópole, 2008. Cap. 27, p. 525-544.

SOSBAI (SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO). **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**. Santa Maria: SOSBAI, 2014. 192 p.

STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C. do; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, L. F. S. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. ed. Porto Alegre: Emater/RS, 2008. 222 p.

TOWPRAYOON, S.; SMAKGAHN, K.; POONKAEW S. Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from drained irrigated rice fields. **Chemosphere**, Oxford, v. 59, n. 11, p. 1547–1556, 2005.

WATANABE, A.; TAKEDA, T.; KIMURA, M. Evaluations of origins of CH<sub>4</sub> carbon emitted from rice paddies. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v. 104, n. 19, p. 23623-23629, 1999.

WESZ, J. **Mitigação das emissões de metano e óxido nitroso em Planossolo pela adequação do manejo da água em cultivo de arroz irrigado**. 2012. 62 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2012.

ZSCHORNACK, T. **Emissões de metano e de óxido nitroso em sistemas de produção de arroz irrigado no Sul do Brasil e potencial de mitigação por práticas de manejo**. 2011. 87 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

**Embrapa**

---

*Clima Temperado*

Ministério da  
**Agricultura, Pecuária  
e Abastecimento**

GOVERNO FEDERAL  
**BRASIL**  
PÁTRIA EDUCADORA

CGPE 13306