

**Emissões de Metano e de Óxido
Nitroso em Planossolo Cultivado com
Arroz Irrigado por Inundação e Aspersão**



ISSN 1678-2518

Dezembro, 2014

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

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 208

Emissões de Metano e de Óxido Nitroso em Planossolo Cultivado com Arroz Irrigado por Inundação e Aspersão

Walkyria Bueno Scivittaro
Gerson Lübke Buss
Marla de Oliveira Farias
Gessiele da Silva Corrêa
Camila Lemos Lacerda
Anderson Dias Silveira
Rogério Oliveira de Sousa
José Maria Barbat Parfitt

Embrapa Clima Temperado
Pelotas, RS
2014

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

www.embrapa.br/fale-conosco/sac/

Comitê de Publicações da Unidade Responsável

Presidente: *Ana Cristina Richter Krolow*

Vice-presidente: *Enio Egon Sosinski Junior*

Secretária-Executiva: *Bárbara Chevallier Cosenza*

Membros: *Ana Luiza Barragana Viegas, Apes Falcão Perera, Daniel Aquini, Eliana da Rosa Freire Quincozes, Marilaine Schaun Pelufê.*

Revisão de texto: *Eduardo Freitas de Souza*

Normalização bibliográfica: *Marilaine Schaun Pelufê*

Editoração eletrônica: *Amanda Andrade (estagiária)*

Foto(s) de capa: *Walkyria Scivittaro*

1ª edição

1ª impressão (2014): 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 de metano e de óxido nitroso em planossolo cultivado com arroz irrigado por inundação e aspersão / Walkyria Bueno Scivittaro... [et al.]. - Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2014.
26 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Clima Temperado, ISSN 1678-2518 ; 208)

1. Arroz. 2. Irrigação por aspersão. 3. Irrigação por inundação. 4. Aquecimento global. I. Scivittaro, Walkyria Bueno. II. Série.

Sumário

Resumo	5
Abstract	7
Introdução	9
Material e Métodos	10
Resultados e Discussão	14
Conclusões	21
Referências	22

Emissões de Metano e de Óxido Nitroso em Planossolo Cultivado com Arroz Irrigado por Inundação e Aspersão

*Walkyria Bueno Scivittaro*¹

*Gerson Lübke Buss*²

*Marla de Oliveira Farias*³

*Gessiele da Silva Corrêa*⁴

*Camila Lemos Lacerda*⁵

*Anderson Dias Silveira*⁵

*Rogério Oliveira de Sousa*⁶

*José Maria Barbat Parfitt*⁷

Resumo

O método de irrigação tem efeito determinante na condição de oxirredução de solos cultivados com arroz, refletindo-se nas emissões de gases de efeito estufa, notadamente o metano (CH₄). Realizou-se um trabalho para avaliar a influência de dois sistemas de irrigação (inundação e aspersão) sobre as emissões de metano e de óxido nitroso (N₂O) em Planossolo cultivado com arroz. O experimento foi conduzido em um Planossolo Háplico, na Embrapa Clima Temperado,

¹ Engenheira-agrônoma, D.Sc. em Ciências, pesquisadora da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS.

² Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água da UFPel, Pelotas, RS, bolsista da CAPES.

³ Engenheira-agrônoma, D.Sc. em Agronomia/Solos, bolsista DTI do CNPq, Pelotas, RS.

⁴ Graduanda em Química, IFSul, bolsista da Embrapa Clima Temperado.

⁵ Estudante de Agronomia da FAEM-UFPel, bolsista PROBIC da FAPERGS, Pelotas, RS.

⁶ Engenheiro-agrônomo, D.Sc. em Ciência do Solo, professor da Faem-Ufpel, Pelotas, RS.

⁷ Engenheiro-agrícola, D.Sc. em Agronomia/Solos, pesquisador da Embrapa Clima Temperado, Pelotas.

em Capão do Leão, RS. Avaliaram-se dois métodos de irrigação para o arroz: inundação (sistema convencional) e aspersão, bem como uma área natural não cultivada com arroz, considerada como referência. As avaliações de CH₄ e N₂O foram realizadas semanalmente, utilizando o método da câmara estática fechada. A emissão total de CH₄ foi maior na área natural (225 kg ha⁻¹), seguida da área irrigada por inundação (128 kg ha⁻¹) e, em magnitude bem menor, da área irrigada por aspersão (0,24 kg ha⁻¹). O sistema de irrigação por aspersão demandou menor volume de água aplicada (2.790 m³ ha⁻¹) que o inundado, onde foram utilizados 5.544 m³ ha⁻¹. A irrigação por aspersão potencializou, porém, as emissões de óxido nitroso do solo e reduziu a produtividade do arroz. Ainda assim, o método de irrigação por aspersão é mais eficiente na redução do potencial de aquecimento global de lavoura de arroz, relativamente ao método de inundação.

Palavras-chave: gás de efeito estufa, sistema de irrigação, manejo da água, *Oryza sativa* L.

Emissions of Methane and Nitrous Oxide in Planossolo Grown with Rice Irrigated with Sprinkler and Flood Systems

Abstract

Irrigation system has a determining effect on the redox condition of rice soils, reflecting in emissions of greenhouse gases potential, especially methane (CH₄). A study was carried out to assess the influence of two irrigation systems (sprinkler and flood) on methane and nitrous oxide (N₂O) emissions of a Planossolo (Typic Albaqualf) grown with rice. The experiment was developed at Embrapa Temperate Agriculture, in Capão do Leão, State of Rio Grande do Sul, Brazil. Two irrigation systems for rice were evaluated: flood (traditional system) and sprinkler, as well as a natural area without rice cultivation history (reference area). The sampling for CH₄ and N₂O soil emissions analysis was performed weekly, using closed flux chambers. Total methane emission was higher in natural area (225 kg ha⁻¹), followed by flooded rice area (128 kg ha⁻¹) and rice area irrigated by sprinkler (0.24 kg ha⁻¹). The sprinkler irrigation system required less water application (2,790 m³ ha⁻¹) than flooded system, which used 5,544 m³ ha⁻¹ of water. Sprinkler irrigation system increased nitrous oxide emissions from the soil and decreased rice yield. Even so, sprinkler irrigation system is more efficient in reducing global warming potential for rice crop than flooded irrigation system.

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

Introdução

As áreas de terras baixas do Rio Grande do Sul contribuem significativamente para a produção nacional de grãos, em especial de arroz, cultivado predominantemente no sistema irrigado por inundação contínua.

O relevo das terras baixas é diversificado, variando de muito plano (declividade inferior a 0,2%) a suave ondulado (declividade variando entre 2% e 5%). As áreas com maior declividade ocorrem em todas as regiões orizícolas do estado, sendo mais frequentes, porém, na Fronteira Oeste. Nas áreas mais onduladas, o método de irrigação por inundação contínua 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 arroz, dentre os quais se destaca o de aspersão no sistema pivô-central, que facilita o manejo da cultura e proporciona grande economia de água à lavoura (PARFITT et al., 2011).

Estima-se que o uso de água pelo arroz irrigado por aspersão no sistema de pivô-central em lavouras comerciais do estado seja de aproximadamente 550 mm por ciclo (5,5 mil m³ ha⁻¹) (CONCENÇO et al., 2009b; PARFITT et al., 2011), enquanto o sistema inundado utiliza, em média, 8 a 10 mil m³ ha⁻¹ (SOSBAI, 2014). O aumento da eficiência de uso da água por si só representa uma grande vantagem da irrigação por aspersão, possibilitando, por exemplo, quase que triplicar a área irrigada em um sistema de produção arroz-soja, com o mesmo volume de água utilizado pelo método de irrigação por inundação contínua no arroz.

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 estado, região em que o arroz apresenta potencial de produtividade elevado, mas com maior limitação quanto à disponibilidade de recursos hídricos, condição que, em alguns anos, restringe a área de cultivo (GOMES et al., 2008a, 2008b).

Além da economia considerável de água, a adoção de irrigação por aspersão para o arroz, em substituição ao tradicional sistema inundado, pode ser bastante benéfica quanto às emissões de gases de efeito estufa. Isso porque o efluxo de gases de efeito estufa associado à lavoura de arroz está fortemente relacionado ao método de irrigação. Nesse sentido, a irrigação por inundação proporciona condições anaeróbias no solo, que favorecem a produção e a emissão de metano (BUENDIA et al., 1997), a qual é bem superior à emissão de óxido nitroso, podendo responder por mais de 90% da composição do potencial de aquecimento global parcial da lavoura de arroz (ZSCHORNACK, 2011). Por sua vez, o sistema de irrigação por aspersão não deve ser favorável à produção de metano, pois o solo é mantido oxidado; mas deve estar sujeito a emissões maiores de óxido nitroso, uma vez que possibilita a alternância dos processos de nitrificação / desnitrificação, que têm como produto intermediário esse gás de efeito estufa.

Em função do exposto, realizou-se um trabalho com o objetivo de avaliar a influência de dois métodos de irrigação (inundação e aspersão) sobre as emissões de CH_4 e N_2O em Planossolo cultivado com arroz e compará-las com as emissões de uma área natural não cultivada.

Materiais e Métodos

O experimento foi realizado na safra agrícola 2011/2012, em um Planossolo Háplico (SANTOS et al., 2006), na Estação Experimental Terras Baixas da Embrapa Clima Temperado, em Capão do Leão, RS.

Os tratamentos, estabelecidos em triplicata, incluíram dois métodos de irrigação para o arroz (inundação e aspersão) e um tratamento referência, representado por área natural de mesmo solo, sem histórico de cultivo de arroz.

No tratamento com irrigação por inundação do solo, a irrigação foi estabelecida quando as plantas de arroz atingiram o estágio de quatro folhas, mantendo-se uma lâmina de água contínua de aproximadamente 7,5 cm até a maturação de colheita. O controle da necessidade de irrigação foi determinado pela leitura diária da altura da lâmina de água, procedendo-se irrigação sempre que a redução na altura da lâmina era superior a 1 cm. Por sua vez, no tratamento com irrigação por aspersão, essa foi realizada utilizando-se sistema linear móvel. As irrigações foram procedidas ao longo de todo o ciclo da cultura (emergência à maturação de colheita) sempre que a tensão de água no solo atingia 20 kPa. Para tanto, realizou-se o acompanhamento da tensão de água do solo com dez sensores Watermark[®], instalados na camada de 0 a 10 cm de profundidade. Nas irrigações, aplicaram-se lâminas de água de 6 mm, na fase vegetativa, e de 9 mm, na fase reprodutiva.

O acompanhamento dos estádios de desenvolvimento das plantas de arroz foi realizado utilizando-se, como referência, a escala de Counce et al. (2000).

Em ambas as áreas, o manejo da adubação foi estabelecido a partir dos resultados da análise de solo e das exigências nutricionais do arroz irrigado (SOSBAI, 2010), consistindo na aplicação de 350 e 250 kg ha⁻¹ da formulação 5-20-20 para os sistemas irrigados por aspersão e por inundação, respectivamente. Esse fertilizante foi aplicado a lanço e incorporado com grade, na área sob irrigação por inundação, e de forma localizada, no sulco de semeadura, na área irrigada por aspersão.

A semeadura do arroz no sistema de irrigação por alagamento (T1) foi realizada dia 02 de novembro de 2011, e no sistema por aspersão (T2) em 04 de novembro, sendo que em ambos os tratamentos foi utilizada a cultivar BRS Querência. Nos dois sistemas, a adubação nitrogenada em cobertura - 110 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia - foi parcelada em duas aplicações, nos estádios de quatro folhas (V4) e de iniciação da panícula (R0).

As coletas de ar para análise do CH₄ e do N₂O foram realizadas ao longo do período de irrigação do arroz, com frequência de aproximadamente uma semana, utilizando-se o método da câmara estática fechada, adaptado de Mosier (1989). Para isso, foram instaladas bases de alumínio (64 cm x 64 cm) em cada uma das três repetições dos tratamentos. No momento das amostragens, realizadas sempre entre 9:00 e 11:00 horas da manhã, câmaras de alumínio foram dispostas sobre as bases, sendo que o fechamento hermético do conjunto câmara-base foi obtido pela colocação de água na canaleta na parte superior da base onde a câmara era apoiada (GOMES et al., 2009). 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 era monitorada com auxílio de um termômetro digital de haste com visor externo. Durante o período de amostragens, as seringas eram acondicionadas em caixas térmicas e mantidas sob baixa temperatura, sendo imediatamente após transferidas para frascos específicos dotados de vácuo.

As concentrações de CH₄ e N₂O 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 CH₄ e de N₂O (taxas de emissão) foram calculados pela relação linear entre a variação na

concentração dos gases e o tempo de coleta, segundo a equação:

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

onde: f é o fluxo de metano (CH_4 ou N_2O $\text{m}^2 \text{h}^{-1}$), dC/dt corresponde à mudança na concentração de CH_4 ou de N_2O (mmol mol^{-1}) no intervalo de tempo t (min); M é o peso molecular do respectivo gás (g mol^{-1}); P é a pressão (atm) no interior da câmara (assumida como 1,0 atm); V e T correspondem ao volume (L) e a temperatura interna da câmara (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 (m^2).

A taxa de aumento de gás no interior da câmara foi obtida pelo coeficiente angular da equação da reta ajustada entre a concentração dos gases e o tempo. As emissões totais do período foram calculadas pela integração da área sob as curvas obtidas pela interpolação dos valores diários de emissão de CH_4 e N_2O do solo (GOMES et al., 2009). Com base na emissão acumulada de CH_4 e de N_2O , foi calculado o potencial de aquecimento global parcial (PAGp), que considera o potencial de aquecimento de cada gás em relação ao CO_2 (25 vezes para o CH_4 e 298 para o N_2O). Os fluxos diários e as emissões totais de CH_4 e de N_2O foram analisados de forma descritiva (média \pm desvio padrão).

A produtividade de grãos do arroz foi determinada na maturação de colheita. Para tanto consideraram-se as plantas de cinco subamostras 4 m^2 coletadas de cada unidade experimental. O material colhido foi trilhado, seco e pesado, convertendo-se os dados para 130 g kg^{-1} de umidade.

Na área irrigada por inundação, o volume de água aplicada ao arroz foi medido por meio de hidrômetros (LAO UJ 9ID1, vazão nominal $1,5 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$). No tratamento com o sistema de irrigação por aspersão, a quantidade de água aplicada também foi monitorada, pelo controle das lâminas de irrigação.

Os dados de produtividade de grãos e de água aplicada foram submetidos à análise de variância, comparando-se as médias dos tratamentos pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Resultados e Discussão

O sistema de irrigação por inundação para o arroz proporcionou fluxos iniciais de CH_4 praticamente nulos, sendo observados valores mais expressivos apenas a partir do 34º dia de avaliação. As maiores emissões de CH_4 do solo sob inundação contínua ocorreram aos 75 dias, correspondendo a $110 \text{ g CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$. As emissões de CH_4 na área irrigada por aspersão, por outro lado, foram praticamente nulas durante todo o período avaliado. Os maiores valores medidos ($5 \text{ g CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$) ocorreram aos 68 dias. Já na área natural, o pico de emissão de CH_4 ocorreu 103 dias após o início das avaliações, atingindo $595 \text{ g CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ (Figura 1A). As emissões de CH_4 na área natural foram bastante variáveis e relacionaram-se às condições de umidade do solo no período da coleta.

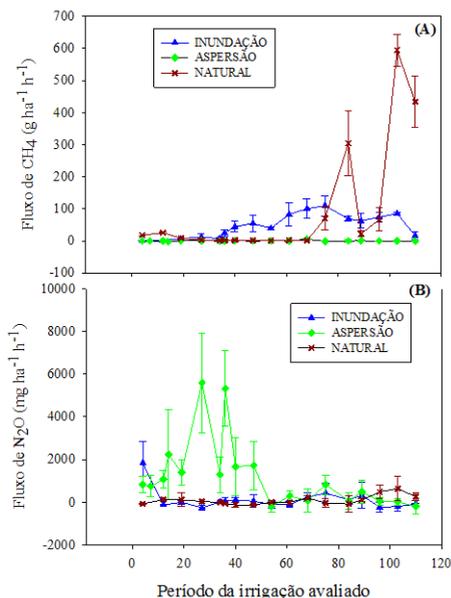


Figura 1. Fluxos de CH_4 (A) e de N_2O (B) em um Planossolo cultivado com arroz irrigado por inundação do solo e por aspersão durante um período de 107 dias e em área natural. Barras verticais representam o desvio padrão da média.

A área irrigada por inundação apresentou dois picos de emissões de CH_4 , sendo o primeiro aos 75 dias (Figura 1A), correspondendo à fase de floração do arroz. O aumento nas emissões de metano durante a floração do arroz provavelmente esteja associado à liberação de grandes quantidades de exudatos radiculares, decorrente da elevada atividade metabólica da planta nesse período. Os exsudatos radiculares atuam como substrato para os organismos metanogênicos, aumentando a produção de CH_4 (AULAKH et al., 2001). Segundo esses autores, existe uma correlação positiva entre a massa 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 massa seca das plantas de arroz, que, por sua vez, depende da taxa fotossintética.

O segundo pico de emissão de CH_4 na área irrigada por inundação, verificado aos 103 dias após o início das avaliações (Figura 1A), pode estar relacionado à senescência das raízes do arroz e às suas escamações, processos esses que são intensificados na fase de maturação, favorecendo a atividade das bactérias metanogênicas e aumentando o fluxo de CH_4 do solo (AULAKH et al., 2000). Além disso, na maturação, as folhas mortas se depositam sobre o solo, formando uma liteira, e os 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 CH_4 , pois a metanogênese requer condições anaeróbicas restritas, sendo procedida por micro-organismos anaeróbios obrigatórios, que são sensíveis ao oxigênio (SILVA et al., 2008). Possivelmente tal condição de anaerobiose não tenha ocorrido durante a maior parte do período de avaliação nesse sistema de irrigação. O incremento nas emissões de CH_4 aos 68 dias, chegando a $5 \text{ g ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ (Figura 1A), coincidiu com o período em que o solo apresentava umidade superior à saturação, devido à ocorrência de elevada precipitação.

A área natural não apresentou emissões significativas de CH_4 nas primeiras semanas (Figura 1A), mas, em três coletas no final do período de avaliação (84°, 103° e 110° dias após o início das avaliações), as emissões foram elevadas, possivelmente em razão das quantidades elevadas de material orgânico estocado que, quando sob condição de umidade alta, proporciona rápida produção e emissão de CH_4 e em nível elevado, ou seja, o solo da área natural possui um grande potencial de emissão de CH_4 , desde que exista umidade suficiente para a ocorrência do processo.

As emissões de N_2O do solo foram maiores na área cultivada com arroz irrigado por aspersão, comparativamente às áreas sob inundação e natural. Os maiores fluxos de N_2O ocorreram durante a fase inicial de avaliação (primeiros 50 dias) (Figura 1B), possivelmente devido às maiores concentrações de nitrogênio no solo, decorrentes das adubações nitrogenadas realizadas. Como o sistema de preparo nesse tratamento foi o plantio direto, esse sistema pode determinar um adensamento do solo e determinar 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 .

No sistema irrigado por inundação pode-se observar que as emissões de N_2O ocorreram nas duas primeiras coletas, atingindo um valor máximo de $1.837 \text{ mg N}_2\text{O ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ na segunda coleta (Figura 1B). No período restante, as emissões variaram entre -250 e $428 \text{ mg ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$. Wesz (2012) também encontrou valores praticamente nulos de emissão de óxido nitroso em cultivo de arroz irrigado por inundação realizado no mesmo solo do presente estudo, com valores variando de -243 a $416 \text{ mg N}_2\text{O ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$. No sistema alagado, a manutenção da lâmina de água 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) ou, até mesmo, são negativos (CAI et al., 1997; HOU et al., 2000). Em trabalho conduzido por lida et al. (2007), sob condições controladas, foi constatado que a permanência de uma lâmina baixa de água (<2 cm) sobre o solo foi capaz de suprimir as emissões de N₂O. Nem mesmo as adubações nitrogenadas em cobertura resultaram em aumento nas taxas de emissão de N₂O do solo sob lâmina de água permanente.

Na área natural, as emissões de N₂O do solo foram relativamente baixas em quase todo o período avaliado, não superando 200 mg ha⁻¹ h⁻¹ (Figura 1B). Apenas nas últimas três coletas as emissões foram um pouco maiores, atingindo o pico de 647 mg ha⁻¹ h⁻¹.

Com relação à emissão total de CH₄, verifica-se que a área irrigada por aspersão apresentou um efeito positivo na mitigação das emissões desse GEE, comparativamente às áreas irrigadas por inundação e natural (Figura 2A), apresentando emissão total de CH₄ quase nula (0,24 kg CH₄ ha⁻¹). Se no sistema de irrigação por aspersão não houvesse ocorrido emissão de CH₄ aos 68 dias (Figura 1A), esse sistema não teria proporcionado, ao contrário teria havido absorção do gás. Em solos oxidados, Hanson e Hanson (1996) também observaram que a utilização de sistemas conservacionistas de manejo, como o plantio direto, pode determinar a recuperação gradativa da capacidade do solo em absorver CH₄, pelo estabelecimento de condições mais favoráveis à atividade da microbiota metanotrófica, com oxidação do CH₄ a CO₂ e imobilização de carbono na biomassa.

O sistema irrigado por inundaçãõ apresentou emissão total de CH₄ 43% menor (128 kg ha⁻¹) que a da área natural, a qual apresentou emissão total de 225 kg ha⁻¹ de CH₄. Wesz (2012), no mesmo solo, determinou para arroz irrigado por inundação emissão total de 157 kg ha⁻¹ de CH₄.

O sistema de irrigação por aspersão otimiza o uso da água na produção de arroz (PARFITT et al., 2011), mas, por outro lado, tende a potencializar a emissão de N₂O do solo. Conforme se observa na

Figura 2B, a emissão total de N_2O durante o período de 107 dias de avaliação foi mais de 12 vezes superior no tratamento irrigado por aspersão ($2,9 \text{ kg } N_2O \text{ ha}^{-1}$), comparativamente aos demais (sistema irrigado por alagamento ($0,22 \text{ kg } N_2O \text{ ha}^{-1}$) e a área natural ($0,24 \text{ kg } N_2O \text{ ha}^{-1}$). É provável que no sistema irrigado por aspersão haja uma alternância das condições de oxidação/redução, favorecendo os processos alternados de nitrificação e desnitrificação, intensificando a produção e a emissão de N_2O , principalmente nos períodos próximos às adubações nitrogenadas em cobertura.

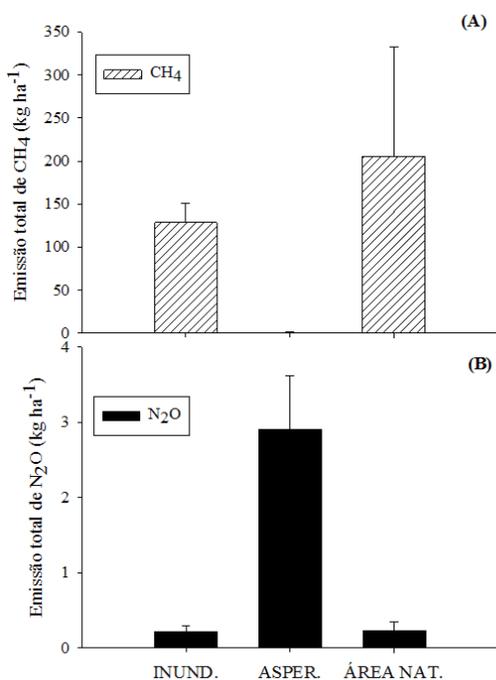


Figura 2. Fluxos de CH_4 (A) e de N_2O (B) em um Planossolo cultivado com arroz irrigado por inundação do solo e por aspersão durante um período de 107 dias e em área natural. Barras verticais representam o desvio padrão da média.

O sistema inundado apresentou os menores valores de emissão total de N_2O . Por não apresentar condições favoráveis à ocorrência dos processos de nitrificação e desnitrificação, provavelmente a maior parte das perdas de N do sistema tenham ocorrido na forma de N_2 . Sob condições prolongadas de alagamento, o N_2O presente no solo pode ser biologicamente reduzido a N_2 , o que contribui, inclusive, para a mitigação das emissões de N_2O do solo (REDDY; DELAUNE, 2008).

A emissão total de N_2O da área natural foi bastante baixa. Isso pode ter ocorrido em razão dessa possuir um estoque de C elevado e, portanto, estar sujeita à imobilização de N em maior magnitude.

O sistema de irrigação por aspersão apresentou potencial de aquecimento global parcial (PAGp) de $871 \text{ kg CO}_2 \text{ equiv. ha}^{-1}$ (99,3% na forma de N_2O), o que significa uma redução de 73% em relação ao sistema inundado, que apresentou um PAGp de $3274 \text{ kg CO}_2 \text{ equiv. ha}^{-1}$ (98% na forma de CH_4). A redução no PAGp do sistema irrigado por aspersão foi 85% menor em relação à área natural, que apresentou um PAGp de $5697 \text{ kg CO}_2 \text{ equiv. ha}^{-1}$ (sendo 98,7% na forma de CH_4) (Figura 3).

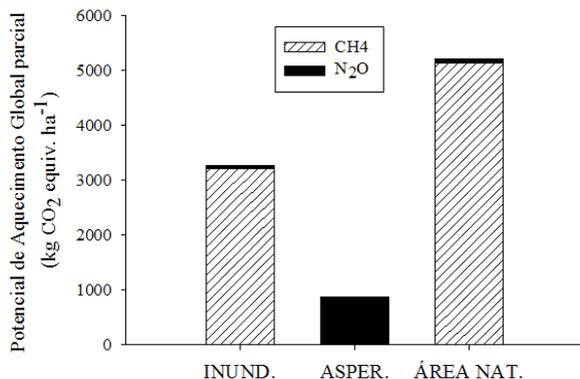


Figura 3. Potencial de Aquecimento Global parcial (PAGp) em áreas cultivadas com arroz irrigado por inundação, aspersão e natural.

A produtividade de grãos do arroz foi influenciada pelo sistema de irrigação, alcançando 9.224 kg ha^{-1} , no sistema inundado, e 6414 kg ha^{-1} , no sistema irrigado por aspersão, representando um redução de 30%. Concenço et al. (2009a) encontraram uma redução de 13% na produção de arroz irrigado por aspersão em comparação com o sistema inundado, no município de Uruguaiana, RS. Para McCauley (1990), o método de irrigação por aspersão proporciona produção 20% menor, em média, que a irrigação por inundação, devido à redução no número de espiguetas por panículas, redução da fertilidade das espiguetas e da altura de plantas. No presente estudo também observou-se menor estatura de plantas na área irrigada por aspersão.

Com base no índice que relaciona o potencial de aquecimento global parcial e a produtividade de grãos (PAGp/PG), o cultivo de arroz irrigado por aspersão se mostrou mais efetivo em mitigar o PAGp, apresentando um valor de 0,14 kg de CO₂ equiv. kg⁻¹ por kg de arroz produzido, enquanto que, para o arroz produzido no sistema alagado, esse índice foi de 0,35 kg de CO₂ equiv. kg⁻¹ de arroz. Esses dados indicam que, para cada quilograma de arroz produzido, 0,21 kg de CO₂ equiv. deixaram de ser emitidos pela adoção de sistema de irrigação por aspersão, representando reduções de 60% no potencial de aquecimento global das emissões. Esse resultado demonstra que o sistema de irrigação por aspersão é uma importante estratégia na mitigação das emissões de GEE, particularmente o CH₄.

A precipitação acumulada no período de avaliação de emissão de gases de efeito estufa pelo arroz foi de 258,6 mm (2586 m³ ha⁻¹). O volume de água aplicado, via irrigação, durante o cultivo de arroz, variou com o sistema empregado. No sistema inundado, foram aplicados 5544 m³ de água, enquanto que no sistema irrigado por aspersão foram aplicados 2790 m³ de água, o que corresponde a uma economia de aproximadamente 50% no volume de água utilizado. Em um trabalho comparando a irrigação por inundação com a irrigação por aspersão, Westcott e Vines (1986) observaram que a produtividade de grãos de arroz no tratamento irrigado por aspersão atingiu 75% daquela conseguida com a irrigação por inundação. Os autores determinaram, ainda, economia de 50% na água utilizada pelo sistema de irrigação por aspersão, embora essa economia não tenha compensado a redução em produtividade do arroz. Concenço et al. (2009b) também observaram uma redução de 47,5% no volume de água aplicado (e uma redução de 13% na produção) no tratamento em que o arroz foi irrigado por aspersão, em comparação com o sistema inundado no município de Uruguaiana, RS.

A eficiência do uso da água de irrigação foi bem maior (2,30 kg m⁻³) no sistema irrigado por aspersão, quando comparado com o sistema de irrigado por inundação (1,66 kg m⁻³). Essa melhor eficiência pode ser atribuída, também, à melhor utilização da água da chuva.

Conclusões

Em cultivo de arroz irrigado por inundação, as emissões de GEE ocorrem predominantemente na forma de metano. Esse método de irrigação apresenta maior potencial de aquecimento global parcial, em comparação com o sistema de irrigação por aspersão.

O sistema de irrigação por aspersão promove a mitigação das emissões de metano do solo em cultivo de arroz, porém, potencializa as emissões de óxido nitroso. Ainda assim, esse sistema pode ser considerado eficiente quanto à redução do potencial de aquecimento global em relação à produção de arroz irrigado por inundação.

Os dois sistemas de irrigação (aspersão e inundação) quando comparados com a área de referência, área natural não cultivada, apresentam menores valores de potencial de aquecimento global parcial.

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, N₂O and CO₂ 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.
- AULAKH, M. S.; WASSMANN, R.; RENNENBERG, H.; FINK, S. Pattern and amount of aerenchyma relate to variable methane transport capacity of different rice cultivars. **Plant Biology**, Stuttgart, v. 2, n. 2, p. 182-194, 2000.
- 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**, v. 56, p. 433-444, 1997.
- 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 fertilisers and water management. **Plant Soil**, The Hagym, v. 196, p. 7-14, 1997.
- 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. e REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 28., 2009, Porto Alegre. **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.

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 IRIGAÇÃO 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**, v. 106, p. 36-44, 2009.

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

HOU, A. X.; CHEN, G. X.; WANG, Z. P.; VAN CLEEMPUT, O.; PATRICK JR., 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**, Berlim, 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.

LIU, S.; QIN, Y.; ZOU, J.; LIU, Q. Effects of water regime during rice-growing season on annual direct N₂O emission in a paddy rice-winter wheat rotation system in southeast China. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 408, p. 906-913, 2010.

McCAULEY, G. N. Sprinkler vs. flood irrigation in traditional rice production regions of southeast Texas. **Agronomy Journal**, v. 82, n. 4, p. 677-83, jul./ago. 1990.

MOSIER, A. R. Chamber and isotope techniques. In: ANDREAE, M. O.; SCHIMMEL, D. S. (Ed.). **Exchange of traces 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, SC. **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. p. 257-264.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K.T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; OLIVEIRA, J. B. de; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 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.

SOSBAI (SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO). **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**. Porto Alegre: SOSBAI, 2010. 188 p.

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

WATANABE, A.; TAKEDA, T.; KIMURA, M. Evaluations of origins of CH₄ carbon emitted from rice paddies. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v. 104, n.19, p. 23623-23629, 1999.

WESTCOTT, M. P.; VINES, K. W. Comparing sprinkler irrigation and flood irrigation for rice. **Lousiana Agriculture**, v. 30, n. 1, p. 20-22, 1986.

WESZ, J. **Mitigação das emissões de metano e óxido nitroso em Planossolo pela adequação do manejo da água em cultivo de arroz irrigado**. 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 12341