

Foto: Walkyria Scivittaro



Fatores de Emissão de Gases de Efeito Estufa Associados ao Manejo do Solo e da Palha para o Arroz Irrigado no Rio Grande do Sul

Walkyria Bueno Scivittaro¹
Jaqueline Trombetta da Silva²
Gerson Lübke Buss³
Thaís Antolini Veçozzi⁴
Thaís Murias Jardim⁵
Lillian Medeiros Barros⁶

O metano (CH_4) é um gás de efeito estufa (GEE) com potencial de aquecimento global (PAG) 25 vezes maior que o dióxido de carbono (CO_2) (FORSTER et al., 2007). Sua produção está relacionada à decomposição microbiana de materiais orgânicos em ambientes anóxicos (CONRAD, 2002).

Estimativas indicam que a agricultura responde por quase metade das emissões de CH_4 de origem antropogênica no mundo, sendo o cultivo de arroz irrigado a segunda maior fonte desse GEE, contribuindo com 22% das emissões globais; apenas a fermentação entérica supera as emissões de CH_4 decorrentes do cultivo de arroz irrigado (SMITH et al., 2007).

Outro potente gás de efeito estufa associado fortemente ao setor agropecuário é o óxido nitroso (N_2O). Com potencial de aquecimento global 298 vezes maior que o CO_2 em um período de 100 anos (MYHRE et al., 2013), a concentração atmosférica desse GEE tem crescido continuamente devido à atividade agrícola (SHEPHERD et al., 2015), uma vez que sua produção está associada às transformações microbianas do nitrogênio (N), por meio dos processos de nitrificação e desnitrificação, que são influenciados por fatores como pH, potencial redox, conteúdo de matéria orgânica, temperatura e umidade do solo (YU et al., 2004).

No Brasil, a maior parte da produção brasileira de arroz irrigado está localizada na região Sul,

¹Engenheira-agrônoma, doutora, pesquisadora da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS.

²Engenheira-agrônoma, doutoranda do Programa de Pós-graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Faem/UFPel, Pelotas, RS.

³Engenheiro-agrônomo, doutor, Emater/RS, Canguçu, RS.

⁴Gestora Ambiental, doutoranda do Programa de Pós-graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Faem/UFPel, Pelotas, RS.

⁵Graduanda em Agronomia, Faem/UFPel, Pelotas, RS. Bolsista PIBIC do CNPq.

⁶Graduanda em Engenharia Química, IFSul, Pelotas, RS.

particularmente no Estado do Rio Grande do Sul (RS), onde são cultivados anualmente mais de um milhão de hectares do cereal, sob uma ampla variedade de condições hidrológicas, de clima e de solo (SOSBAI, 2016), atingindo produtividades altas e crescentes, com média superior a 7,9 Mg ha⁻¹ na safra 2016/2017 (CONAB, 2017).

Uma das principais razões para o ganho em produtividade que a cultura de arroz irrigado tem vivenciado no Rio Grande do Sul nos últimos anos é a semeadura na época recomendada. Algumas regiões arrozeiras do estado enfrentam, porém, dificuldades no preparo do solo, as quais estão associadas à condição de umidade do solo por ocasião da colheita do arroz, à quantidade elevada de palha presente e ao excesso de chuva após a colheita. Para garantir a semeadura do arroz na época correta, é essencial que o produtor aprimore e antecipe o preparo do solo.

O preparo antecipado do solo para o cultivo de arroz irrigado normalmente é realizado no outono, em sucessão à colheita da cultura de verão, podendo, em algumas situações, ocorrer no inverno. Esse manejo vem gradativamente substituindo o preparo convencional na primavera (BAYER et al., 2013). Alternativamente, mais recentemente, passou-se a adotar, também, o preparo do solo com rolo-faca, realizado em presença de lâmina de água, imediatamente após a colheita do arroz, ou ainda durante o inverno.

A época e as operações de preparo do solo e manejo da cobertura vegetal determinam potenciais distintos de incorporação de carbono (C) e nitrogênio ao solo e de emissão de gases de efeito estufa no período de cultivo do arroz e, possivelmente, também, durante a entressafra (YAO et al., 2010). Isso porque, no sistema de preparo convencional, a palha remanescente do cultivo de arroz e a cobertura vegetal desenvolvida durante o outono/inverno são incorporadas ao solo com pequena antecedência da semeadura do arroz, agindo como uma fonte de C lábil para a produção de metano (CH₄), quando da inundação do solo. Por outro lado, com a antecipação do preparo, a movimentação do solo e a incorporação da palha ocorrem no outono/inverno, possibilitando que grande parte dos resíduos vegetais seja decomposta sob condições aeróbicas, liberando CO₂ e diminuindo o potencial de emissão de

CH₄ do solo, uma vez que sua inundação para o próximo cultivo de arroz ocorre, apenas, no final da primavera (BAYER et al., 2013).

O aporte de resíduos orgânicos ao solo cultivado com arroz normalmente exerce efeitos distintos sobre as emissões de CH₄ e de N₂O. Enquanto a adição incrementa a produção e emissão de CH₄ pelo favorecimento do processo de redução do solo e fornecimento de carbono ao sistema (NEUE et al., 1996), as emissões de N₂O são inibidas, possivelmente em razão da imobilização microbiana do N, devido à maior disponibilidade de carbono solúvel (MA et al., 2009).

Considerando-se a importância e a magnitude da produção gaúcha de arroz no cenário nacional, e o potencial de emissão de gases de efeito estufa associado a essa atividade produtiva, faz-se necessário avaliar a influência de práticas de manejo na produção e emissão de GEE, visando identificar alternativas com potencial para mitigar sua emissão.

O presente trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar o efeito do manejo do solo e da cobertura vegetal sobre as emissões de gases de efeito estufa e estabelecer fatores de emissão de metano para o cultivo de arroz irrigado em terras baixas do Rio Grande do Sul.

Material e Métodos

O experimento foi realizado em Planossolo Háplico (STRECK et al., 2008), na Estação Experimental Terras Baixas da Embrapa Clima Temperado, em Capão do Leão, RS. As avaliações foram realizadas continuamente por dois anos, envolvendo dois períodos de outono/inverno (entressafra) e dois períodos de primavera/verão (safra).

A área experimental foi cultivada com arroz irrigado na safra precedente ao início das avaliações (safra 2012/2013). Após a colheita, estabeleceram-se quatro tratamentos dispostos em delineamento de faixas (10 m x 100 m), com três repetições. Os tratamentos envolveram a associação de manejos do solo e da cobertura vegetal na entressafra e cultivos de primavera/verão, sendo descritos a seguir:

- T1: arroz irrigado (safra 2012/2013) colhido em solo seco, com manutenção da resteva

em superfície durante o período de outono/inverno (entressafra 2013); dessecação da área na primavera, seguida de imediata semeadura direta de soja (safra 2013/2014). Na entressafra seguinte, realizou-se o preparo antecipado do solo no outono, com o uso de subsolador e grade (entressafra 2014). A cobertura vegetal estabelecida durante o outono/inverno foi dessecada na primavera e, na sequência, procedeu-se a semeadura direta de arroz, que foi cultivado até meados de abril de 2015 (safra 2014/2015) (sistema arroz/soja/arroz).

- T2: arroz irrigado (safra 2012/2013) colhido em solo úmido, com manutenção da área em pousio durante o período de outono/inverno (entressafra 2013); preparo convencional do solo na primavera e semeadura do arroz; o cultivo estendeu-se até meados de abril de 2014, quando o arroz foi colhido em presença de lâmina de água (safra 2013/2014). No outono, procedeu-se o preparo do solo com rolo-faca (entressafra 2014). A cobertura vegetal estabelecida durante o inverno foi dessecada na primavera e, na sequência, procedeu-se a semeadura direta de arroz, que foi colhido em abril (safra 2014/2015) (sistema arroz/arroz/arroz).
- T3: arroz irrigado (safra 2012/2013) colhido em presença de lâmina de água e preparo do solo imediatamente após com rolo-faca (entressafra 2013); a cobertura vegetal estabelecida durante o outono/inverno e início da primavera foi dessecada, seguida de semeadura direta de arroz, cujo cultivo estendeu-se até meados de abril, quando foi realizada a colheita em presença de lâmina de água (safra 2013/2014). No outono, procedeu-se o preparo do solo com rolo-faca (entressafra 2014). A cobertura vegetal estabelecida durante o inverno foi dessecada na primavera e, na sequência, procedeu-se à semeadura direta de soja, que foi colhida em meados de abril (safra 2014/2015) (sistema arroz/arroz/soja).
- T4: arroz irrigado (safra 2012/2013) colhido em solo seco, com subsequente preparo antecipado do solo no outono (entressafra 2013). A cobertura vegetal estabelecida durante o outono/inverno e início da primavera foi dessecada e, na sequência, procedeu-

se a semeadura direta de soja, cujo cultivo estendeu-se até meados de abril (safra 2013/2014). Durante o outono, procedeu-se ao preparo antecipado do solo com subsolador e grade (entressafra 2014); a cobertura vegetal estabelecida foi dessecada na primavera e, na sequência, procedeu-se à semeadura direta de arroz, cujo cultivo estendeu-se até meados de abril (safra 2014/2015) (sistema arroz/soja/arroz c/preparo).

Nos cultivos de arroz irrigado e soja seguiram-se as indicações técnicas da pesquisa para essas culturas no Sul do Brasil, respectivamente, (REUNIÃO..., 2014; SOSBAI, 2014).

As coletas de ar para avaliação de emissões de GEE foram realizadas de abril de 2013 a abril de 2015 (ano I: 15/04/2013 até 14/04/2014 e ano II: 15/04/2014 até 13/04/2015), tendo iniciado imediatamente após a colheita do arroz da safra 2012/13, estendendo-se até uma semana após colheita do arroz e da soja na safra 2014/15. As amostragens de ar para determinação das emissões de CH₄ e N₂O do solo foram realizadas em intervalos regulares de aproximadamente sete dias, nos períodos de entressafra (outono/inverno) e de safra (primavera/verão). Excepcionalmente, na semana subsequente à realização das duas adubações nitrogenadas em cobertura para o arroz, a frequência de amostragem foi reduzida para intervalos de dois dias.

Utilizaram-se coletores distintos para as culturas de arroz irrigado (modelo específico para sistemas alagados – base/extensor/topo) (Figura 1) e soja (modelo específico para sistemas aeróbios – base/topo) (Figura 2) (SCIVITTARO et al., 2016). Ambos os modelos seguem o método da câmara estática fechada (MOSIER, 1989).

Apenas as bases dos sistemas coletores permaneceram nas parcelas experimentais durante todo o período de avaliação. Eventualmente, porém, foram temporariamente retiradas para a realização das operações de preparo do solo. Durante as coletas, os topos dos sistemas coletores foram dispostos sobre as bases. Exclusivamente nos tratamentos e período de cultivo do arroz, quando as plantas atingiram alturas superiores à do conjunto base-câmara, um ou dois extensores, conforme a necessidade, foram colocados entre as bases e os topos.

Ilustração: Thiago Vernetti da Silva.

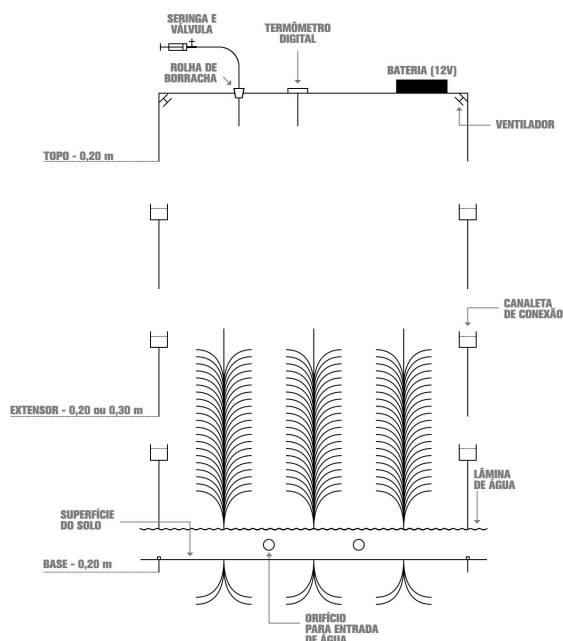


Figura 1. Representação de câmara estática fechada, base, extensor e topo, utilizada para a cultura de arroz irrigado.

Ilustração: Thiago Vernetti da Silva.

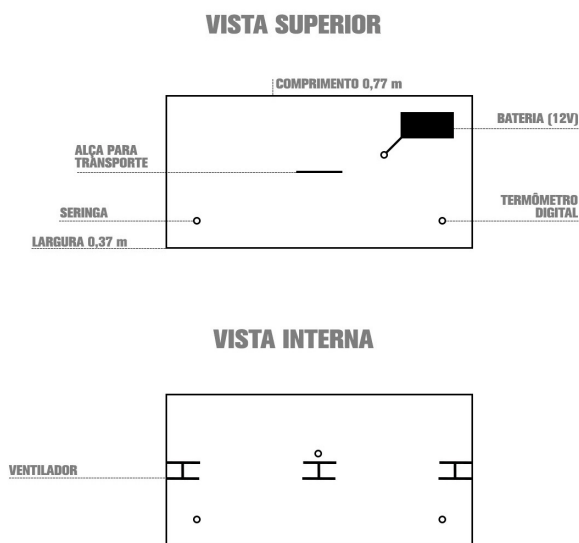


Figura 2. Ilustração com vistas superior e interna de topo de câmara estática fechada utilizada para a cultura da soja.

Os conjuntos base/extensores-topos 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 9h e 12h, 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 foi homogeneizado durante 30 segundos anteriormente a cada amostragem, por meio de ventiladores presentes na parte superior das câmaras, e a temperatura interna foi monitorada.

As concentrações de CH_4 e N_2O 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 CH_4 e de N_2O do solo foram calculados pela relação linear entre a variação na concentração desses gases e o tempo de coleta. A taxa de variação de gás no interior das câmaras foi obtida pelo coeficiente angular da equação ajustada entre a concentração dos gases e o tempo. As emissões totais de CH_4 e N_2O do período foram calculadas pela integração da área sob a curva obtida pela interpolação dos valores diários de emissão de CH_4 e de N_2O do solo (GOMES et al., 2009). Com base na emissão acumulada de CH_4 e de N_2O , calculou-se 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). Adicionalmente, determinaram-se os fatores de emissão de CH_4 associados aos distintos manejos de solo e da cobertura vegetal.

Os dados de emissão total de CH_4 e N_2O e de fator de emissão de CH_4 foram submetidos à análise de variância, comparando-se as médias dos tratamentos pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Resultados e Discussão

Emissões totais de CH_4 e N_2O

No primeiro período de outono/inverno (entressafra 2013), a emissão total de CH_4 foi maior na área preparada com rolo-faca (T3) (169,5 kg CH_4 ha⁻¹), relativamente às demais: área sob pousio/preparo convencional -T2 (64,5 kg CH_4 ha⁻¹), área sob preparo antecipado -T4 (9,2 kg CH_4 ha⁻¹) e área com colheita no seco e pousio -T1 (8,6 kg CH_4 ha⁻¹), que não diferiram entre si (Tabela 1). Esse resultado retrata o efeito da interação dos fatores: fonte de C lábil e

condição umidade do solo sobre as emissões de CH_4 . Nesse sentido, o preparo do solo com rolo-faca, por ser realizado em presença de lâmina de água, normalmente logo após a colheita do arroz, proporciona maior potencial de emissão de CH_4 , relativamente aos preparos realizados em solo seco ou com a incorporação de menor quantidade de carbono lábil ao solo. A quantidade de CH_4 produzido em solos alagados é determinada pela disponibilidade de substratos metanogênicos e por fatores ambientais (SASS et al., 1991). Como principais fontes de carbono orgânico para a metanogênese têm-se os exsudatos radiculares liberados pelas plantas de arroz, raízes em decomposição e a serapilheira (SCHÜLTZ et al., 1991), bem como o material orgânico adicionado como adubo e os resíduos de cultivos precedentes (DENIER VAN DER GON; NEUE, 1995).

Apesar das diferenças entre os manejos do solo, as emissões de CH_4 medidas no outono/inverno foram relativamente baixas, considerando-se as observadas durante o período de primavera/verão (safra 2013/14) para o cultivo de arroz irrigado, variando de 408,5 kg CH_4 ha⁻¹, na área sob preparo convencional (T2), a 438,5 kg CH_4 ha⁻¹, na área preparada com rolo-faca (T3). Por outro lado, nas áreas cultivadas com soja, pela manutenção do solo oxidado, praticamente não se determinaram emissões de CH_4 durante a safra de primavera/verão (2,3 kg CH_4 ha⁻¹ em T4 e 1,7 kg CH_4 ha⁻¹ em T1), sendo significativamente inferiores às emissões das áreas cultivadas com arroz irrigado (Tabela 1). Em estudo realizado na China, Zhou et al. (2015) avaliaram, por três anos, as emissões de CH_4 e N_2O de área cultivada com arroz irrigado, na safra, e colza, na entressafra, tendo observado que mais de 97% do CH_4 foram emitidos durante o período de cultivo do arroz.

No segundo período de entressafra avaliado (2014), as emissões totais de CH_4 das áreas previamente cultivadas com arroz irrigado (T2 – 305,0 kg CH_4 ha⁻¹ e T3 – 125,9 kg CH_4 ha⁻¹) foram bem superiores às daquelas que tiveram soja como cultura antecedente (T1 – 2,2 kg CH_4 ha⁻¹ e T4 – 1,7 kg CH_4 ha⁻¹) (Tabela 1), demonstrando que a cultura de verão também influencia o potencial de emissão de CH_4 durante o período de outono/inverno. Nesse sentido, o cultivo de espécies de sequeiro, como a soja, condiciona menor emissão total de CH_4 na entressafra seguinte, comparativamente ao arroz irrigado. Comportamento similar também foi

verificado durante a safra 2014/15 na área cultivada com soja (T3), onde em razão da manutenção do solo oxidado, praticamente não se determinou emissão de CH_4 (3,3 kg CH_4 ha⁻¹). Por outro lado, nas áreas cultivadas com arroz irrigado (safra 2014/2015), as emissões de CH_4 foram maiores, particularmente em T2, onde se cultivou arroz irrigado por três safras consecutivas, com emissão total de 526,4 kg CH_4 ha⁻¹, a qual é estatisticamente superior à das áreas com o sistema arroz/soja/arroz - T1 (335,1 kg CH_4 ha⁻¹) e T4 (332,6 kg CH_4 ha⁻¹), que não diferiram entre si (Tabela 1). Esse resultado concorda com observações de Rogers et al. (2014), que determinaram redução de 31% nas emissões de CH_4 em cultivo de arroz estabelecido em rotação com soja, comparativamente ao monocultivo de arroz. Smartt et al. (2016) sugerem que a decomposição aeróbica dos resíduos, bem como a rotação com cultivos de sequeiro, constituem-se em estratégias mitigadoras de emissões de CH_4 do solo em áreas de produção de arroz irrigado.

A maior emissão acumulada de CH_4 nos sistemas com produção de arroz irrigado está associada ao baixo potencial de oxirredução do solo, que favorece a redução dos compostos orgânicos do solo e, portanto, a produção de metano, pela ação de microrganismos metanogênicos (WELLER et al., 2015).

Ao longo dos dois anos de avaliação, as áreas preparadas antecipadamente com rolo-faca (ano I (T3) e ano II (T2 e T3)) apresentaram maiores emissões de CH_4 no período de entressafra, comparativamente às demais formas de preparo do solo (aração e gradagem) ou mantidas em pousio. Atribui-se esse comportamento à modificação na estrutura do solo preparado com rolo-faca, diminuindo a capacidade das bactérias metanotróficas em oxidar CH_4 (BALL et al., 1999), devido a alterações em atributos físicos, químicos e biológicos do solo (SMITH et al., 2000), resultando em aumento nos fluxos de CH_4 . Outro fator que explica esse comportamento é a incorporação da palha de arroz ao solo sob condições de umidade elevada, favorecendo a produção e emissão de metano.

Tabela 1. Emissão total de CH₄ em Planossolo cultivado com arroz irrigado e soja em função do manejo do solo e da cobertura vegetal. Dados relativos a avaliações realizadas nos períodos de entressafra (2013 e 2014) e safra (2013/2014 e 2014/2015). Embrapa Clima Temperado. Capão do Leão, RS.

Tratamento ¹	Entressafra 2013	Safra 2013/14	Total ano I	Entressafra 2014	Safra 2014/15	Total ano II
	----- CH ₄ (kg ha ⁻¹) -----					
T1	8,6b	1,7b	10,3c	2,2c	335,1b	337,3b
T2	64,5b	408,5a	473,0b	305,0a	526,4a	831,4a
T3	169,5a	438,5a	608,0a	125,9b	3,3c	129,2c
T4	9,2b	2,3b	11,4c	1,7c	332,6b	334,3b

¹T1- arroz/soja/arroz; T2- arroz/arroz/arroz; T3- arroz/arroz/soja; T4- arroz/soja/arroz c/ preparo.

Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

Com relação às emissões de óxido nitroso, na entressafra de 2013, a emissão total de N₂O do solo foi muito baixa, na área colhida no seco e mantida em pousio (T1) (0,3 kg ha⁻¹), e praticamente nula, na área colhida em solo úmido e mantida sob pousio no outono/inverno, aguardando o preparo convencional na primavera (T2); nas áreas preparadas com rolo-faca –T3 (1,1 kg ha⁻¹) e antecipadamente –T4 (0,9 kg ha⁻¹), as emissões de N₂O também foram baixas, embora estatisticamente superiores às dos dois tratamentos com manutenção do solo em pousio (Tabela 2). As baixas emissões de N₂O no outono-inverno devem estar associadas ao baixo conteúdo de N na palha do arroz e na vegetação espontânea estabelecida durante o outono/inverno, bem como a ausência de fertilização nitrogenada, prática a qual está associada uma fração significativa das emissões antrópicas de N₂O para a atmosfera (ALVES, 2015), por meio dos processos biológicos de nitrificação e desnitrificação, que ocorrem em condições aeróbias e anaeróbias, respectivamente (BARTON et al., 2008).

Também durante a safra (2013/14), as áreas cultivadas com arroz irrigado apresentaram baixas emissões totais de N₂O, especialmente sob preparo convencional de primavera (T2) (0,7 kg ha⁻¹); na área preparada com rolo-faca (T3), as emissões totalizaram 2,9 kg ha⁻¹ (Tabela 2), confirmando observações de que o arroz irrigado por inundação contínua apresenta baixo potencial de emissão de N₂O (ZSCHORNACK, 2011). Já nas áreas cultivadas com soja, as emissões de N₂O alcançaram 7,9 kg ha⁻¹ (colheita no seco e mantido sob pousio –T1) e 4,7 kg ha⁻¹ (preparo antecipado –T4) (Tabela 2), o que indica que o cultivo dessa oleaginosa em rotação ao arroz

irrigado potencializou as emissões de N₂O do solo. Resultado distinto foi relatado por Camargo (2015), que encontrou emissão 55% inferior de N₂O nas áreas cultivadas com soja (sem aplicação de N), quando comparadas com as áreas cultivadas arroz irrigado. Possivelmente, a maior emissão de N₂O no cultivo de arroz determinada por esse último autor esteja associada à instabilidade na manutenção da lâmina de irrigação para o arroz, refletindo-se em alternância nas condições de oxirredução do solo e, conseqüentemente, nos processos de nitrificação e desnitrificação (REDDY; DELAUNE, 2008), que têm o N₂O como produto intermediário.

Na entressafra de 2014, a emissão total de N₂O foi muito pequena em todas as áreas, determinando-se emissão total de 0,6 kg ha⁻¹ em T1 e de 0,4 kg ha⁻¹ em T4, áreas em que havia sido cultivada soja na safra anterior. Nas áreas previamente cultivadas com arroz, as emissões totais, no período de entressafra, foram de 0,1 kg ha⁻¹, em T3, e nula, para T2, sendo esses valores significativamente menores que os medidos em T1 e T4. Já na safra 2014/15, as emissões de N₂O nas áreas cultivadas com arroz também foram pouco expressivas, correspondendo a 1 kg ha⁻¹ (T1); 0,5 kg ha⁻¹ (T4) e 0,4 kg ha⁻¹ (T2). Por sua vez, na área em que se cultivou soja (T3), determinou-se maior emissão total de N₂O (12,7 kg ha⁻¹), a qual foi estatisticamente superior à das demais áreas, confirmando resultado da safra anterior para as áreas cultivadas com soja (Tabela 2).

Tabela 2. Emissão total de N₂O em Planossolo cultivado com arroz irrigado e soja em função do manejo do solo e da cobertura vegetal. Dados relativos a avaliações realizadas nos períodos de entressafra (2013 e 2014) e safra (2013/2014 e 2014/2015). Embrapa Clima Temperado. Capão do Leão, RS.

Treatment ¹	Entressafra 2013	Safra 2013/14	Total ano I	Entressafra 2014	Safra 2014/15	Total ano II
	----- N ₂ O (kg ha ⁻¹) -----					
T1	0,3b	7,9a	8,2a	0,6a	1,0b	1,6b
T2	0,1b	0,7c	0,7c	-0,03b	0,4b	0,4b
T3	1,1a	2,9bc	4,0bc	0,1b	12,7a	12,8 ^a
T4	0,9a	4,7ab	5,6ab	0,4a	0,5b	0,9b

¹T1- arroz/soja/arroz; T2- arroz/arroz/arroz; T3- arroz/arroz/soja; T4- arroz/soja/arroz c/ preparo.

Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

Comparando-se as emissões totais de N₂O das entressafras com as das safras, observa-se que, durante os períodos de primavera/verão, essas foram superiores às das entressafras, independentemente do sistema considerado (Tabela 3). Esse resultado reforça a necessidade de identificarem-se manejos que minimizem as emissões de N₂O do solo durante o período de cultivo das espécies de verão.

Fator de emissão de CH₄

Os resultados de fator de emissão de CH₄ (FE - taxa de emissão diária) acompanharam as variações nas emissões totais desse gás de efeito estufa. Assim, durante a safra de verão, maiores valores de FE de CH₄ estiveram associados ao cultivo de arroz irrigado, relativamente à soja. Na entressafra, a influência do método e da época de preparo do solo foi mais evidente, sendo que o preparo do solo com rolo-faca potencializou as emissões de metano do solo, devido à incorporação da palha do arroz em presença de lâmina de água. O efeito do preparo

convencional do solo na primavera foi intermediário entre o rolo-faca e o preparo antecipado no outono (Tabela 3). Atribui-se esse resultado à interação de dois fatores: a) condição de umidade do solo por ocasião do preparo do solo, sendo que a emissão de CH₄ aumenta proporcionalmente ao conteúdo de água do solo; e b) a época de manejo e incorporação da cobertura vegetal no solo. Isso porque, via de regra, o preparo antecipado do solo propicia a movimentação do solo no outono/inverno, de forma que grande parte dos resíduos é decomposta sob condições aeróbicas. Dessa forma, uma fração significativa do carbono lábil é convertida a CO₂, diminuindo o potencial de emissão de CH₄, uma vez que a inundação do solo para o próximo cultivo de arroz ocorre, apenas, no final da primavera. Já no sistema convencional, as áreas cultivadas com arroz são preparadas na primavera, imediatamente antes da semeadura do arroz. Desta forma, a resteva remanescente do cultivo anterior de arroz e a cobertura de solo desenvolvida durante o período de outono/inverno são incorporados ao solo, agindo como uma fonte de carbono lábil para a produção de metano (BAYER et al., 2013).

Tabela 3. Fator de emissão de CH₄ em Planossolo cultivado com arroz irrigado e soja em função do manejo do solo e da cobertura vegetal. Dados relativos a avaliações realizadas nos períodos de entressafra (2013 e 2014) e safra (2013/2014 e 2014/2015). Embrapa Clima Temperado. Capão do Leão, RS.

Treatment ¹	Entressafra 2013	Safra 2013/14	Total ano I	Entressafra 2014	Safra 2014/15	Total ano II
	----- FE CH ₄ (kg ha ⁻¹ dia ⁻¹) -----					
T1	0,042b	0,009b	0,026c	0,013c	1,773b	0,945b
T2	0,315b	2,184a	1,207b	1,815a	2,785a	2,329a
T3	0,827a	2,345a	1,551a	0,749b	0,017c	0,362c
T4	0,045b	0,012b	0,029c	0,010c	1,760b	0,936b

¹T1- arroz/soja/arroz; T2- arroz/arroz/arroz; T3- arroz/arroz/soja; T4- arroz/soja/arroz c/ preparo.

Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

Conclusões

Independentemente da época e operações de preparo do solo, as maiores emissões de CH₄ em terras baixas estão associadas ao cultivo de arroz irrigado. Na entressafra, as emissões desse GEE são bem menores que durante a safra de primavera/verão.

O uso de preparo antecipado do solo propicia menor emissão de CH₄ durante a entressafra, em comparação aos preparos convencional de primavera e com rolo-faca no outono/inverno.

A manutenção do solo em pousio durante a entressafra praticamente elimina as emissões de N₂O no período de outono/inverno, relativamente aos manejos que preconizam o preparo antecipado do solo no outono. Assim como para o CH₄, as emissões de N₂O do solo concentram-se na safra de primavera/verão.

O cultivo de soja em rotação ao arroz irrigado em terras baixas potencializa as emissões de N₂O, mas reduz drasticamente as emissões de CH₄ do solo.

O fator de emissão de CH₄ associado ao cultivo de arroz irrigado em terras baixas é superior ao soja cultivada no mesmo solo. Na entressafra, o tipo de preparo do solo propicia fatores de emissão distintos, decrescendo na seguinte ordem: rolo-faca > preparo convencional na primavera > preparo antecipado no outono.

Agradecimento

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

ALVES, B. J. R. Emissões de óxido nitroso de solos agrícolas e de manejo de dejetos. In: BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Terceiro Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa: Relatórios de Referência - Setor Agropecuária**. Brasília, DF: MCTI, 2015. 98 p.

BALL, B. C.; SCOTT, A.; PARKER, J. P. Field N₂O, CO₂ and CH₄ fluxes in relation to tillage, compaction and soil quality in Scotland. **Soil Tillage**, v. 53, p. 29-39, 1999.

BARTON, L.; KIESE, R.; GATTER, D.; BUTTERBACH-BAHL, K.; BUCK, R.; HINZ, C.; MURPHY, D. V. Nitrous oxide emissions from a cropped soil in a semi-arid climate. **Global Change Biology**, v. 14, p. 177-192, 2008. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2007.01474.x

BAYER, C.; ZSCHORNACK, T.; SOUSA, R. O.; SILVA, L. S.; SCIVITTARO, W. B.; SILVA, P. R. F.; GIACOMINI, S.; CARMONA, F. C. Strategies to mitigate methane emissions in lowland rice fields in South Brazil. **Better Crops**, v. 97, n. 1, p. 27-29, 2013.

CAMARGO, E. S. **Potencial de práticas agrícolas em mitigar as emissões de gases de efeito estufa na cultura do arroz irrigado**. 2015. 138 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos: Décimo levantamento**. Brasília, DF: CONAB, v. 4, n. 10, p. 66-71, jul. 2017.

CONRAD, R. Control of microbial methane production in wetland rice fields. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 64, p. 59-69, 2002.

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**, v. 38, n. 7, p. 2049-2053, 2008.

DENIER VAN DER GON, H. A. C.; NEUE, H. U. Influence of organic matter incorporation on the methane emission from a wetland rice field. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 9, p. 11-22, 1995.

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

Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University, 2007. p. 129-240. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter2.pdf>> Acesso em: 17 out. 2017.

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.

MA, J.; MA, E.; XU, H.; YAG, K.; CAI, Z. Wheat straw management affects CH₄ and N₂O emissions from rice fields. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 41, p. 1022-1028, 2009.

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

MYHRE, G.; SHINDELL, D.; BREON, F. M.; COLLINS, W.; FUGLESTVEDT, J.; HUANG, J.; KOCH, D.; LAMARQUE, J. F.; LEE, D.; MENDONZA, B.; NAKAJIMA, T.; ROBOCK, A.; STEPHENS, G.; TAKEMURA, T.; ZHANG, H. Anthropogenic and natural radiative forcing. In: STOCKER, T. F.; QIN, D.; PLATTNER, G. K.; TIGNOR, M.; ALLEN, S. K.; BOSCHUNG, J.; NAUELS, A.; XIA, Y.; BEX, V.; MIDGLEY, P. M. (Ed.). **Climate Change 2013: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University, 2013. p. 659-740. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_Chapter08_FINAL.pdf> Acesso em: 17 out. 2017.

NEUE, H. U.; WASSMANN, R.; LANTIN, R. S.; ALBERTO, M. A. C. R.; ADUNA, J. B.; JAVELLANA, A. M. Factors affecting methane emissions from rice fields. **Atmospheric Environment**, v. 30, p. 1751-17754, 1996.

REDDY, K. R.; DeLAUNE, R. D. **Biogeochemistry of wetlands: science and applications**. Boca Raton: CRC, 2008. p. 257-264.

REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 40., 2014, Pelotas. **Indicações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e em Santa**

Catarina, safras 2014/2015 e 2015/2016. Editores técnicos Ana Cláudia Barneche de Oliveira, Ana Paula Schneid Afonso da Rosa. Pelotas: Embrapa Clima Temperado. 2014. 124 p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 382).

ROGERS, C. W.; BRYE, K. R.; SMARTT, A. D.; NORMAN, R. J.; GBUR, E. E.; EVANS-WHITE, M. A. Cultivar and previous crop effects on methane emissions from drill-seeded, delayed-flood rice production on a silt-loam soil. **Soil Science**, v. 179, p. 28-36, 2014.

SASS, R. L.; FISHER, F. M.; TURNER, F. T.; JUND, M. F. Methane emission from rice fields as influenced by solar radiation, temperature, and straw incorporation. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 5, n. 4, p. 335-350, 1991.

SCHÜLTZ, H.; SCHRODER, P.; RENNENBERG, R. Role of plants in regulating the methane flux to atmosphere. In: SHARKEY, T. D.; HOLLAND, E. A.; MOONEY, H. A. (Eds.). **Trace gas emissions by plants**. New York: Academic Press, 1991. p. 29-63.

SCIVITTARO, W. B.; SOUSA, R. O.; BAYER, C. **Protocolo para medições de emissões de gases de efeito estufa em sistemas de produção de arroz irrigado e em áreas sujeitas ao alagamento do solo – Rede Fluxus**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2016. 41 p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 426).

SHEPHERD, A.; YAN, X.; NAYAK, D.; NEWBOLD, J.; MORAN, D.; DHANOA, M. S.; GOULDING, K.; SMITH, P. CARDENAS, L. M. Disaggregated N₂O emission factors in China based on cropping parameters create a robust approach to the IPCC Tier 2 methodology. **Atmospheric Environment**, v. 122, p. 272-281, 2015.

SMARTT, A. D.; BRYE, K. R.; ROGERS, C. W.; NORMAN, R. J.; GBUR, E. E.; HARDKE, J. T.; ROBERTS, T. L. Previous crop and cultivar effects on methane emissions from drill-seeded, delayed-flood rice grown on a clay soil. **Applied and Environmental Soil Science**, v. 2016, 13 p., 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1155/2016/9542361>>. Acesso em: 13 out. 2017.

SMITH, P.; MARTINO, D.; CAI, Z.; GWARY, D.; JANZEN, H.; KUMAR, P.; MCCARL, B.; OGLE, S.; O'MARA, F.; RICE, C.; SCHOLE, B.; SIROTENKO,

O. Agriculture. IN: METZ, B.; DAVIDSON, O. R.; BOSCH, P. R.; DAVE, R.; MEYER, L.A. (Ed.). **Climate Change 2007: Mitigation**. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change 2007. Cambridge: Cambridge University, 2007. p. 497-540. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg3/ar4-wg3-chapter8.pdf>> Acesso em: 17 out. 2017.

SMITH, K. A.; DOBBIE, K. E.; BALL, B. C.; BAKKEN, L. R.; SITAULA, B. K.; HANSEN, S. Oxidation of atmospheric methane in Northern European soils, comparison with other ecosystems, and uncertainties in the global terrestrial sink. **Global Change Biology**, v. 6, p. 791-803, 2000.

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. Pelotas: SOSBAI, 2016. 197 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.

WELLER, S.; KRAUS, D.; AYAG, K. R. P.; WASSMANN, R.; ALBERTO, M. C. R.; BUTTERBACH-BAHL, K.; KIESE, R. Methane and nitrous oxide emissions from rice and maize production in diversified rice cropping systems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 101, p. 37-53, 2015.

YAO, Z.; ZHOU, Z.; ZHENG, X.; XIE, B.; MEI, B.; WANG, R.; BUTTERBACHBAHL, K.; ZHU, J. Effects of organic matter incorporation on nitrous oxide emissions from rice-wheat rotation ecosystems in China. **Plant and Soil**, v. 327, n. 1-2, p. 315-330, 2010.

YU, K.; CHEN, G.; PATRICK JR., W. H. Reduction of global warming potential from a rice field by irrigation, organic matter, and fertilizer management. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 18, 2004. GB3018, doi: 10.1029/2004GB002251.

ZHOU, M.; ZHU, B.; BRÜGGEMANN, N.; WANG, X.; ZHENG, X.; BUTTERBACH-BAHL, K. Nitrous oxide and methane emissions from a subtropical rice-rapeseed rotation system in China: a 3-year field case study. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 212, p. 297-309, 2015.

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.

Comunicado Técnico, 347

Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:

Embrapa Clima Temperado

Endereço: BR 392, Km 78, Caixa Postal 403
Pelotas, RS - CEP 96010-971

Fone: (53)3275-8100

www.embrapa.br/clima-temperado

www.embrapa.br/fale-conosco/sac



1ª edição

Obra digitalizada (2017)

Comitê de Publicações

Presidente: Ana Cristina Richter Krolow

Vice-Presidente: Enio Egon Sosinski Junior

Secretária-Executiva: Bárbara Chevallier Cosenza

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

Expediente

Revisão do texto: Bárbara C. Cosenza

Normalização bibliográfica: Marilaine Schaun Pelufê

Editoração eletrônica: Nathália Coelho (estagiária)