

Potencial de Práticas de Manejo do Solo e da Cobertura Vegetal em Mitigar as Emissões de Gases de Efeito Estufa em Terras Baixas



ISSN 1678-2518

Outubro, 2016

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

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 248

Potencial de Práticas de Manejo do Solo e da Cobertura Vegetal em Mitigar as Emissões de Gases de Efeito Estufa em Terras Baixas

Walkyria Bueno Scivittaro
Gerson Lübke Buss
Anderson Dias Silveira
Rogério Oliveira de Sousa
Julio José Centeno da Silva

Embrapa Clima Temperado
Pelotas, RS
2016

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 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 (estagiária)*

Foto de capa: Walkyria Scivittaro

1ª edição

1ª impressão (2016): 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

P861 Potencial de práticas de manejo do solo e da cobertura vegetal em mitigar as emissões de gases de efeito estufa em terras baixas / Walkyria Bueno Scivittaro... [et al.]. - Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2016.
38 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Clima Temperado, ISSN 1678-2518 ; 248)

1. Manejo do solo. 2. Cobertura vegetal. 3. Arroz.
4. Efeito estufa. 5. Terras baixas. I. Scivittaro, Walkyria Bueno. II. Série.

CDD 633.18

©Embrapa 2016

Sumário

Resumo	5
Abstract	7
Introdução	9
Material e Métodos	11
Resultados e Discussão	17
Conclusões	33
Referências	34

Potencial de Práticas de Manejo do Solo e da Cobertura Vegetal em Mitigar as Emissões de Gases de Efeito Estufa em Terras Baixas

Walkyria Bueno Scivittaro¹

Gerson Lübke Buss²

Anderson Dias Silveira³

Rogério Oliveira de Sousa⁴

Julio José Centeno da Silva⁵

Resumo

Em terras baixas, as práticas de manejo do solo e da cobertura vegetal determinam o potencial de incorporação de carbono (C) e nitrogênio (N) ao solo e de emissões de gases de efeito estufa, particularmente o metano (CH₄). Com o objetivo de avaliar o potencial de práticas de manejo do solo e da cobertura vegetal em mitigar as emissões de metano e óxido nitroso (N₂O) em terras baixas, realizou-se um experimento em Planossolo Háplico, na Estação Experimental Terras Baixas (ETB) da Embrapa Clima Temperado, em Capão do Leão, RS, por um período de dois anos (entressafra 2013, safra 2013/14, entressafra 2014 e safra 2014/15). Avaliaram-se quatro sistemas envolvendo associações de manejos do solo na entressafra e cultivos de primavera/verão, sendo que todos iniciaram com o cultivo de arroz irrigado: T1- arroz/soja/arroz; T2- arroz/arroz/arroz; T3- arroz/arroz/soja; T4- arroz/soja/arroz c/ preparo. As coletas dos gases foram realizadas semanalmente, utilizando-se

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

²Engenheiro-agrônomo, mestre em Agronomia, doutorando da UFPel, Pelotas, RS.

³Engenheiro-agrônomo, bolsista de Iniciação Científica Probioc/Fapergs, Pelotas, RS.

⁴Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência do Solo, professor da Faem/UFPel, Pelotas, RS.

⁵Engenheiro-agrônomo, doutor em Agroecologia, pesquisador da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS.

o método da câmara estática fechada. O preparo antecipado do solo reduz as emissões de metano em terras baixas durante a entressafra, relativamente ao preparo convencional de primavera e ao preparo com rolo-faca. Independentemente do manejo do solo, as emissões de metano na entressafra são menores que as medidas durante o cultivo de arroz irrigado. A manutenção do solo em pousio no período de outono/inverno elimina as emissões de N_2O durante a entressafra, relativamente aos manejos com preparo antecipado do solo. Mesmo nesses manejos, as emissões de N_2O durante a entressafra são baixas, estando concentradas na safra verão. O cultivo de soja em rotação ao arroz irrigado reduz acentuadamente as emissões de CH_4 , mas potencializa as emissões de N_2O em Planossolo. Ainda assim, a rotação de culturas com soja minimiza consideravelmente o potencial de aquecimento global parcial em terras baixas, representando uma alternativa promissora para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa nesse ambiente.

Palavras-chave: metano, óxido nitroso, potencial de aquecimento global, preparo do solo, arroz irrigado, soja.

Potential of Soil Tillage and Vegetation Management in Mitigate Greenhouse Gas Emissions in Lowlands

In the lowlands environment, soil tillage and vegetation management practices determine the potential of carbon (C) and nitrogen (N) incorporation to the soil and greenhouse gases emissions, especially methane (CH₄). An experiment was carried out to evaluate the potential of soil tillage and vegetation management practices in mitigate methane and nitrous oxide (N₂O) emissions in the lowlands. The study was conducted from April 2013 to May 2015 in a Planossolo (Typic Albaqualf), in Capão do Leão, State of Rio Grande do Sul, Brazil. Four systems involving soil tillage and summer crops were evaluated. All of them had irrigated rice as the first summer crop (2012/13 growing season). The systems included the following rotations: rice/soybeans/rice; rice/rice/rice; rice/rice/soybean; rice/soybeans/rice with soil tillage. The air sampling for CH₄ and N₂O soil emissions analysis was performed weekly, using static closed chambers. Early soil tillage in the autumn reduces methane emissions in the lowlands during the autumn/winter season, comparing to conventional tillage in the spring and soil tillage with cutting-roller in the autumn. Regardless of soil tillage, methane emissions during autumn/winter season are lower than the emissions measured during irrigated rice cultivation. Soil maintained underfallow during autumn/winter season eliminates nitrous oxide emissions during this period, comparing to the management with early soil tillage in the

8 Potencial de Práticas de Manejo do Solo e da Cobertura Vegetal em Mitigar as Emissões de Gases de Efeito Estufa em Terras Baixas

autumm. Even in these managements, N₂O emissions during autumm/winter season are low and concentrated in the spring/summer season. Soybeans cultivation in rotation to rice sharply reduces emissions of CH₄, but enhances N₂O emissions in Planosol. Regardless of this fact, soybeans crop rotation substantially reduces global warming potential from lowlands, representing a promising alternative for mitigation of greenhouse gas emissions in this environment.

Index terms: methane, nitrous oxide, global warming potential, soil tillage, flooded rice, soybeans.

Introdução

O padrão global de emissão de gases de efeito estufa (GEE) difere bastante daquele observado no Brasil. Enquanto a atividade agropecuária – incluindo a mudança no uso da terra – representa, respectivamente, 22%, 55% e 80% das emissões mundiais de dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O), no Brasil essa atividade tem um papel muito mais significativo, devido à grande dependência nacional do agronegócio, respondendo por três quartos das emissões de CO_2 e por mais de 90% das emissões de CH_4 e N_2O (CERRI et al., 2009).

O CO_2 é o principal gás de efeito estufa; no setor de agricultura, sua produção está associada à queima de biomassa vegetal e à decomposição de resíduos vegetais e da matéria orgânica do solo em ambiente oxidado. Porém, sob condições anaeróbicas, como as vigentes na fermentação entérica de ruminantes e em solos alagados para o cultivo de arroz, produz-se metano (ZSCHORNACK, 2011). Esse é o segundo gás de efeito estufa em importância; o aumento na concentração atmosférica de CH_4 no período posterior à revolução industrial deve-se à ação antrópica, particularmente à atividade agropecuária (COLE et al., 1997).

O setor de agricultura também é o principal responsável pela emissão de óxido nitroso, visto que sua geração está associada à dinâmica do nitrogênio (N) nativo do solo ou proveniente de fertilizantes e à alternância nas condições de oxirredução (LIU et al., 2010), que favorecem os processos de nitrificação e desnitrificação (YU et al., 2001).

O cultivo de arroz irrigado por inundação do solo destaca-se entre as atividades humanas associadas à emissão de GEE, particularmente o metano (AGOSTINETTO et al., 2002), cuja produção está relacionada à decomposição microbiana de materiais orgânicos em ambientes anóxicos (CONRAD, 2002).

No Brasil, a maior parte da produção brasileira de arroz irrigado está localizada na região Sul, particularmente no Estado do Rio Grande do Sul (RS), onde são cultivados anualmente mais de um milhão de hectares do cereal, sob uma ampla variabilidade de condições edafoclimáticas (REUNIÃO..., 2016), atingindo produtividades altas e crescentes, com média superior a 7,2 mg ha⁻¹ na safra 2013/2014 (CONAB, 2014).

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; REUNIÃO..., 2016). 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 (GEE) 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 (CH_4), 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 aeróbias, liberando CO_2 e diminuindo o potencial de emissão de CH_4 do solo, uma vez que sua inundação para o próximo cultivo de arroz ocorre apenas no final da primavera (BAYER et al., 2012, 2013).

O aporte de resíduos orgânicos ao solo cultivado com arroz normalmente exerce efeitos distintos sobre as emissões de CH_4 e de N_2O . Enquanto a adição incrementa a produção e emissão de CH_4 , pelo favorecimento do processo de redução do solo e fornecimento de carbono ao sistema (NEUE et al., 1996), as emissões de N_2O 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 magnitude da produção de arroz do Rio Grande do Sul 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.

Com base no exposto, realizou-se o presente trabalho, que teve por objetivo avaliar o potencial de práticas de manejo do solo e da cobertura vegetal em mitigar as emissões de metano e óxido nitroso em terras baixas.

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, por um período de dois anos (entressafra 2013, safra 2013/14, entressafra 2014 e safra 2014/15). Os dados referentes à precipitação pluviométrica incidente na área experimental durante o período de avaliação encontram-se na Figura 1, tendo sido obtidos junto à Estação Agroclimatológica de Pelotas, localizada na Estação Experimental Terras Baixas da Embrapa Clima Temperado.

Previamente, a área experimental foi cultivada com arroz irrigado (safra 2012/2013), o qual foi colhido no dia 10 de abril de 2013. Nessa área estabeleceram-se os tratamentos, envolvendo associações de manejos do solo 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 (2013); dessecação da área na primavera (05/11/2013), seguida de imediata semeadura direta de soja (06/11/2013). Devido ao desenvolvimento insatisfatório, a soja foi ressemeada em 28/12/2013 (cultivar BMX Potência), com colheita realizada em 02/04/2014. Após, realizou-se o preparo antecipado do solo no outono, com o uso de subsolador e grade (29/05/2014). A cobertura vegetal estabelecida durante o outono/inverno foi dessecada na primavera e, na sequência, procedeu-se à semeadura direta de arroz (cultivar BRS Sinuelo CL) (29/10/2014), que foi colhido em 10/04/2015 (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 (2013); preparo convencional do solo na primavera (19/10/2013) e semeadura do arroz cultivar BRS Sinuelo CL (06/11/2013); o cultivo estendeu-se até o dia 12/04/2014, quando o arroz foi colhido em presença de lâmina de água. Ainda durante o outono (29/05/2014),

procedeu-se ao preparo do solo com rolo-faca. A cobertura vegetal estabelecida durante o inverno foi dessecada na primavera (2014) e, na sequência, procedeu-se à semeadura direta de arroz (cultivar BRS Sinuelo CL) (29/10/2014), que foi colhido em 10/04/2015 (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 (10/04/2013); a cobertura vegetal estabelecida durante o outono/inverno e início da primavera foi dessecada em 05/11/2013, seguida de semeadura direta de arroz cultivar BRS Sinuelo CL (06/11/2013), cujo cultivo estendeu-se até 12/04/2014, quando foi realizada a colheita em presença de lâmina de água. Ainda durante o outono (29/05/2014), procedeu-se o preparo do solo com rolo-faca. A cobertura vegetal estabelecida durante o inverno foi dessecada na primavera (2014) e, na sequência, procedeu-se à semeadura direta de soja cultivar BMX Potência (24/11/2014), que foi colhida em 10/04/2015 (sistema arroz/arroz/soja).

T4- arroz irrigado (safra 2012/2013) colhido em solo seco, com subsequente preparo antecipado do solo no outono (aração em 19/04/2013 e gradagem em 10/05/2013). A cobertura vegetal estabelecida durante o outono/inverno e início da primavera foi dessecada em 05/11/2013 e, na sequência, procedeu-se à semeadura direta de soja (06/11/2013), que, por problemas de emergência, foi ressemeada em 28/12/2013 (cultivar BMX Potência); o cultivo da soja estendeu-se até 12/04/2014, quando foi colhida. Durante o outono, procedeu-se ao preparo antecipado do solo com subsolador e grade (29/05/2014); a cobertura vegetal estabelecida foi dessecada na primavera e, na sequência, procedeu-se à semeadura direta de arroz cultivar BRS Sinuelo CL (29/10/2014), cujo cultivo estendeu-se até 10/04/2015, quando foi colhido (sistema arroz/soja/arroz c/preparo);

Esses tratamentos foram dispostos em delineamento de faixas (10 m x 100 m), com três repetições.

Nos cultivos de arroz irrigado e soja, desenvolvidos na safra 2013/2014 e 2014/2015, seguiram-se as indicações técnicas da pesquisa para essas culturas no Sul do Brasil, respectivamente, (REUNIÃO... 2014a, 2014b). De acordo com tais recomendações, apenas a cultura de arroz irrigado recebeu aporte de nitrogênio, via adubação. Para a soja, utilizaram-se sementes inoculadas com inoculante específico. Ao final do ciclo das culturas de verão, essas foram avaliadas para a determinação da produtividade de grãos. Como o estudo envolveu diferentes culturas de verão (arroz irrigado e soja), para comparação optou-se pela conversão dos dados de produtividade para energia bruta produzida.

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 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.

Utilizaram-se coletores distintos para as culturas de arroz irrigado (modelo específico para sistemas alagados – base/extensor/topo) e soja (modelo específico para sistemas aeróbios – base/topo) (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. Embora eventualmente, especialmente por ocasião de operações agrícolas mecanizadas, tenham sido temporariamente retiradas 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.

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 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 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 com auxílio de termômetro digital de haste com visor externo (WESZ, 2012).

Durante os períodos de amostragens, as seringas foram acondicionadas em caixas térmicas e mantidas sob baixa temperatura, sendo o ar armazenado nas seringas transferido para frascos específicos dotados de vácuo, imediatamente após a conclusão da coleta.

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 (taxas de emissão) foram calculados pela relação linear entre a variação na concentração desses gases e o tempo de coleta, segundo a equação 1:

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

onde: 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 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 (m^2).

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. A emissão total do período foi calculada 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 , 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). A partir dos dados de PAGp e de energia bruta produzidas pelas culturas de verão, determinou-se o índice que relaciona essas duas variáveis, conforme descrito na equação 2:

$$PAGpEB = \frac{PAGp}{EB} \quad \text{Equação 2}$$

onde: PAGpEB é o potencial de aquecimento global parcial por energia

bruta produzida ($\text{kg CO}_2 \text{ eq. ha}^{-1}$); PAGp é o potencial de aquecimento global parcial ($\text{kg CO}_2 \text{ eq. h}^{-1}$); e EB é a produtividade de grãos da cultura de verão (arroz irrigado ou soja) convertida para energia bruta (Gcal ha^{-1}).

Os fluxos diários e as emissões totais foram analisados de forma descritiva (média \pm desvio padrão). Já os dados da emissão total dos GEE e do Potencial de Aquecimento Global parcial foram submetidos à análise de variância, comparando-se as médias dos tratamentos pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Resultados e Discussão

Fluxos de metano e óxido nitroso do solo

No período de entressafra de 2013, a área sob pousio destinada ao preparo convencional na primavera (T2) e a área preparada com rolo-faca no outono (T3) apresentaram pico máximo de emissão de CH_4 nove dias após o início das avaliações (24/04/2013), correspondentes a 192 e 398 $\text{g CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$, respectivamente (Figura 2). Na área com colheita no seco e sob preparo antecipado (T4) e na área com colheita no seco e pousio (T1), a emissão máxima de CH_4 ocorreu duas semanas após a dos demais sistemas e em magnitude bem menor (14 $\text{g CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$). Para todos os sistemas, emissões significativas de CH_4 ocorreram, apenas, nos primeiros 56 dias de avaliação (até o dia 10/06/2013); após, as emissões foram praticamente nulas, havendo, inclusive, registro de influxo desse GEE. Exceção a esse padrão foi determinada na última época de avaliação na entressafra (28/10/2013), onde foram registrados picos menores de emissão de CH_4 (10 $\text{g CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$), em T3 (Figura 2), associados a eventos concentrados de precipitação intensa (Figura 1).

Atribui-se grande parte da variabilidade nas emissões de CH_4 observadas entre os sistemas de preparo no período de outono/inverno às condições distintas de umidade do solo por ocasião da colheita do arroz, sendo: solo saturado/barro, na área mantida em pousio (T2) e, com presença de lâmina de água, na área preparada com rolo-faca (T3), as quais, pelo maior conteúdo de água, principalmente no período inicial de avaliação, favoreceram a emissão de CH_4 , relativamente ao solo seco, estabelecido nos manejos com preparo antecipado (T4) e pousio (T1). Essa condição de solo seco foi proporcionada pela supressão antecipada da irrigação do arroz e pelo estabelecimento de sistema de drenagem na área. Também a distribuição e a magnitude dos eventos de chuva, que determinaram a ocorrência e duração de períodos de anaerobiose no solo, devem ter contribuído para as emissões de CH_4 , visto que a produção desse GEE está associada à decomposição microbiana de materiais orgânicos, via fermentação, em ambientes anaeróbios (CONRAD, 2002).

Durante a safra de verão 2013/14, o fator determinante da magnitude das emissões de CH_4 foi a espécie cultivada (arroz ou soja). As duas áreas cultivadas com arroz apresentaram diversos picos de emissão de elevada magnitude ao longo do período de cultivo, decorrentes da condição de anaerobiose, estabelecida pela irrigação por inundação do solo. Os dois maiores picos de emissão de CH_4 ocorreram no 262º (02/01/2014) e 269º (09/01/2014) dia após o início das avaliações, com valores de 357 e 322 g $\text{CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$, na área sob preparo convencional (T2), e de 424 e 289 g $\text{CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$, na área preparada com rolo-faca (T3), correspondendo ao início da fase reprodutiva do arroz. Nas duas áreas cultivadas com soja, as emissões de CH_4 foram muito próximas de zero ao longo de todo o período de avaliação (Figura 2), em razão da manutenção do solo drenado para sua produção, inibindo a atividade dos microrganismos metanogênicos.

Também na entressafra (outono/inverno) de 2014, grande parte da variabilidade nas emissões de CH_4 observadas entre os sistemas de

preparo devem estar relacionadas às condições distintas de umidade do solo por ocasião da colheita do arroz e da soja. Nas duas áreas em que se cultivou soja na safra 2013/14 (T1 e T4), praticamente não houve efluxo de CH_4 ; os maiores fluxos de CH_4 foram observados no 448º dia após o início das avaliações (07/07/2014), apresentando magnitudes pequenas, correspondentes a $4,84 \text{ g CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ (T1) e $2,74 \text{ g CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ (T4). Esses fluxos ocorreram logo após um período de sucessivas precipitações (Figura 1). Já nas duas áreas em que foi cultivado arroz na safra 2013/14, observaram-se diversos picos de emissão de CH_4 de maior magnitude, principalmente nos dois primeiros meses após o preparo das áreas com o rolo-faca, que ocorreu em 29 de maio de 2014. Para T2, o pico foi de $547 \text{ g CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ (03/07/2014), e para T3, de $219 \text{ g CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ (14/07/2014) (Figura 2). A adição e incorporação da palha do arroz ao solo provavelmente estimulou a atividade microbiana, em resposta à entrada de C e N (BAYER et al., 2012), originando maiores fluxos de CH_4 do solo.

Na safra 2014/15, na área cultivada com soja (T3), as emissões de CH_4 foram próximas de zero ao longo de todo o período de avaliação (Figura 2), o que se explica pela manutenção do solo drenado para a produção dessa oleaginosa, condição não favorável à atividade dos microrganismos metanogênicos. Já nas áreas cultivadas com arroz (T1, T2 e T4), observaram-se diversos picos de emissão de CH_4 , compatíveis com as condições de solo saturado, estabelecidas para o cultivo de arroz irrigado por inundação do solo. Os dois maiores picos de emissão de CH_4 ocorreram em T2 (tratamento com o cultivo de arroz por três safras sucessivas – 2012/13, 2013/14 e 2014/15), com magnitudes de 362 e $394 \text{ g CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$. Esses picos ocorreram no 623º (29/12/2014) e 638º (13/01/2015) dia após o início das avaliações, coincidindo com o início da fase reprodutiva do arroz. De acordo com Baggs et al. (2003), a produção de CH_4 no solo exige condições estritamente anaeróbicas, pois está associada a microrganismos anaeróbios obrigatórios, que são sensíveis ao oxigênio, favorecendo o processo de metanogênese.

Na entressafra de 2013, as emissões de N_2O do solo oscilaram bastante. Mas, em geral, apresentaram magnitude reduzida, especialmente na área mantida em pousio destinada ao preparo convencional na primavera (T2), onde a emissão máxima foi de 217 $mg N_2O ha^{-1} h^{-1}$, e na área com colheita no seco com manutenção da palha (T1), onde a emissão máxima foi de 508 $mg N_2O ha^{-1} h^{-1}$. Em ambos as áreas, essa ocorreu no 14º dia (29/04/2013) após o início das avaliações (Figura 3). Na área preparada com rolo-faca (T3), foram determinados alguns picos de emissão de N_2O , dois deles superiores a 1000 $mg N_2O ha^{-1} h^{-1}$, aos 105 (29/07/2013) e 147 (09/09/2013) dias após o início das avaliações. Esses picos foram intercalados com outros menores e, inclusive, com fluxos negativos. Já na área sob preparo antecipado (T4), as maiores emissões de N_2O ocorreram no mês de junho, entre o 56º e 70º dia após o início das avaliações, chegando a 689 $mg N_2O ha^{-1} h^{-1}$ (Figura 3).

Durante o período de safra de 2013/14 (primavera/verão), as emissões de N_2O do solo oscilaram bastante, ou seja, ocorreram fluxos com valores bem altos e fluxos de baixa magnitude, predominando alternância entre valores baixos de emissão e influxos de N_2O . De maneira geral, em todos os tratamentos, as maiores emissões de N_2O ocorreram no período inicial de desenvolvimento das culturas de verão, especialmente entre o 213º até o 238º dia após o início das avaliações. Nesse período, ocorreram os dois maiores picos de emissão de N_2O em ambas as áreas cultivadas com arroz irrigado; esses corresponderam, respectivamente, a 1.903 $mg N_2O ha^{-1} h^{-1}$ (238º dia – 09/12/2013) e 1.164 $mg N_2O ha^{-1} h^{-1}$ (213º dia – 14/11/2013), na área sob preparo convencional de primavera (T2), e a 11.403 $mg N_2O ha^{-1} h^{-1}$ (221º dia – 22/11/2013) e 4.728 $mg N_2O ha^{-1} h^{-1}$ (238º dia), na área preparada com rolo-faca no outono (T3) (Figura 3). Os picos de emissão do 213º e 221º dia após o início das avaliações ocorreram imediatamente após períodos com precipitação, ou seja, provavelmente ocorreram ciclos de oxirredução no solo. Já o pico do 238º dia após o início das avaliações ocorreu no dia em que foi

realizada a primeira cobertura com nitrogênio e o início da irrigação por inundação do solo. Em lavouras de arroz irrigado, as emissões de N_2O estão associadas principalmente à alternância nas condições de oxirredução do solo, que predispõe a ocorrência dos processos de nitrificação/desnitrificação (REDDY; DELAUNE, 2008), que têm o N_2O como produto intermediário.

Nas duas áreas cultivadas com soja na safra 2013/14 (Figura 3), os fluxos máximos de N_2O foram observados aos 248 dias após o início das avaliações (19/12/2013), no tratamento com preparo antecipado do solo no outono/inverno (T4) ($23.260 \text{ mg ha}^{-1}\text{h}^{-1}$), e aos 262 dias após o início das avaliações (02/01/2014), no tratamento pousio no outono/inverno (T1) ($22.681 \text{ mg ha}^{-1}\text{h}^{-1}$). Esses picos são bem superiores aos determinados nas áreas cultivadas com arroz irrigado, os quais atingiram valor máximo de $11.403 \text{ mg N}_2\text{O ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$. No tratamento em que a soja foi semeada em sistema plantio direto (T1) observam-se, ainda, três outros picos de emissão de N_2O , com valores de $7.918 \text{ mg ha}^{-1}\text{h}^{-1}$ (248º dia – 19/12/2013), $8.906 \text{ mg ha}^{-1}\text{h}^{-1}$ (266º dia – 06/01/2014) e $6.725 \text{ mg ha}^{-1}\text{h}^{-1}$ (301º dia – 10/02/2014) (Figura 3). A manutenção da palha do arroz na superfície do solo durante o período de entressafra possivelmente contribuiu para a ocorrência desses três picos de emissão, que coincidiram com períodos de chuvas mais intensas (Figura 1), pois a presença da palha em superfície mantém a umidade do solo e favorece a desnitrificação, podendo estar associados, ainda, à menor difusão de oxigênio decorrente da compactação do solo, na ausência de revolvimento (BAGGS et al., 2003).

Potencial de Práticas de Manejo do Solo e da Cobertura Vegetal em Mitigar as Emissões de Gases de Efeito Estufa em Terras Baixas

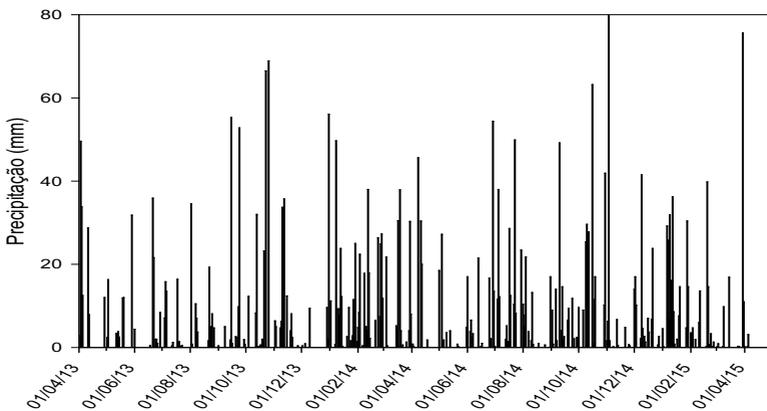


Figura 1. Precipitação pluviométrica nos períodos de entressafra 2013, safra 2013/14, entressafra 2014 e safra 2014/15 em Planossolo Háplico cultivado com arroz irrigado e soja, sob diferentes manejos do solo e da cobertura vegetal. Embrapa Clima Temperado, Capão do Leão, RS.

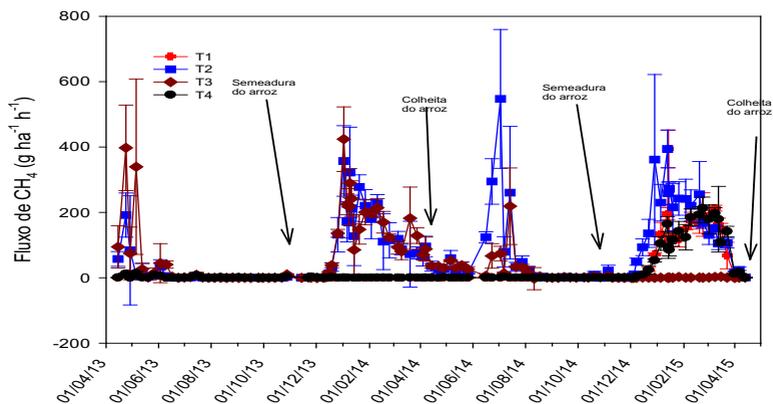


Figura 2. Fluxos de CH_4 na entressafra 2013, na safra 2013/14, na entressafra 2014 e na safra 2014/15 em Planossolo Háplico cultivado com arroz irrigado e soja, sob diferentes manejos do solo e da cobertura vegetal: arroz/soja/arroz (T1); arroz/arroz/arroz (T2); arroz/arroz/soja (T3); arroz/soja/arroz c/ preparo (T4). Embrapa Clima Temperado, Capão do Leão, RS.

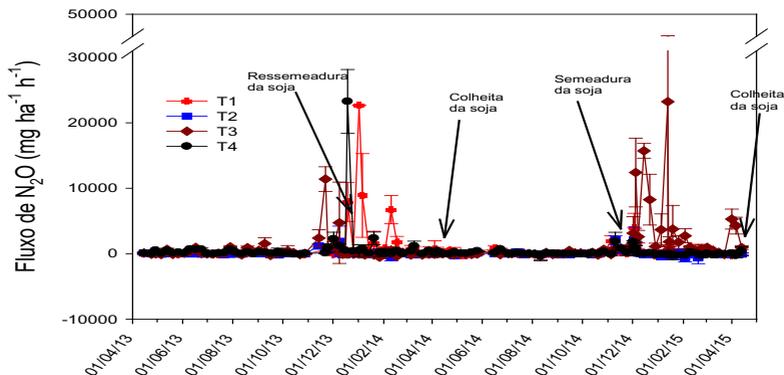


Figura 3. Fluxos de N₂O na entressafra 2013, na safra 2013/14, na entressafra 2014 e na safra 2014/15 em Planossolo Háplico cultivado com arroz irrigado e soja, sob diferentes manejos do solo e da cobertura vegetal: arroz/soja/arroz (T1); arroz/arroz/arroz (T2); arroz/arroz/soja (T3); arroz/soja/arroz c/ preparo (T4). Embrapa Clima Temperado, Capão do Leão, RS.

Sob ambos manejos do solo, sem preparo (T1) e preparo antecipado (T4), os picos de emissão de N₂O no cultivo da soja ocorreram no 248º dia após o início das avaliações (Figura 3), devendo estar associado à ocorrência de um período prévio de estiagem (Figura 1), que exigiu a irrigação da cultura por inundação intermitente (banho). A irrigação por banho elevou a umidade do solo e estabeleceu, temporariamente, microsítios anaeróbios, condição que, associada à presença de fonte de carbono lábil e de temperaturas elevadas, estimulou a atividade de microrganismos associados aos processos de nitrificação/desnitrificação, geradores de fluxos de N₂O (BAGGS et al., 2003). Após esse período, as emissões de N₂O medidas na área sob preparo antecipado (T4) foram de baixa magnitude ou nulas.

As emissões de N₂O do solo durante o segundo período de outono/inverno (entressafra de 2014), em geral, apresentaram magnitude

bastante reduzida, principalmente nas áreas previamente cultivadas com arroz (T2 e T3); em vários momentos ocorreram, inclusive, influxos de N_2O . Já nas duas áreas cultivadas com soja na safra 2013/14 (T1 e T4) determinaram-se pequenos fluxos de N_2O concentrados no período inicial de avaliação na entressafra (Figura 3), coincidindo com o período de decomposição da palha da soja.

Em relação aos fluxos de N_2O durante a 2014/15, na área em que a soja foi cultivada em sucessão ao arroz irrigado e preparada com rolo-faca no outono (T3), determinaram-se três picos de emissão de N_2O de elevada magnitude, aos 599 (05/12/2014), de $12.406 \text{ mg ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$, aos 609 (15/12/2014), de $15.717 \text{ mg ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$, e aos 638 (13/01/2015), de $23.232 \text{ mg ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ dias após o início das avaliações (Figura 3), os quais ocorreram em épocas próximas a períodos de chuva (Figura 1), que causaram a saturação do solo, condição que, alternada à secagem, favorece os processos de nitrificação/desnitrificação, que têm o N_2O como produto intermediário (TOWPRAYOON et al., 2005). Já nas áreas cultivadas com arroz irrigado (T1, T2 e T4), observaram-se dois picos de emissão de N_2O , o primeiro no início de novembro, na semana seguinte à semeadura do arroz, e o segundo no período compreendido pelos 596º e 597º dias após o início das avaliações (2 e 3 de dezembro de 2014) (Figura 3), coincidindo com a época da primeira cobertura com N (01/12/2014). Segundo Liu et al. (2010), as emissões de N_2O em cultivo de arroz irrigado estão associadas à aplicação de fertilizantes nitrogenados e à alternância nas condições de oxirredução do solo, resultantes da instabilidade de manutenção da lâmina de água na lavoura. No restante do período de avaliação, as emissões de N_2O foram de baixa magnitude, chegando a apresentar valores negativos em várias coletas.

Emissões totais de metano e óxido nitroso e potencial de aquecimento global parcial (PAGp)

Na entressafra de 2013, a emissão total de CH_4 foi maior na área preparada com rolo-faca (T3) ($169 \text{ kg CH}_4 \text{ ha}^{-1}$), diferindo estatisticamente das demais: área em pousio/preparo convencional (T2) ($64 \text{ kg CH}_4 \text{ ha}^{-1}$), área sob preparo antecipado (T4) ($9,1 \text{ kg CH}_4 \text{ ha}^{-1}$) e área com colheita no seco e pousio (T1) ($8,6 \text{ kg CH}_4 \text{ ha}^{-1}$) (Tabela 1), que não diferiram entre si.

Apesar das diferenças entre os manejos do solo, as emissões de CH_4 medidas no outono/inverno foram relativamente baixas, considerando-se aquelas observadas durante o período de cultivo do arroz (safra 2013/14), variando de $408 \text{ kg CH}_4 \text{ ha}^{-1}$, na área sob preparo convencional (T2), a $438 \text{ kg CH}_4 \text{ ha}^{-1}$, 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 ($2,3 \text{ kg CH}_4 \text{ ha}^{-1}$ em T4 e $1,75 \text{ kg CH}_4 \text{ ha}^{-1}$ 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 com colza, na entressafra, tendo observado que mais de 97% do CH_4 foram emitidos durante o período de cultivo do arroz.

Na entressafra de 2014, a emissão total de CH_4 decresceu na seguinte ordem: área cultivada com arroz na safra antecedente e preparada com rolo-faca na entressafra de 2014 (T2) ($305 \text{ kg CH}_4 \text{ ha}^{-1}$) > área cultivada com arroz na safra antecedente e preparada com rolo-faca (T3) ($126 \text{ kg CH}_4 \text{ ha}^{-1}$) > área cultivada com soja na safra anterior com preparo antecipado do solo na entressafra de 2014 (T1) ($2,2 \text{ kg CH}_4 \text{ ha}^{-1}$), que não diferiu estatisticamente da área cultivada com soja e sob preparo antecipado (T4) ($1,75 \text{ kg CH}_4 \text{ ha}^{-1}$) (Tabela 1), demonstrando que nas áreas cultivadas com soja (cultivo de sequeiro) no verão, a emissão total de

CH_4 é praticamente nula na entressafra seguinte. Esse comportamento também foi verificado na safra 2014/15, na área cultivada com soja (T3), onde, pela manutenção do solo oxidado, praticamente não se determinou emissão de CH_4 ($3,3 \text{ kg CH}_4 \text{ ha}^{-1}$). Nas áreas com cultivo de arroz na safra 2014/15, as emissões de CH_4 foram maiores, particularmente na área em que se cultivou arroz irrigado por três safras consecutivas (T2), com emissão total de $526 \text{ kg CH}_4 \text{ ha}^{-1}$, a qual é estatisticamente superior à das áreas com o sistema arroz/soja/arroz – T1 ($335 \text{ kg CH}_4 \text{ ha}^{-1}$) e T4 ($333 \text{ kg CH}_4 \text{ ha}^{-1}$), que foram semelhantes entre si (Tabela 1). 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. Explica-se esse comportamento pela alteração 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 físicas, químicas e biológicas 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, estimulando a produção de metano.

Tabela 1. Emissões totais de CH₄ na entressafra 2013, safra 2013/14, entressafra 2014 e safra 2014/15 em Planossolo Háplico cultivado com arroz irrigado e soja, sob diferentes manejos do solo e da cobertura vegetal. Embrapa Clima Temperado. Capão do Leão, RS.

Tratamento ¹	Entressafra	Safra	Total	Entressafra	Safra	Total
	2013	2013/14	ano I	2014	2014/15	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%.

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 nula na área colhida em solo úmido e mantida sob pousio no outono/inverno, aguardando o preparo convencional na primavera (T2) (Tabela 2); 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. 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.

Também durante a safra (2013/14), as áreas cultivadas com arroz irrigado apresentaram baixas emissões totais de N₂O, especialmente quando 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, 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 4,8 kg ha⁻¹ (preparo antecipado –T4), 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.

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 observado na safra anterior, para as áreas cultivadas com soja (Tabela 2).

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. 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.

Tabela 2. Emissões totais de N₂O na entressafra 2013, safra 2013/14, entressafra 2014 e safra 2014/15 em Planossolo Háplico cultivado com arroz

Potencial de Práticas de Manejo do Solo e da Cobertura Vegetal em Mitigar as Emissões de Gases de Efeito Estufa em Terras Baixas

irrigado e soja, sob diferentes manejos do solo e da cobertura vegetal. Embrapa Clima Temperado. Capão do Leão, RS.

Tratamento ¹	Entressafra	Safra	Total	Entressafra	Safra	Total
	2013	2013/14	ano I	2014	2014/15	ano II
N_2O (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	12,8a
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%.

Quanto ao potencial de aquecimento global parcial (PAGp), no primeiro ano, as áreas cultivadas com soja no verão apresentaram PAGp menor do que aquelas cultivadas com arroz irrigado. No segundo, as áreas cultivadas com soja nas duas safras de primavera/verão apresentaram PAGp significativamente menores que a da área cultivada com arroz nas duas safras (Tabela 3).

Nos dois anos de avaliação, o PAGp de todos os tratamentos sempre foi maior na safra, relativamente à entressafra (Tabela 3). Quando o cultivo de verão foi arroz irrigado, o CH_4 foi o principal componente do PAGp; mas quando foi soja, o N_2O foi o principal contribuinte. Esses resultados corroboram dados de estudo conduzido por Silva (2014), na mesma área do presente estudo, em que, independentemente da época e do manejo do solo e da palha, o período de cultivo do arroz irrigado (safra) contribui com mais de 80% para o PAGp anual em Planossolo, em razão das maiores emissões de CH_4 .

Ao se compararem os valores de PAGp deste estudo com os dados encontrados por Camargo (2015), que trabalhou em Gleissolo Háplico

em Cachoeirinha, RS, verifica-se superioridade nos valores do período de safra da soja do presente estudo. Camargo (2015) encontrou valores de PAGp abaixo de 1.000 kg CO₂ equiv.ha⁻¹ e, no presente estudo, não se encontrou nenhum PAGp na safra abaixo de 1000 kg CO₂ equiv.ha⁻¹.

Nos dois anos de avaliação, observou-se que as áreas cultivadas com soja apresentaram menor PAGp (somatório de entressafra e safra), ou seja, no primeiro ano, os tratamentos T1 e T4 apresentaram PAGp de 2.705 kg CO₂ equiv.ha⁻¹ e 1.972 kg CO₂ equiv.ha⁻¹, respectivamente. Os valores determinados para as áreas cultivadas com arroz irrigado (T2 e T3) foram 12.040 kg CO₂ equiv.ha⁻¹ e 16.401 kg CO₂ equiv.ha⁻¹, respectivamente (Tabela 3). No segundo ano, a única área cultivada com soja (T3) apresentou PAGp de 7.056 kg CO₂ equiv.ha⁻¹, enquanto que as áreas cultivadas com arroz irrigado apresentaram PAGp de 8.649 kg CO₂ equiv.ha⁻¹ (T4), 8.924 kg CO₂ equiv.ha⁻¹ (T1) e 20.900 kg CO₂ equiv.ha⁻¹ (T2) (Tabela 3).

Tabela 3. Potencial de aquecimento global parcial (PAGp) na entressafra 2013, safra 2013/14, entressafra 2014 e safra 2014/15 em Planossolo Háplico cultivado com arroz irrigado e soja, sob diferentes sistemas de preparo de solo. Embrapa Clima Temperado. Capão do Leão, RS.

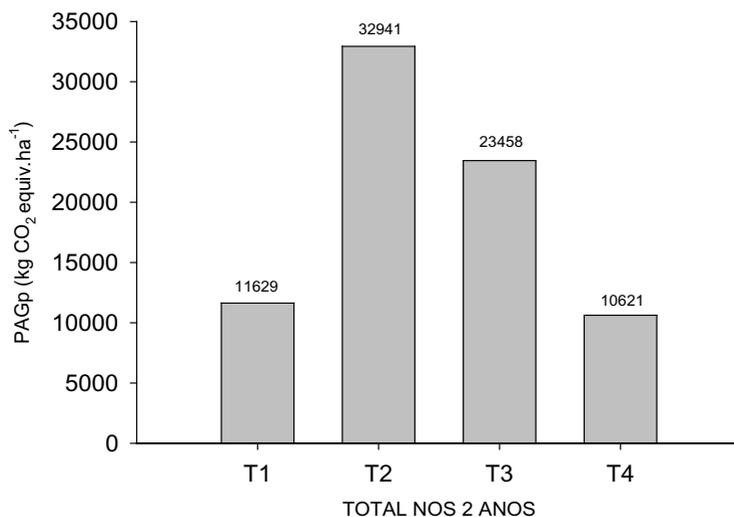
Tratamento ¹	Entressafra	Safra	Total	Entressafra	Safra	Total
	2013	2013/14	ano I	2014	2014/15	ano II
PAGp (kg CO ₂ equiv.ha ⁻¹)						
T1	315b	2390b	2705c	236c	8688ab	8924b
T2	1624b	10416a	12040b	7616a	13284a	20900a
T3	4578a	11823a	16401a	3171b	3885c	7056b
T4	499b	1473b	1972c	171c	8478bc	8649b

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%.

Ao se analisar o PAGp ao final dos dois anos de avaliação, observa-se que o sistema com monocultivo de arroz (arroz/arroz/arroz – T2) foi

o que proporcionou maior valor de PAGp total (32.941 kg CO₂ equiv. ha⁻¹), comparativamente ao sistema arroz/arroz/soja (T3) (23.458 kg CO₂ equiv. ha⁻¹) e com os sistemas arroz/soja/arroz (T1 e T4) que, por sua vez, apresentaram menor PAGp total que os demais, 11.629 kg CO₂ equiv. ha⁻¹ e 10.621 kg CO₂ equiv. ha⁻¹, respectivamente (Figura 4).



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

Figura 4. Potencial de aquecimento global parcial (PAGp) ao longo de dois anos em Planossolo Háplico cultivado com arroz irrigado e soja, sob diferentes sistemas de preparo de solo. Embrapa Clima Temperado, Capão do Leão, RS.

Rendimento de grãos, energia bruta e intensidade de emissão de gases de efeito estufa

A relação entre o potencial de aquecimento global e a energia bruta produzida pelas culturas (PAGp/EB) foi maior nas áreas cultivadas com arroz irrigado, correspondendo a: 307 (T2) e 373 (T3) kg CO₂ eq. Gcal⁻¹ de EB produzida em 2013/14 (Tabela 4), comparativamente às

áreas cultivadas com soja: 263 (T1) e 162 (T4) kg CO₂ eq. Gcal⁻¹ de EB produzida. Assim, embora as áreas cultivadas com arroz tenham apresentado elevado potencial de produtividade, como seu PAGp foi muito superior ao da soja, essas apresentaram maior índice PAGp/EB. No entanto, na safra seguinte (2014/15), os índices PAGp/EB nas áreas de produção da soja foram similares aos observados nas áreas com arroz; isso ocorreu em razão da elevada emissão de N₂O durante o período de cultivo da soja, elevando seu PAGp.

Tabela 4. Rendimento de grãos (Rend.), energia bruta (EB) produzida e intensidade da emissão de GEE, considerando apenas o PAGp das safras, em Planossolo Háplico cultivado com arroz irrigado e soja, sob diferentes sistemas de preparo de solo. Dados relativos às safras agrícolas 2013/14 e 2014/15. Embrapa Clima Temperado, Capão do Leão, RS.

Safra	Tratamento ¹	Rend.	EB ²	PAGp/ Rend.	PAGp/EB
		kg/ha.safra	Gcal/ha.safra		
2013/14	T1 (Soja)	2046(3)	9,1	1,17	263
	T2 (Arroz)	7818	33,9	1,33	307
	T3 (Arroz)	7308	31,7	1,62	373
	T4 (Soja)	2046(3)	9,1	0,72	162
2014/15	T1 (Arroz)	6496	28,2	1,34	308
	T2 (Arroz)	8941	38,8	1,49	342
	T3 (Soja)	2591	11,5	1,50	338
	T4 (Arroz)	7686	33,3	1,10	255

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

²Os dados de energia bruta (EB) para as culturas de arroz irrigado e soja foram obtidos das tabelas brasileiras para aves e suínos (ROSTAGNO et al., 2011), sendo: arroz: 4,34 Mcal kg grão⁻¹ e soja: 4,46 Mcal kg grão⁻¹. ³Os dados de produtividade da soja na safra 2013/14 correspondem à média do Estado do RS nessa safra, tendo sido obtidos em: <http://www.irga.rs.gov.br/>.

Conclusões

O preparo antecipado do solo minimiza as emissões de metano em terras baixas durante a entressafra, relativamente ao preparo convencional de primavera e ao preparo com rolo-faca. Independentemente do manejo do solo, as emissões de metano na entressafra são pequenas relativamente àquelas medidas na safra, em cultivo de arroz irrigado.

A manutenção do solo em pousio no período de outono/inverno elimina as emissões de óxido nitroso durante a entressafra, relativamente a manejos que preconizam o preparo antecipado no outono. Mesmo nestes manejos, as emissões de N_2O durante a entressafra são baixas, estando concentradas no período de safra.

O cultivo de soja em rotação ao arroz irrigado reduz acentuadamente as emissões de CH_4 , mas potencializa as emissões de N_2O em Planossolo. Ainda assim, a rotação de culturas com soja minimiza consideravelmente o potencial de aquecimento global parcial em terras baixas, representando uma alternativa promissora para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa nesse ambiente.

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

AGOSTINETTO, D.; FLECK, N. G.; RIZZARDI, M. A.; BALBINOT JÚNIOR, A.A. Potencial de emissão de metano em lavouras de arroz irrigado. **Ciência Rural**, v. 32, p. 1073-1081, 2002.

BAGGS, E. M.; STEVENSON, M.; PIHLATIC, A.; REGAR, A.; COOK, H.; CADISCH, G. Nitrogen oxide emissions following application of residues and fertilizer under zero and conventional tillage. **Plant and Soil**, v. 254, p. 361-270, 2003.

BALL, B. C.; SCOTT, A.; PARKER, J. P. Field N_2O , CO_2 and CH_4 fluxes in relation to tillage, compaction and soil quality in Scotland. **Soil Tillage**, v. 53, p. 29-39, 1999.

BAYER, C.; GOMES, J.; VIEIRA, F. C. B.; ZANATTA, J. A.; PICCOLO, M. C.; DIECKOW, J. Methane emission from soil under long-term no-till cropping system. **Soil and Tillage Research**, v. 124, p. 1-7, 2012.

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.

CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P. Seqüestro de carbono em solos na América Latina. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 40-44, 2007.

COLE, C. V.; DUXBURY, J.; FRENEY, J.; HEINEMEYER, O.; MINAMI, K.; MOSIER, A.; PAUSTIAN, K.; ROSENBERG, N.; SAMPSON, N.; SAUERBECK, D.; ZHAO, Q. Global estimates of potential mitigation of greenhouse gas emissions by agriculture, **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 49, p. 221-228, 1997.

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

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

COSTA, F. S.; ZANATTA, J. A.; BAYER, C. Emissões de gases de efeito estufa em agroecossistemas e potencial de mitigação. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Org.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 545-559.

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.

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**, v. 408, p. 906-913, 2010.

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.; 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.

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. 1751-1754, 1996.

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. 2014a. 124 p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 382).

REUNIÃO TÉCNICA DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 30., 2014, Bento Gonçalves. **Arroz irrigado**: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. Santa Maria: SOSBAI, 2014b. 192 p.

REUNIÃO TÉCNICA DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 31., 2016, Bento Gonçalves. **Arroz irrigado**: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. Pelotas: SOSBAI, 2016. 200 p.

ROSTAGNO, H. S.; ALBINO, L. F. T.; DONZELE, J. L.; GOMES, P. C.; LOPES, D. C.; FERREIRA, A. S.; BARRETO, S. L. T.; EUCLIDES, R. F. **Tabelas brasileiras para aves e suínos**: composição de alimentos e exigências nutricionais. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, DZO, 2011. 252 p.

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. (Embrapa Clima Temperado. Documentos). No prelo.

SILVA, J. T. **Emissões de metano e de óxido nitroso em área de arroz irrigado influenciadas por sistemas de preparo do solo.** 2014. 70 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

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.

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**, v. 59, n. 11, p. 1547-1556, 2005.

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.

WESZ, J. **Emissões de metano e óxido nitroso em Planossolo em função do manejo da água no arroz irrigado.** Pelotas, 2012. 71 f. - Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia / Solos. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2012. YAO, H.; ZHOU, Z.; ZHENG, X.; XIE, B.; MEI,

B.; WANG, R.; BUTTERBACH-BAHL, K. ZHU, J. Effects of organic matter incorporation on nitrous oxide emissions from rice-wheat rotation ecosystem in China. **Plant and Soil**, v. 327, p. 315-330, 2010.

YU, K. W.; WANG, Z. P.; VERMOESEN, A.; PATRICK JR., W. H.; VAN CLEEMPUT, O. Nitrous oxide and methane emissions from different soils suspensions: effects of soil redox. **Biology and Fertility of Soils**, v. 34, p. 25-30, 2001.

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, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Embrapa

Clima Temperado

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



CGPE 13833