

Boletim de Pesquisa 225 **e Desenvolvimento** ISSN 1678-2518 Dezembro, 2015

Emissões de Gases de Efeito Estufa em Área de Produção de Arroz em Função do Manejo do Solo e da Cobertura Vegetal



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

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 225

Emissões de Gases de Efeito Estufa em Área de Produção de Arroz em Função do Manejo do Solo e da Cobertura Vegetal

Walkyria Bueno Scivittaro
Marla de Oliveira Farias
Jaqueline Trombetta da Silva
Gerson Lübke Buss
Anderson Dias Silveira
Camila Lemos Lacerda
Rogério Oliveira de Sousa
Júlio José Centeno da Silva

Embrapa Clima Temperado
Pelotas, RS
2015

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Clima Temperado

Endereço: BR 392, Km 78

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

Fone: (53) 3275-8100

www.embrapa.br/clima-temperado

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

Comitê de Publicações da Unidade Responsável

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: *Rosana Bosenbecker (estagiária)*

Foto(s) de capa: *Ana Luiza B. Viegas*

1ª edição

1ª impressão (2015): 30 exemplares

Todos os direitos reservados.

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

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Clima Temperado

E53 Emissões de gases de efeito estufa em área de produção de arroz em função do manejo do solo e da cobertura vegetal / Walkyria Bueno Scivittaro... [et al.]. - Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2015.
21 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Clima Temperado, ISSN 1678-2518 ; 225)

1. Arroz. 2. Manejo do solo. 3. Efeito estufa.
I. Scivittaro, Walkyria Bueno. II. Série.

Sumário

Resumo	5
Abstract	7
Introdução	9
Material e Métodos	11
Resultados e Discussão	14
Conclusões	18
Agradecimentos	18
Referências	19

Emissões de Gases de Efeito Estufa em Área de Produção de Arroz em Função do Manejo do Solo e da Cobertura Vegetal

Walkyria Bueno Scivittaro¹

Marla de Oliveira Farias²

Jaqueline Trombetta da Silva³

Gerson Lübke Buss⁴

Anderson Dias Silveira⁵

Camila Lemos Lacerda⁶

Rogério Oliveira de Sousa⁷

Júlio José Centeno da Silva⁸

Resumo

Em áreas de produção de arroz irrigado, a época e as operações de preparo do solo determinam potenciais distintos de incorporação de carbono (C) e nitrogênio (N) ao solo e de emissão de gases de efeito estufa (GEE). Realizou-se um trabalho para avaliar o efeito do manejo do solo e da cobertura vegetal sobre as emissões de metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O), durante o outono/inverno, de Planossolo cultivado com arroz irrigado. O estudo foi realizado de abril a outubro de 2013, em Capão do Leão, RS. Avaliaram-se três sistemas de

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

²Engenheira-agrônoma, D.Sc. em Agronomia, bolsista DTI do CNPq, Pelotas, RS.

³Engenheira-agrônoma, doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água da UFPel, Pelotas, RS, bolsista da Capes.

⁴Engenheiro-agrônomo, doutorando do Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água da UFPel, Pelotas, RS, bolsista da Capes.

⁵Estudante de Agronomia da Faem/UFPel, bolsista Probic da Fapergs, Pelotas, RS.

⁶Estudante de Agronomia da Faem/UFPel, bolsista Probic da Fapergs, Pelotas, RS.

⁷Engenheiro-agrônomo, D.Sc. em Ciência do Solo, professor da Faem/Ufpel.

⁸Engenheiro-agrônomo, D.Sc. em Agroecologia, pesquisador da Embrapa Clima Temperado.

preparo do solo: preparo antecipado de outono, preparo convencional de primavera e preparo com rolo-faca no outono. As coletas dos gases foram realizadas semanalmente, utilizando-se o método da câmara estática fechada. A época e as operações de preparo do solo proporcionaram potenciais distintos de emissão de metano e óxido nitroso em Planossolo durante o outono/inverno. As emissões totais de metano foram maiores na área preparada com rolo-faca, seguida daquela com preparo convencional e antecipado. Também as emissões totais de óxido nitroso foram maiores para o preparo com rolo-faca, seguida da área com preparo antecipado; o preparo convencional não proporcionou emissões de óxido nitroso. Em todos os sistemas de preparo, o metano foi o principal componente do potencial de aquecimento global parcial (PAGp) de Planossolo cultivado com arroz irrigado durante o período de entressafra.

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

Greenhouse Gas Emissions in Rice Production Field Influenced by Soil and Straw Management

Abstract

Time and tillage operations determine different potential of carbon (C) and nitrogen (N) incorporation to the soil and greenhouse gases emissions (GHG) in rice production fields. A study was carried out to evaluate the effect of soil and straw management on methane (CH₄) and nitrous oxide (N₂O) emissions during the fall and winter seasons of a Planossolo (Typic Albaqualf) grown with flooded rice. The experiment was developed from April to October 2013 at Embrapa Temperate Agriculture, in Capão do Leão-RS. Three tillage systems were evaluated: minimum tillage (early tillage) that is held during fall season; conventional tillage, that is held during the spring; and tillage with cutting-roller that is also held during the fall.

The sampling for CH₄ and N₂O soil emissions analysis was performed weekly, using closed flux chambers. Time and tillage operations provided distinct potentials of soil methane and nitrous oxide emissions during autumn / winter seasons. Total methane emissions were higher in the field tilled with cutting-roller, that was followed by conventional tillage and minimum tillage. Total nitrous oxide emissions were also higher for the field tillage with cutting-roller, followed by minimum tillage; the field under conventional tillage did not provide nitrous oxide emissions. For all tillage systems, methane

was the main component of partial global warming potential from Planossolo during fall / winter seasons.

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

Introdução

O aumento da concentração dos gases dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e o óxido nitroso (N_2O), provenientes da queima de combustíveis fósseis, do desmatamento, das queimadas e das práticas agropecuárias, gera um aceleração significativo do efeito estufa (COLE et al., 1997).

O padrão global de emissão de gases de efeito estufa difere bastante daquele observado no Brasil. Enquanto a atividade agropecuária – incluindo a mudança de uso da terra – representa, respectivamente, 22%, 55% e 80% das emissões mundiais de CO_2 , CH_4 e N_2O , no Brasil essa atividade tem um papel muito mais significativo, em razão da 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 dióxido de carbono 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, forma-se metano (ZSCHORNACK, 2011). Este 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 agricultura também é o principal responsável pela emissão de óxido nitroso, visto que sua geração 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).

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. Essa atividade responde por de 15% a 20% de todo o CH_4 emitido por ação antrópica (CONRAD, 2002; LE MER; ROGER, 2001).

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 variedade de condições hidrológicas, de clima e de solo (SOSBAI, 2014), 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; SOSBAI, 2014). 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 aeróbicas, 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 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 a identificar alternativas com potencial para mitigar sua emissão. Com base no exposto, realizou-se um trabalho para avaliar o efeito do manejo do solo e da cobertura vegetal sobre as emissões de metano e óxido nitroso, durante o outono/inverno, de Planossolo previamente cultivado com arroz irrigado.

Materiais e Métodos

O estudo foi realizado em Planossolo Háplico (SANTOS et al., 2006), na Estação Experimental Terras Baixas da Embrapa Clima Temperado, em Capão do Leão, RS. As avaliações de emissões de GEE foram

realizadas durante o outono/inverno e início da primavera (15 abril a 28 out. 2013), em área previamente cultivada com arroz irrigado (safra 2012/2013). O arroz foi colhido em 10 de abril de 2013, em três condições de umidade de solo (seco, saturado/barro e em presença de lâmina de água), visando ao estabelecimento de três sistemas de preparo do solo: preparo antecipado (PA), estabelecido em área colhida com o solo seco, compreendeu as operações de lavração (19 abril de 2013) e gradagem no outono (10 maio de 2013); preparo convencional (PC), estabelecido em área colhida com o solo saturado (barro), compreendeu as operações de aração, gradagem e aplainamento da superfície do terreno na primavera (19 de outubro de 2013); e rolo-faca (RF), estabelecido em área colhida em presença de lâmina de água, compreendeu o preparo do solo com rolo-faca imediatamente após a colheita do arroz (10 abril de 2013). Nesta operação utilizou-se implemento combinado com colheitadeira modelo 4LZ-160B. Os sistemas de preparo (manejo do solo e da cobertura vegetal) constituíram os tratamentos, sendo dispostos em delineamento em faixas (20 m x 100 m). Em cada faixa, foram distribuídos três sistemas coletores de gases de efeito estufa, que constituíram as repetições dos tratamentos.

Monitoraram-se as precipitações ocorridas ao longo do período de avaliação (Figura 1a). As coletas de ar para análise de CH_4 e N_2O foram realizadas semanalmente, utilizando-se o método da câmara estática fechada, adaptado de Mosier (1989). As câmaras utilizadas, confeccionadas em alumínio, foram dispostas sobre bases também de alumínio (64 cm x 64 cm), sempre no intervalo entre 9:00 e 12:00 horas, horário no qual as emissões correspondem aproximadamente à emissão média diária.

O fechamento hermético do conjunto câmara-base foi obtido pela colocação de água em canaleta disposta na parte superior das bases onde as câmaras eram apoiadas (GOMES et al., 2009). O ar no interior das câmaras era homogeneizado durante 30 segundos antes de cada amostragem, por meio do uso de ventiladores presentes na parte

superior da câmara, e a temperatura interna era monitorada com o auxílio de um termômetro digital de haste com visor externo. As amostras de ar do interior da câmara foram coletadas manualmente, com o auxílio de seringas de polipropileno (20 mL) equipadas com válvulas de três vias, nos tempos 0; 5; 10 e 20 minutos após seu fechamento. As concentrações de CH₄ e N₂O nas amostras de ar foram determinadas por cromatografia gasosa no laboratório de Biogeoquímica Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

Os fluxos dos gases CH₄ e de N₂O (taxas de emissão) foram calculados pela relação linear entre a variação na concentração dos gases e o tempo de coleta, segundo a equação:

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

Onde: f é o fluxo de metano (CH₄ ou N₂O m⁻² h⁻¹); dC/dt corresponde à mudança na concentração de CH₄ ou de N₂O (mmol mol⁻¹) no intervalo de tempo t (min); M é o peso molecular do respectivo gás (g mol⁻¹); P é a pressão (atm) no interior da câmara (assumida como 1,0 atm); V e T correspondem ao volume (L) e a temperatura interna da câmara (K); R é a constante universal dos gases (0,08205 L atm K⁻¹ mol⁻¹) e A é a área da base da câmara (m²).

A taxa de aumento de gás no interior da câmara foi obtida pelo coeficiente angular da equação da reta ajustada entre a concentração dos gases e o tempo. As emissões totais do período foram calculadas pela integração da área sob as curvas obtidas pela interpolação dos valores diários de emissão de CH₄ e N₂O do solo (GOMES et al., 2009). Com base na emissão acumulada de CH₄ e de N₂O, foi calculado o potencial de aquecimento global parcial (PAGp), que considera o potencial de aquecimento de cada gás em relação ao CO₂ (25 vezes para o CH₄ e 298 para o N₂O). Os fluxos diários e as emissões totais de CH₄ e de N₂O foram analisados de forma descritiva (média ± desvio padrão).

Resultados e Discussão

As áreas sob preparo convencional e rolo-faca apresentaram pico máximo de emissão de metano nove dias após o início das avaliações, com valores de 192 e 340 g CH₄ ha⁻¹ h⁻¹, respectivamente. Na área sob preparo antecipado, a emissão máxima de metano ocorreu duas semanas após a dos demais sistemas e em magnitude muito menor (14 g CH₄ ha⁻¹ h⁻¹). Para todos os sistemas de preparo, as emissões significativas de metano estiveram restritas aos primeiros 56 dias de avaliação; após, essas foram praticamente nulas, com exceção da última época de avaliação (196 dias), onde se registraram picos menores de emissão do gás, associados a eventos concentrados de precipitação intensa (Figura 1a). No período restante de avaliação, os fluxos de CH₄ foram praticamente nulos, havendo, inclusive, registros de influxo desse GEE (Figura 1b). Atribui-se grande parte da variabilidade nas emissões de metano observadas entre os sistemas de preparo do solo à umidade do solo por ocasião da colheita do arroz, sendo que as condições de solo saturado (PC) e, particularmente, em presença de lâmina de água (RF) favoreceram a emissão de metano, relativamente ao solo seco (PA). Esta última foi proporcionada pela supressão antecipada da irrigação para o arroz e pelo estabelecimento de sistema de drenagem na área destinada ao preparo antecipado. Também a distribuição e magnitude dos eventos de chuva, que determinaram a ocorrência e duração de períodos de anaerobiose no solo, devem ter contribuído para as emissões de metano, visto que a produção desse GEE está associada à decomposição microbiana de materiais orgânicos, via fermentação, em ambientes anaeróbicos (CONRAD, 2002) e ao potencial redox do solo.

As emissões de óxido nitroso do solo oscilaram bastante durante o período de outono/inverno. Mas, em geral, apresentaram magnitude reduzida, especialmente na área sob preparo convencional, onde a emissão máxima, de 217 mg N₂O ha⁻¹ h⁻¹, ocorreu no 14º dia após o início das avaliações. Na área preparada com rolo-faca, foram

determinados alguns picos de emissão de óxido nitroso, dois deles superiores a $1000 \text{ mg N}_2\text{O ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$, aos 105 e 147 dias após o início das avaliações. Esses foram intercalados com picos menores e, inclusive, com fluxos negativos. Já na área sob preparo antecipado, as maiores emissões de óxido nitroso ocorreram no mês de junho, entre o 56° e 70° dia após o início das avaliações (Figura 1c). As emissões de óxido nitroso decorrem, principalmente, da aplicação de fertilizantes nitrogenados, estando associadas à alternância das condições de oxirredução do solo, que predispõe a ocorrência dos processos de nitrificação / desnitrificação (REDDY; DELAUNE, 2008).

Quanto à emissão total de metano na entressafra (Figura 2a), essa decresceu na seguinte ordem: rolo-faca ($170 \text{ kg CH}_4 \text{ ha}^{-1}$) > preparo convencional ($64 \text{ kg CH}_4 \text{ ha}^{-1}$) > preparo antecipado ($9 \text{ kg CH}_4 \text{ ha}^{-1}$). Apesar das diferenças entre os sistemas, as emissões medidas no outono/inverno foram relativamente baixas, considerando-se o potencial de emissão de metano do solo avaliado no período de cultivo do arroz. Este resultado é particularmente importante para os sistemas em que as áreas foram preparadas no outono (preparo antecipado e rolo-faca), uma vez que grande parte da palha do arroz foi decomposta durante a entressafra (outono/inverno), diminuindo o potencial de emissão de metano durante a próxima estação de cultivo de arroz. A emissão total de óxido nitroso foi muito baixa, para os preparos com rolo-faca ($1,1 \text{ kg ha}^{-1}$) e antecipado ($0,9 \text{ kg ha}^{-1}$), e nula, para o preparo convencional (Figura 2b). As baixas emissões de N_2O no outono-inverno devem estar associadas ao baixo conteúdo de nitrogênio da palha do arroz.

O metano foi o principal componente para o potencial de aquecimento global parcial (PAGp) dos sistemas de preparo do solo avaliados, sendo o componente único do preparo convencional (Figura 2c). A comparação entre os sistemas mostra que o preparo com rolo-faca apresentou maior PAGp ($4578 \text{ kg CO}_2 \text{ equiv. ha}^{-1}$) na entressafra, bastante superior ao dos preparos convencional ($1604 \text{ kg CO}_2 \text{ equiv. ha}^{-1}$) e antecipado ($500 \text{ kg CO}_2 \text{ equiv. ha}^{-1}$).

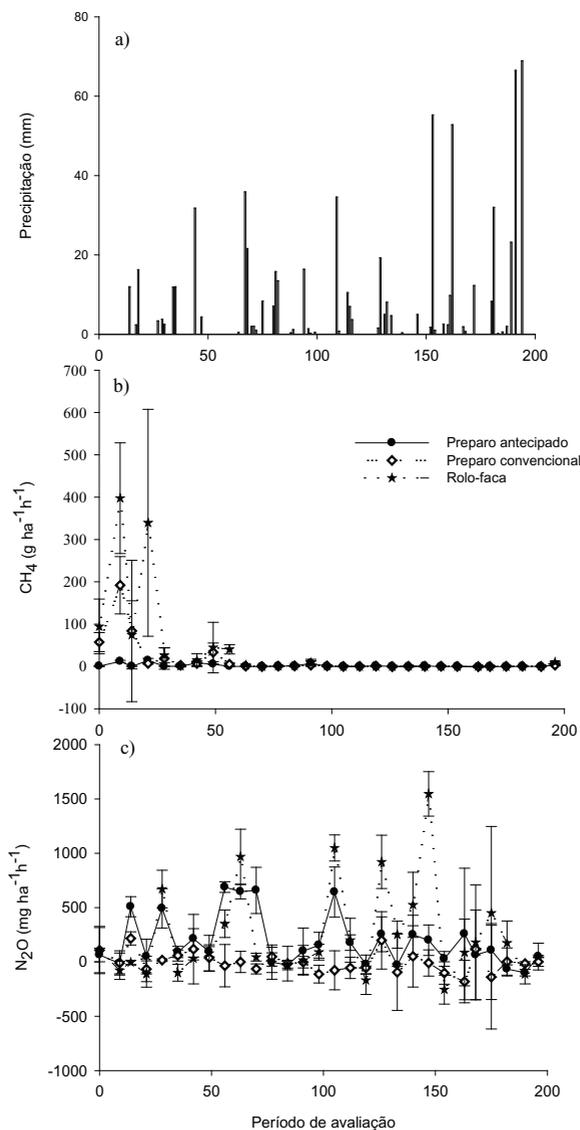


Figura 1. Precipitação pluviométrica (a) e fluxos de CH₄ (b) e de N₂O (c) em Planossolo durante o outono/inverno, sob distintos sistemas de preparo. Barras verticais representam o desvio padrão da média.

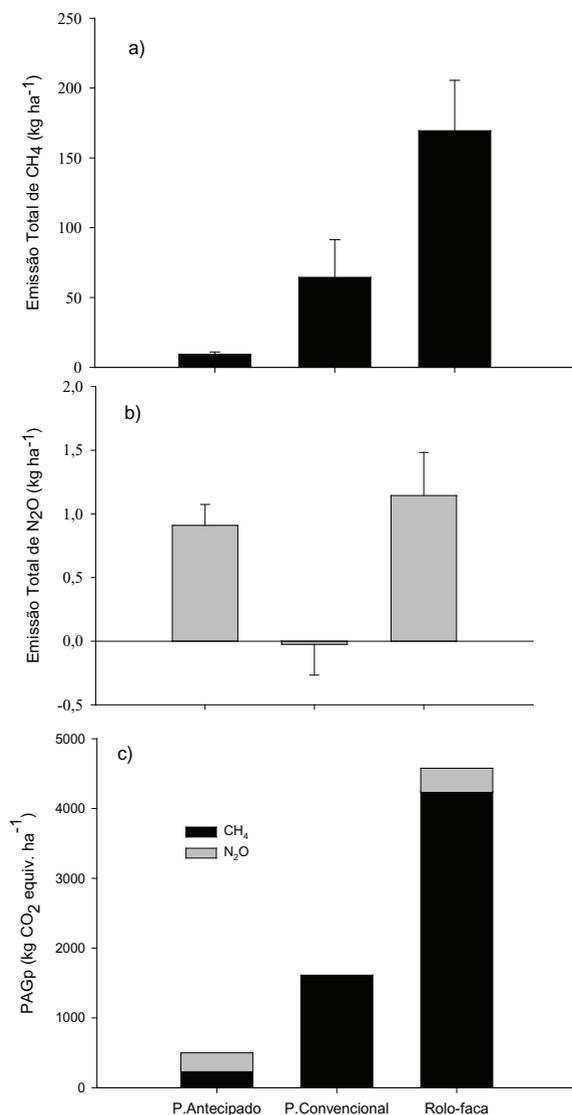


Figura 2. Emissão total de CH₄ (a), de N₂O (b) e o Potencial de Aquecimento Global parcial (c) em Planossolo durante o outono/inverno, sob distintos sistemas de preparo. Barras verticais representam o desvio-padrão da média.

Conclusões

A época e as operações de preparo do solo proporcionam potenciais distintos de emissão de metano e óxido nitroso durante o outono/inverno em Planossolo cultivado com arroz irrigado; as emissões de CH_4 decrescem na seguinte ordem: rolo-faca > preparo convencional > preparo antecipado e as emissões de N_2O : rolo-faca > preparo antecipado > preparo convencional.

Independentemente do sistema de preparo, o metano é o principal componente do potencial de aquecimento global parcial de Planossolo cultivado com arroz irrigado durante o período de entressafra.

Agradecimentos

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

Referências

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

BAYER, C.; CARVALHO, P. C. F.; DIECKOW, J.; AMADO, T. J. C.; AITA, C.; GIACOMINI, S. J.; ZANATTA, J. A.; VIEIRA, F. C. B.; NICOLOSO, R. da S.; SILVA, L. S.; SOUSA, R. O.; SCIVITTARO, W. B.; ZSCHORNACK, T. Pesquisa em gases de efeito estufa e oportunidades na agricultura de baixo carbono. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AGROPECUÁRIA SUSTENTÁVEL, 4,; CONGRESSO INTERNACIONAL DE AGROPECUÁRIA SUSTENTÁVEL, 1., 2012, Porto Alegre. **A sustentabilidade dentro de sistemas associativistas de produção: anais de palestras**. Porto Alegre: UFRGS, 2012. p. 84-105. IV SIMBRAS.

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.; MAIA, S. M. F.; GALDOS, M. V.; CERRI, C. E. P.; FEIGL, B. J.; BERNOUX, M. Brazilian greenhouse gas emissions: the importance of agriculture and livestock. **Scientia Agricola**, v. 66, n. 6, p. 831-843, 2009.

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 (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO). **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.

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.

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

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 trace 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. 1751-1775, 1996.

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

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

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

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**, The Hague, 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, GB3018, doi:10.1029/2004GB002251, 2004.

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

Embrapa

Clima Temperado

Ministério da
**Agricultura, Pecuária
e Abastecimento**

GOVERNO FEDERAL
BRASIL
PÁTRIA EDUCADORA

CGPE 12511