

Emissão de metano em área de arroz irrigado sob sistema pré-germinado em Pindamonhangaba, SP



**OBJETIVOS DE
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL**

13 AÇÃO CONTRA A
MUDANÇA GLOBAL
DO CLIMA



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Meio Ambiente
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

**BOLETIM DE PESQUISA
E DESENVOLVIMENTO
86**

Emissão de metano em área de arroz
irrigado sob sistema pré-germinado
em Pindamonhangaba, SP

*Magda Aparecida de Lima
Rosana Faria Vieira
Alfredo José Barreto Luiz
José Abrahão Haddad Galvão
Omar Vieira Villela*

Embrapa Meio Ambiente
Jaguariúna, SP
2019

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Meio Ambiente
Rodovia SP-340, Km 127,5, Tanquinho Velho
Caixa Postal 69, CEP: 13918-110, Jaguariúna, SP
Fone: +55 (19) 3311-2610
Fax: +55 (19) 3311-2640
www.embrapa.br/meio-ambiente/
SAC: www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações
da Embrapa Meio Ambiente

Presidente
Ana Paula Contador Packer

Secretária-Executiva
Cristina Tiemi Shoyama

Membros
*Rodrigo Mendes, Ricardo A. A. Pazianotto, Maria
Cristina Tordin, Daniel Terao, Victor Paulo Marques
Simão, Joel Leandro de Queiroga, Vera Lucia
Ferracini, Marco Antonio Gomes*

Revisão de texto
*Eliana de Souza Lima e Maria de Cleofas Faggion
Alencar*

Normalização bibliográfica
Maria de Cleofas Faggion Alencar

Projeto gráfico
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica
Silvana Cristina Teixeira

Foto da capa
Magda Aparecida de Lima

1ª edição eletrônica (2019)

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 Meio Ambiente

Emissão de metano em área de arroz irrigado sob sistema pré-germinado em
Pindamonhangaba, SP / Magda Aparecida de Lima, Rosana Faria Vieira,
Alfredo José Barreto Luiz, José Abrahão Haddad, Villela, Omar Vieira. –
Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente, 2019.

22 p. (Embrapa Meio Ambiente. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 86).

1. Metano 2. Arroz irrigado 3. Arroz inundado 4. Sistema pré-germinado 5.
Fator de emissão I. Lima, Magda Aparecida de Lima. II. Vieira, Rosana Faria. III.
Luiz, Alfredo José Barreto. IV. Galvão, Abrahão Haddad. V. Villela, Galvão Omar
Vieira. II. Série.

CDD 363.7

Maria de Cléofas Faggion Alencar, CRB-8/1658

© Embrapa, 2019

Sumário

Resumo	5
Abstract	6
Introdução.....	7
Material e Métodos	8
Resultados e Discussão	12
Conclusões.....	18
Referências	19

Emissão de metano em área de arroz irrigado sob sistema pré-germinado em Pindamonhangaba, SP

Magda Aparecida de Lima¹

Rosana Faria Vieira²

Alfredo José Barreto Luiz³

José Abrahão Haddad Galvão⁴

Omar Vieira Villela⁵

Resumo - Estudos locais de mensuração de fluxos de gases de efeito estufa em áreas agrícolas têm sido incentivados em âmbito global como base para subsidiar estimativas nacionais e estaduais de emissão. Face a esta demanda, um estudo foi conduzido a campo para quantificar o fator de emissão de metano em cultivo de arroz irrigado sob sistema pré-germinado, no município de Pindamonhangaba, SP, na safra de 2010/2011, utilizando o método de câmara fechada e cromatografia gasosa. Foram quantificados o fator de emissão de CH₄ (FE), o potencial de aquecimento global parcial (PAG_p) e o PAG_p escalonado pelo rendimento de grãos (PAG_pR). Estes parâmetros foram avaliados em 2,27 kg CH₄ ha⁻¹ dia⁻¹, 8,26 Mg CO₂eq ha⁻¹ por estação de crescimento e 1,13 kg CO₂eq kg⁻¹ grão, respectivamente. O fator de emissão de metano obtido nas condições estudadas foi quase duas vezes superior à média indicada pelo 2006 IPCC *Guidelines*, enquanto que os valores de PAG_p e PAG_pR foram inferiores à média encontrada nos estudos realizados no País. Os resultados demonstram a importância da quantificação local de emissão de metano em condições específicas de manejo da cultura do arroz, de modo a contribuir para o aprimoramento de estimativas nacionais e regionais de emissão.

Palavras-chave: arroz irrigado por inundação, sistema pré-germinado, fator de emissão de metano.

¹ Ecóloga, doutora em Geociências e Meio ambiente, pesquisadora da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP.

² Engenheira-agrônoma, doutora em Microbiologia Ambiental, pesquisadora da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP.

³ Engenheiro-agrônomo, doutor em Sensoriamento Remoto, pesquisador da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP.

⁴ Engenheiro-agrônomo, mestre em Fitopatologia, analista da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP.

⁵ Engenheiro-agrônomo, mestre em Fitotecnia e Exploração Vegetal, pesquisador aposentado da Apta, Pindamonhangaba, SP.

Methane emission in a flooded rice field under pre-germinated system in Pindamonhangaba, SP

Abstract - Local studies on measurement of greenhouse gas emission from agricultural areas have been encouraged at the global level as a basis for subsidizing national and state emission estimates. In the face of this demand, a field study was carried out to quantify the methane emission factor from cultivation of flooded rice under pre-germinated system, in the city of Pindamonhangaba, SP, during the 2010/2011 harvest, using the closed chamber method and gas chromatography. The CH₄ emission factor (EF), the partial global warming potential (*p*GWP) and the grain yield-scaled *p*GWP (*Yp*GWP) were quantified. These parameters were estimated at 2.27 kg CH₄ ha⁻¹ day⁻¹, 8.26 Mg CO₂eq ha⁻¹ growing season⁻¹ and 1.13 kg CO₂eq kg⁻¹ grain, respectively. The CH₄ emission factor obtained under the conditions studied is nearly twice the average indicated by the 2006 IPCC Guidelines while the *p*GWP and *Yp*GWP were lower than the average found in studies conducted in the country. The results demonstrate the importance of the methane emission quantification under specific management conditions of rice crop, in order to contribute to the improvement of national and regional emission estimates.

Key words: flooded rice, pre-germinated system, methane emission factor.

Introdução

O metano (CH_4) é um importante gás de efeito estufa com um potencial de aquecimento global 28 vezes superior ao do dióxido de carbono (CO_2) para um horizonte de 100 anos (Myhre et al. 2013). Mais de 50% da emissão global de metano é de origem antropogênica, sendo o arroz uma das principais fontes contribuintes (Ke et al., 2014).

A área cultivada com arroz no Brasil é de cerca 1,88 milhão de hectares (IBGE, 2019). A maior parte desta produção provém do cultivo de arroz irrigado por inundação mediante manejo contínuo de água. As emissões nacionais de CH_4 provenientes do setor agrícola brasileiro totalizam 12,42 Tg. Deste total, 0,46 Tg são atribuídos ao cultivo de arroz irrigado por inundação (Brazil, 2016).

Diferentes sistemas de cultivo de arroz irrigado são utilizados no país, entre eles, o sistema convencional, o plantio direto, o cultivo mínimo, o transplântio de mudas e o pré-germinado (Adequação..., 2014). A realização de estudos de mensuração local de CH_4 em cultivo de arroz irrigado em diferentes regiões climáticas e solos distintos mostra-se fundamental ao aprimoramento de estimativas nacionais e globais de emissão de gases de efeito estufa, por meio da determinação de fatores específicos de emissão deste gás. Embora vários estudos sobre a emissão de CH_4 em diferentes tipos de manejo de arroz irrigado tenham sido conduzidos no país (Costa et al., 2008; Silva et al., 2011; Bayer et al., 2014; Lima et al., 2014; Bayer et al., 2015), poucos têm sido reportados em arroz irrigado sob sistema pré-germinado (Lima et al., 2007; Eberhardt et al., 2009; Lima et al., 2019). Este tipo de manejo é utilizado em algumas regiões do país, como por exemplo, nos estados de Santa Catarina e São Paulo, e caracteriza-se pelo uso de sementes pré-germinadas em solo previamente inundado. No preparo do solo, há a necessidade da formação de barro, sendo que o nivelamento é realizado com o solo inundado (SOSBAI, 2007).

Atualmente, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa), no âmbito do Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas (Plano ABC) está organizando um levantamento de fatores de emissão de gases de efeito estufa (GEE) provenientes da agricultura brasileira. Esta iniciativa faz parte de uma ação de monitoramento dos avanços do Plano

ABC, sob coordenação do Mapa, com o propósito de reunir uma coletânea de dados nacionais, e assim, dar suporte e segurança científica às políticas públicas de fomento para uma agricultura sustentável.

No sentido de contribuir com informações para subsidiar bases de dados que sirvam a tal iniciativa e a futuros inventários nacionais e estaduais de emissão de GEE ou à aplicação em simulações de GEE, este estudo objetivou determinar o fator de emissão de CH₄ em cultivo de arroz irrigado por inundação, sob sistema pré-germinado, em uma área situada no Vale do Paraíba, principal região produtora de arroz irrigado no estado de São Paulo. Foram também determinados o potencial de aquecimento global parcial (PAG_p) e o potencial de aquecimento global escalonado pelo rendimento (PAG_{pR}), que são parâmetros importantes para futura comparação de sistemas de cultivo quanto ao impacto nas emissões.

Este trabalho é parte integrante dos resultados do Projeto "Quantificação de Fluxos de Gases de Efeito Estufa em Sistemas de Produção Agrícola na Região Sudeste do país – Bases para Modelagem de Gases de Efeito Estufa na Agricultura", financiado pelo Banco Mundial (The World Bank/ EMBRAPA/2010/04930).

Material e Métodos

Área experimental

O estudo foi realizado na Estação Experimental do Polo Regional do Vale do Paraíba da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (Apta), em Pindamonhangaba, SP, situada em Latitude de 22°57'53" S e Longitude 45°27'04" W a uma altitude de 556 metros (**Figura 1**). Este município é um dos principais produtores de arroz irrigado no estado de São Paulo (Lima; Villela, 2016; IBGE, 2019). O clima da região é Cwa, de acordo com a classificação de Köppen, sendo caracterizado por clima tropical de altitude com temperatura média do mês mais quente superior a 22°C, temperatura média do mês mais frio inferior a 18°C, verão quente e úmido e inverno seco.

A precipitação média anual é de 1.334 mm (Villela; Furlani Junior, 1996). O solo foi classificado como um Gleissolo Háplico (Embrapa, 2013). As análises físicas foram realizadas de acordo com Silva (2009), e os conteúdos totais de C (TC) e N total (TN) foram determinados utilizando um analisador elementar de C e N da marca Leco, modelo Truspec CN (**Tabela 1**).



Figura 1. Representação esquemática, sem escala, da localização da área de estudo na Estação Experimental do Polo Regional do Vale do Paraíba, da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (Apta), Pindamonhangaba, SP.

O experimento foi conduzido em área de cultivo de arroz irrigado em sistema pré-germinado a lanço, na safra de 2010/2011, constituindo-se apenas de um único tratamento, com quatro réplicas, em uma quadra de um hectare. A palha foi previamente incorporada ao solo após a colheita anterior. Foi utilizado manejo de água contínuo ao longo da estação de crescimento do arroz.

Tabela 1. Características físicas e conteúdo de C e N do solo estudado.

Camada	Areia %	Silte %	Argila %	Densidade g cm ⁻³	Porosidade %	C g kg ⁻¹	N g kg ⁻¹
0 -10 cm	39,4±2,5	24,9±2,4	35,6±0,3	1,3±0,3	38,0±1,6	12,9±0,8	1,4±0,1
10-20 cm	23,8±6,4	31,1±5,2	45,0±1,3	1,4±0,1	40,1±1,7	10,7±0,7	1,2±0,1

Plantio do arroz

A variedade IAC 105, de ciclo médio (125 dias), foi utilizada na densidade de 140 kg de semente por hectare. Para o preparo do solo e formação do barro, a área foi inundada três dias antes da semeadura, a qual ocorreu em 10/01/2011, com a emergência observada em 14/01/2011, correspondendo a sete dias após a inundação (7 DAI). A inundação permanente foi realizada em 25/01/2011 (18 DAI) com a lâmina de água mantida em 15 cm, em média. Foram realizadas drenagens para aplicação de herbicidas e de fertilizantes. Pulverizações com o herbicida Ricer (200 ml ha⁻¹) foram feitas aos 5 e 17 DAI. Na segunda ocasião foram também aplicados 4 g ha⁻¹ do herbicida Ally. A adubação foi feita aos 47 DAI, no estádio V11, e aos 68 DAI, entre os estádios R1 e R2 (Counce et al., 2000). Na primeira data foram aplicados 170 kg de NPK ha⁻¹ na fórmula 20-00-20 (34 kg N, 0 kg de P₂O₅ e 34 kg de K₂O). Na segunda foram aplicados 210 kg de NPK ha⁻¹ na formulação 20-00-20 (42 kg de N, 0 kg P₂O₅ e 42 kg de K₂O). A ureia e o cloreto de potássio foram utilizados como fontes de N e de K, respectivamente, nas duas fertilizações. A floração ocorreu aos 91 DAI e a maturação aos 121 DAI. A drenagem foi feita aos 124 DAI e a colheita aos 137 DAI.

Mensuração de CH₄

Para a coleta de amostras de ar foi utilizado o método de câmara fechada (Sass, 1991a; 1991b; IAEA, 1992; Lima et al., 2018). Foram utilizadas câmaras de 60 cm x 60 cm confeccionadas em alumínio e material interno isolante. As câmaras foram compostas de três partes: base, extensores e tampa

provida de sensor de temperatura, ventiladores e septo para amostragem. As bases foram instaladas no solo (aproximadamente a 5 centímetros de profundidade), permanecendo fixas durante todo o período de avaliação de emissão de CH₄. No decorrer do crescimento do arroz, extensores da câmara de coleta foram utilizados, mantendo um espaço entre a planta e a tampa da câmara. Foram realizadas 21 amostragens de gases ao longo da estação de crescimento do arroz, e quatro amostragens após a colheita, entre 10 h e 12 h. Em cada coleta amostras de ar da câmara foram retiradas aos 5, 10, 15, 20 e 25 minutos (Sass et al., 2002), utilizando seringas plásticas de 60 ml (Becton, Dickinson & Company, BD). Amostras no tempo zero foram tomadas fora das câmaras, a cerca de um metro de altura da lavoura de arroz.

As análises foram feitas em um cromatógrafo a gás da marca Shimadzu GC-2014 (Shimadzu Co., Columbia, MD, EUA). Os fluxos de CH₄ foram calculados pela equação (Bayer et al., 2014):

$$F = \frac{\Delta C}{\Delta t} \frac{MPV}{RT} \frac{1}{A}$$

Onde:

F representa o fluxo de CH₄ (g m⁻² h⁻¹); P é a pressão média da atmosfera na câmara (assumiu-se como sendo 1 atm); M é a massa molecular do CH₄ (16,123 g mol⁻¹); A é a área da base da câmara (m²); R é a constante universal do gás (0,08205 atm l mol⁻¹ °K⁻¹); T é a temperatura dentro da câmara durante a amostragem em graus Kelvin (°K); V é o volume da câmara (L); $\Delta C/\Delta t$ é a diferença da concentração de CH₄ (ΔC) durante o tempo de amostragem (Δt).

Os fluxos de emissão de CH₄ gerados em cada medida foram convertidos para mg m⁻² d⁻¹ e integrados para produzir uma estimativa da emissão sazonal (ES), que se refere à emissão acumulada durante a estação de crescimento do arroz. O fator de emissão de CH₄ foi calculado por meio da divisão da ES pelo número de dias do ciclo da planta, sendo expresso em kg CH₄ ha⁻¹ dia⁻¹. Foi também calculado o potencial de aquecimento global parcial (PAG_p), expresso em kg CO₂eq ha⁻¹, por meio da multiplicação da ES de CH₄ e o potencial de forçamento radiativo (PAG_p_{CH₄} = CH₄ * 28), de acordo com IPCC (2014). O potencial de aquecimento global relativo ao rendimento

(PAG ρ R) foi calculado pela relação entre o PAG ρ e o rendimento do arroz (Bayer et al., 2014).

Durante as coletas de gases foram registradas as temperaturas do ar a um metro acima do solo, da água de inundação e do solo (5 cm de profundidade), utilizando um termômetro Full Gauge de 5 pontas. As temperaturas do ar no interior de cada câmara foram obtidas com termômetros digitais e utilizadas para o cálculo dos fluxos de CH₄. Dados de pH e de Eh do solo foram registrados utilizando pHmetro digital da marca Digimed. As alturas das plantas foram medidas em cada dia de amostragem até a floração, com o auxílio de uma régua. Dados climatológicos da região foram obtidos da estação meteorológica da Apta Vale Paraíba.

Análise estatística

Foram determinados os coeficientes de correlação linear entre as variáveis ambientais medidas em campo e o fluxo de CH₄ utilizando o procedimento CORR do programa SAS (SAS Institute Inc., 2011). O coeficiente de variação (CV) foi determinado para os fluxos cumulativos de CH₄ para comparação da variabilidade entre as repetições.

Resultados e Discussão

Os dados relativos às temperaturas máximas e mínimas e ao total de chuvas ocorridas ao longo do período experimental são apresentados na **Figura 2**. O total de chuva verificado no período da safra de 2010/2011 foi de 681 mm, concentrando-se nos meses de fevereiro e março, e as temperaturas médias máximas e mínimas foram de 30,1 °C e 18,6 °C, respectivamente. Os valores registrados de temperatura do ar, da água, do solo a 5 cm de profundidade e de altura da planta (medida até a floração), em cada data de amostragem, são apresentados na **Figura 3A**. Os dados relativos ao pH e ao Eh do solo estão descritos na **Figura 3B**.

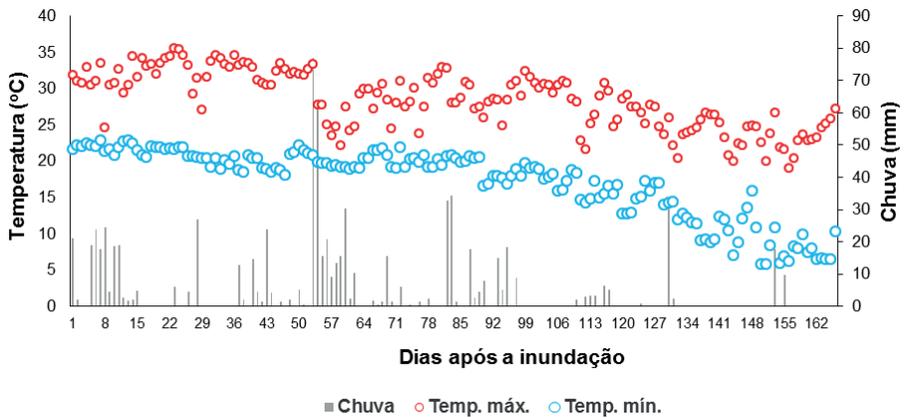


Figura 2. Dados de temperaturas máximas e mínimas e total de chuvas, registrados em estação meteorológica, no período da estação de crescimento do arroz. Fonte: Apta/Polo Regional do Vale do Paraíba, Pindamonhangaba, SP.

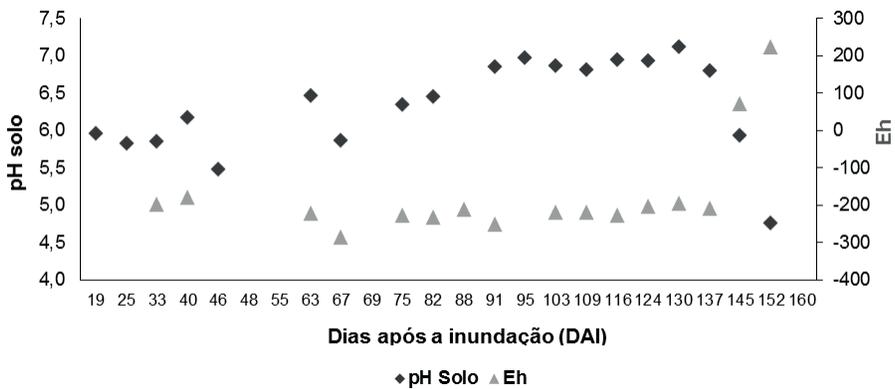
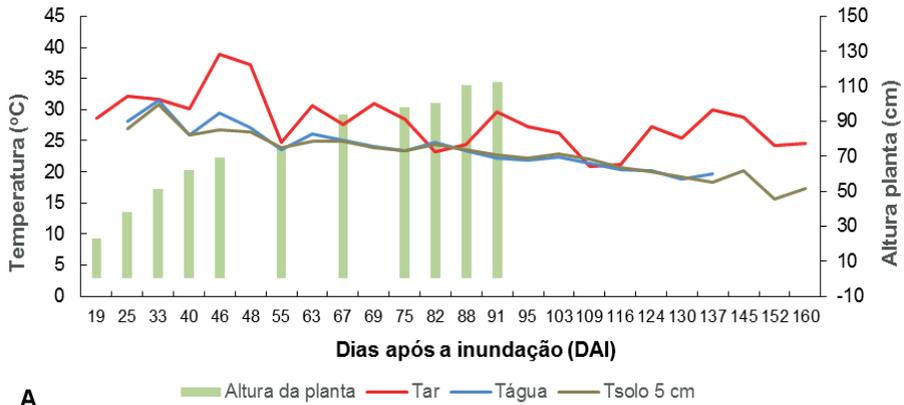


Figura 3. Dados de temperaturas do ar (Tar), da água (Tágua), do solo a 5 cm de profundidade (Tsolo) e alturas de plantas, medidas ao longo do cultivo do arroz, sob sistema pré-germinado, em Pindamonhangaba, SP (**A**). Valores de pH e de potencial de óxido-redução (Eh) do solo (**B**).

As emissões de CH_4 elevaram-se progressivamente com o crescimento da planta, atingindo a maior taxa no estágio de emborrachamento (R2, segundo Counce et al., 2000), aos 81 DAI (**Figura 4**). Este aumento pode estar relacionado ao maior número de perfilhos nesta fase de crescimento, que resultaria em uma maior capacidade de transporte de CH_4 devido à crescente expansão do sistema de aerênquimas (Jia et al., 2001; Kim et al., 2018). Segundo Aulakh et al. (2000), grande parte da emissão de CH_4 observada em cultivo de arroz (60-90%) é derivada de seu transporte pelo aerênquima das plantas de arroz. Segundo os autores, a menor capacidade de transporte de CH_4 ocorreria na fase inicial da planta, aumentando gradualmente até a fase reprodutiva. Na maturação do arroz, as emissões de CH_4 decresceriam em função do colapso das lacunas de aerênquima e ao simultâneo bloqueio de seus canais (Aulakh et al., 2001).

Características morfofisiológicas das plantas podem influenciar as emissões de CH_4 , entre elas a altura (Lindau et al., 1995; Ding et al., 1999) e a produção de biomassa (Wang et al., 1997; Mitra et al., 1999), a qual propiciaria uma maior exsudação radicular, favorecendo a produção e a emissão de CH_4 para a atmosfera. No presente estudo, o crescimento do arroz, avaliado pela altura das plantas, apresentou uma correlação positiva e significativa com a emissão de CH_4 ($r = 0,7279$, $p = 0,011$) (**Tabela 2**).

Os aumentos de CH_4 ao longo do crescimento do arroz podem ter sido também influenciados pela aplicação de fertilizantes, que ocorreu aos 47 e 68 DAI. Embora não exista um consenso sobre os efeitos de fertilizantes nitrogenados nas emissões de CH_4 nas lavouras de arroz irrigado (Xie et al., 2010; Dong et al., 2011), vários estudos demonstraram que a adição de fertilizantes nitrogenados aumentou as emissões de CH_4 em solo cultivado com arroz (Banik et al., 1996; Shang et al., 2011). Isto poderia, possivelmente, ser resultante da maior produção de biomassa da planta decorrente da adição de nutrientes ao solo (Banger et al., 2012).

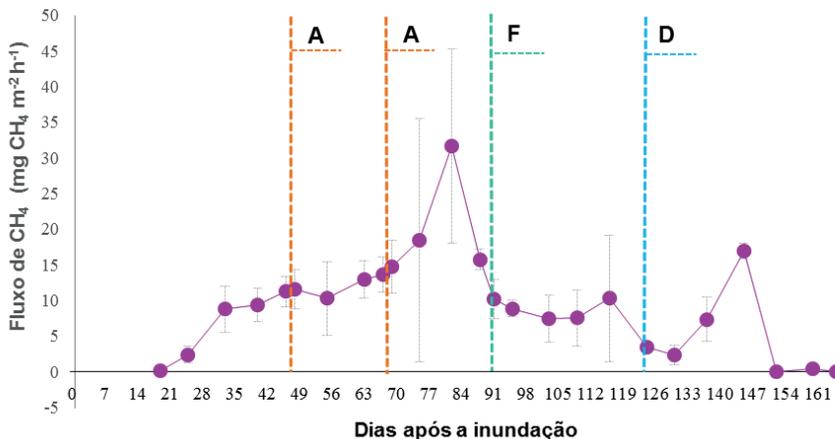


Figura 4. Fluxos de CH₄ na safra de 2010/2011 em cultivo de arroz irrigado, sob sistema pré-germinado, em Pindamonhangaba, SP. A = Adubação, F = Florescimento, D = Drenagem. Barras verticais: desvio padrão.

Tabela 2. Coeficientes de correlação de Pearson (r), número de observações (n) e significância ($\text{Prob} > |r|$) entre fluxos diários de CH₄ e variáveis ambientais, Pindamonhangaba, SP, 2011.

	n	r	$\text{Prob} > r $
Dias após a germinação	24	-0,1685	0,431
pH do solo	20	0,0358	0,881
Eh	16	-0,4370	0,091
Temperatura do ar	24	0,0044	0,984
Temperatura da água	21	0,0624	0,788
Temperatura do solo a 5 cm	23	0,3618	0,090
Altura das plantas	11	0,7279	0,011

Verifica-se ainda na **Figura 4** que, após a colheita do arroz, realizada aos 137 DAI, foi observado um último pico de emissão, aos 145 DAI. Este aumento foi atribuído à provável liberação do CH_4 aprisionado no solo, que ocorreria durante seu processo de secagem (Denier van der Gon et al., 1996; Wassmann et al., 1996; Jain et al., 2000). A partir de 152 dias, os fluxos mostraram-se quase nulos, e alguns influxos (que caracterizam o consumo de CH_4), foram observados em algumas câmaras. A emissão média diária de CH_4 durante todo o ciclo do arroz (desde a germinação até a colheita) foi estimada em $225,28 \pm 34,34 \text{ mg de } \text{CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (CV: 15,24 %) e a emissão acumulada durante a estação foi de $29,51 \pm 4,50 \text{ g } \text{CH}_4 \text{ m}^{-2}$ (CV: 15,25%). Utilizando também sistema pré-germinado, estudos realizados em Itajaí, SC, encontraram emissões sazonais médias de CH_4 superiores à registrada neste estudo, com $68,84 \text{ g } \text{CH}_4 \text{ m}^{-2}$ em solo mineral e $138,21 \text{ g } \text{CH}_4 \text{ m}^{-2}$ em solo orgânico (Lima et al., 2007), e $61,05 \text{ g } \text{CH}_4 \text{ m}^{-2}$ em solo mineral (Eberhardt et al., 2009). Sabe-se que parâmetros climáticos (Sass et al., 1991a), variedade utilizada (Silva et al., 2014), propriedades do solo (Sass et al., 1994), entre outros fatores, podem influenciar as emissões sazonais de metano, e, por isso, faz-se essencial a sua quantificação em campo sob diferentes condições ambientais e variáveis agrônomicas.

O PAG parcial (PAG_p) foi estimado em $8,26 \text{ Mg CO}_2\text{eq ha}^{-1}$ por estação de crescimento, e o PAG_{pR} escalonado pelo rendimento ($7,3 \pm 0,3 \text{ t ha}^{-1}$), em $1,13 \text{ kg CO}_2\text{eq kg}^{-1}$ grão. O PAG_p foi inferior aos valores encontrados por Bayer et al. (2014), os quais relataram $13,3$ e $10,3 \text{ Mg CO}_2\text{eq ha}^{-1}$ por estação de crescimento para sistema de plantio convencional e plantio direto, respectivamente. Por outro lado, Zschornack et al. (2016) avaliaram em $10,7$ e $6,8 \text{ Mg CO}_2\text{eq ha}^{-1}$ por estação de crescimento, para sistema de inundação contínua e irrigação intermitente, respectivamente. Esses resultados evidenciam o impacto de diferentes tipos de manejo do solo e da água no potencial de aquecimento global. O PAG_{pR} também apresentou valor inferior à média encontrada entre experimentos realizados no País, de aproximadamente $1,6 \text{ kg CO}_2\text{eq kg}^{-1}$ grão⁻¹ (Lima et al., 2007; Eberhardt et al., 2009; Moterle et al., 2013; Bayer et al., 2014; Bayer et al., 2015; Zschornack et al., 2016). O valor obtido para o FE foi de $2,27 \text{ kg } \text{CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, valor este 1,7 vezes maior que o fator médio indicado na Tabela 5.11 do 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (IPCC, 2006), de $1,3 \text{ kg de } \text{CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$. Apesar dessa diferença, Wang et al. (2018), ao analisarem

dados globais de emissão de metano pela cultura do arroz, ajustaram um modelo linear misto, que estimou a emissão média no Brasil em $1,62 \text{ kg CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, com o intervalo de confiança de 95% variando de $1,10$ a $2,40 \text{ kg CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, o que está de acordo com o valor encontrado no presente experimento. Entretanto, Lima et al. (2019) encontraram um valor de $6,51 \text{ kg CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ para sistema pré-germinado em uma fazenda em Tremembé, SP, reforçando a importância da mensuração de gases em condições de campo, visando ao aprimoramento de estimativas globais por meio de modelagem.

Conclusões

Para as condições ambientais descritas, e sob cultivo de arroz irrigado em sistema pré-germinado, foi obtido o fator de emissão de CH_4 de $2,27 \text{ kg CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, taxa esta 1,7 vezes maior que o fator médio indicado pelo *2006 IPCC Guidelines*. Os resultados de *PAGp* e o *PAGpR* foram inferiores à média de valores obtidos em estudos de mensuração realizados no País, apesar de se tratar de um sistema com maior tempo de inundação do solo desde a germinação, que caracteriza o sistema pré-germinado. Embora este sistema esteja associado a valores mais elevados de fatores de emissão, com base na literatura, há que se investigar as variações anuais e o efeito de diferentes propriedades do solo, clima, manejo do solo e da cultura, tipo de cultivar e outras condições específicas do cultivo, para uma avaliação comparativa de fatores de emissão. Os resultados deste estudo mostram a importância de se quantificar as taxas locais de emissão de CH_4 , de modo a contribuir para as bases de dados necessárias ao aprimoramento de inventários nacionais e regionais de emissão deste gás, bem como para a análise de incertezas dessas emissões.

Referências

- ADEQUAÇÃO da área e sistemas de cultivo. In: REUNIÃO TÉCNICA DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 30., 2014, Bento Gonçalves. **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o su2796l do Brasil**. Santa Maria, RS: SOSBAI, 2014. p. 61-67.
- AULAKH, M. S.; BODENBENDER, J.; WASSMANN, R.; RENNENBERG, H. Methane transport capacity of rice plants: I. Influence of methane concentration and growth stage analyzed with an automated measuring system. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 58, p. 357-366, 2000.
- AULAKH, M. S.; WASSMANN, R.; BUENO, C.; RENNENBERG, H. Impact of root exudates of different cultivars and plant development stages of rice (*Oryza sativa* L.) on methane production in a paddy soil. **Plant and Soil**, v. 230, p.77–86, 2001.
- BANGER, K.; TIAN, H.; LU, C. Do nitrogen fertilizers stimulate or inhibit methane emissions from rice fields? **Global Change Biology**, v. 18, p. 3259-3267, 2012.
- BANIK, A. SEN, M., SEN, S. P. Effects of inorganic fertilizers and micronutrients on methane production from wetland rice (*Oryza sativa* L.). **Biology and Fertility of Soils**, v. 21, p. 319-322, 1996.
- BAYER, C.; COSTA, F. S.; PEDROSO, G. M.; ZSCHORNACK, T.; CAMARGO, E. S.; LIMA, M. A.; FRIGHETO, R. T. S.; GOMES, J.; MARCOLIN, E.; MACEDO, V. R. M. Yield-scaled greenhouse gas emissions from flood irrigated rice under long-term conventional tillage and no-till systems in a Humid Subtropical climate. **Field Crops Research**, v. 162, p. 60-69, 2014.
- BAYER, C.; ZSCHORNACK, T.; PEDROSO, G. M.; ROSA, C. M. da; Camargo, E. S.; BOENI, M.; MARCOLIN, E.; REIS, C. E. S. dos; SANTOS, D. C. dos. A seven-year study on the effects of fall soil tillage on yield-scaled greenhouse gas emission from flood irrigated rice in a humid subtropical climate. **Soil & Tillage Research**, v. 145, p. 117-125, 2015.
- BRAZIL. Ministry of Science, Technology and Innovation. Secretariat of Policies and Programs of Research and Development. General Coordination of Global Climate Change. **Third national communication of Brazil to the United Nations framework convention on climate change: executive summary**. Brasília: Ministry of Science, Technology and Innovation, 2016. 40p.
- COSTA, F. S.; CIMÉLIO, B.; LIMA, M. A. de; SHIRAISHI, R. T.; MUSSOI, V. R.; MARCOLIN, 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.
- COUNCE, P. A.; KEISLING, T. C.; MITCHELL, A. J. A Uniform, Objective, and adaptive system for expressing rice development. **Crop Science**, v. 40, p. 436-443, 2000.
- DENIER VAN DER GON, H. A. C.; VAN BREEMEN, N.; NEUE, H.-U.; LANTIN, R. S.; ADUNA, J. B.; ALBERTO, M. C. R.; WASSMANN, R. Release of entrapped methane from wetland rice fields upon soil drying. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 10, p. 1-7, 1996.
- DING, A.; WILLIS, C. R.; SASS, R. L.; FISHER, F. M. Methane emissions from rice fields: effect of plant height among several rice cultivars. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 13, n. 1045-1052, 1999.
- DONG, H.; YAO, Z.; ZHENG, X.; MEI, B.; XIE, B.; WANG, R.; ZHU, J. Effect of ammonium based non-sulfate fertilizers on CH₄ emissions from a paddy field with a typical Chinese water management regime. **Atmospheric Environment**, v. 45, p. 1095-1101, 2011.
- EBERHARDT, D. S.; LIMA, M. A. de; ANDRADE, S. A. L. de; PESSOA, M. C. P. Y.; NOLDIN, J. A.; OLIVEIRA, L. C. de. Emissão de metano em arroz irrigado em Santa Catarina. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 6, 2009, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre, v. 1, p. 163-166. 2009.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3ed. Brasília: EMBRAPA, 2013. 353p.

IAEA. **Manual on measurement of methane and nitrous oxide emissions from agriculture**. Vienna, Austria: FAO, IAEA, 1992. 88 p. (IAEA-TECDOC-674). Disponível em: <https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/24/019/24019160.pdf?r=1&r=1>. Acesso em: 29 out. 2019.

IBGE. SIDRA. **Tabela 1618: área plantada, área colhida e produção, por ano da safra e produto das lavouras**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1618#resultado>>. Acesso: 27 mar. 2019.

IPCC. **2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories**. Kanagawa: IGES, 2006. 5 v. Disponível em: <<https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>>. Acesso em: 29 out. 2019.

IPCC. **Climate Change 2014: synthesis report**. Geneva, Switzerland: IPCC, 2014. 151 p. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf>. Acesso em: 29 out. 2019.

JAIN, M. C.; KUMAR, S.; WASSMANN, R.; MITRA, S.; SINGH, S. D.; SINGH, J. P.; SINGH, R.; YADAV, A. K.; GUPTA, S. Methane emissions from irrigated rice fields in northern India (New Delhi). **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 58, p. 75-83, 2000.

JIA, Z. J.; CAI, Z. C.; XU, H.; LI, X. P. Effect of rice plants on CH₄ production, transport, oxidation and emission in rice paddy soil. **Plant and Soil**, v. 230, n. 2, p. 211-221, 2001.

KE, X.; LU, Y.; CONRAD, R. Different behaviour of methanogenic archaea and Thaumarchaeota in rice field microcosms. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 87, n.1, p. 18-29, 2014.

KIM, W.-J.; BUI, L.T.; CHUN, J.-B.; MCCLUNG, A. M.; BARNABY, J. Y. Correlation between methane (CH₄) emissions and root aerenchyma of rice varieties. **Plant Breeding and Biotechnology**, v. 6, n.4, p. 381-390, 2018.

LIMA, M. A. de, EBERHARDT, D. S., PESSOA, M. C. P. Y., FRIGHETTO, R. T. S.; NOLDIN, J. A.; VALÉRIO NETO, S.; PLEC, D. F.; MALBURG, L. C.; PINHEIRO, G. F.; OLIVEIRA, D. N. S.; BACCAN, M. Emissão de metano em lavouras de arroz irrigado sob sistema pré-germinado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 5., 2007, Pelotas. **Anais... Pelotas: Embrapa Clima Temperado**, 2007. v.1. p.417-419, 2007.

LIMA, M. A. de; FRIGHETTO, R. T. S.; VILLELA, O. V.; COSTA, F. de S.; BAYER, C.; MACEDO, V. R. M.; MARCOLIN, E. Methane emissions in flooded rice cultivation. In: BODDEY, R. M. et al. (Ed.). **Carbon stocks and greenhouse gas emissions in Brazilian agriculture**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. Chapter 6.

LIMA, M. A. de; PAZIANOTTO, R. A. A.; VILLELA, O. V.; PARAÍBA, L. C. Diurnal variation of methane emission from a paddy field in Brazilian Southeast. **Ciência Rural**, v. 48, n. 4, p. 1-7, 2018.

LIMA, M. A. de; VIEIRA, R. F.; FRIGHETTO, R. T. S.; LUIZ, A. J. B.; VILLELA, O. V. Methane emission from a flooded rice field under pre-germinated system. **Ciência Rural**, v. 49, n. 11, p. 1-6, 2019.

LIMA, M. A. de.; VILLELA, O. **Estimativa de emissão de metano proveniente da cultura de arroz inundado no estado de São Paulo: aplicação do método do IPCC de 2006**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2016. 35 p. (Documentos, 103).

LINDAU, C. W.; BOLLICH, P. K.; DELAUNE, R. D. Effect of rice variety on methane emission from Louisiana rice. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 54, p. 109-114, 1995.

- MITRA, S.; JAIN, M. C.; KUMAR, S.; BANDYOPADHYAY, S. K.; KALRA, N. Effect of rice cultivars on methane emission. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 73, p. 177-183, 1999.
- MOTERLE, D. F.; SILVA, L. S. da; MORO, V. J.; BAYER, C.; ZSCHORNACK, T.; ÁVILA, L. A. de; BUNDT, A. C. Methane efflux in rice paddy field under diferente irrigation managements. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 2, p. 431-437, mar./abr. 2013.
- MYHRE, G., D. SHINDELL, F.-M. Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In: STOCKER, T.F.; D. QIN, G.-K.; PLATTNER, M.; TIGNOR, S. K.; ALLEN, J.; BOSCHUNG, A.; NAUELS, Y.; 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 Press, 2013. p. 659-740.
- SAS INSTITUTE INC. **SAS/STAT® 9.3 User's Guide**. Cary, NC: SAS Institute Inc., 2011.
- SASS, R. L.; FISHER, F. M.; ANDREWS, J. A. Spatial variability in methane emissions from a Texas rice field with some general implications. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 16, p. 15-115-7, 2002.
- SASS, R. L.; FISHER, F. M.; HARCOTBE, P. A.; TURNER, F. T. Mitigation of methane emissions from rice fields: possible adverse effects of incorporated rice straw. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 5, n. 275-287, 1991b.
- SASS, R. L.; FISHER, F. M.; LEWIS, S. T.; JUND, M. F.; TURNER, F. T. Methane emission from rice fields: effect of soil properties. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 8, p. 135-140, 1994.
- 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, 1991a.
- SHANG, Q. Y.; YANG, X. X.; GAO, C. M.; WU, P. P.; LIU, J. J.; XU, Y. C.; SHEN, Q. R.; ZOU, J. W., GUO, S. W. Net anual global warming potential and greenhouse gas intensity in Chinese double rice-cropping systems: a 3-year field measurement in long-term fertilizer experiment. **Global Change Biology**, v. 17, p. 2196-2210, 2011.
- SILVA, L. S.; MOTERLE, D. F.; OLIVEIRA, J. M. S. de The impact of different rice cultivars on soil methane emissions. In: OELBERMANN, M. (Ed.). **Sustainable agroecosystems in climate mitigation**. Wageningen: Wageningen Academic Publishers, 2014. p. 87-98.
- SILVA, L. S. da; GRIEBELER, G.; MOTERLE, D. F.; BAYER, C.; ZSCHORNACK, T.; POCOJESKI, E. Dinâmica da emissão de metano em solos sob cultivo de arroz irrigado no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 473-481, 2011.
- SILVA, F. C. da (Ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 627 p.
- SOSBAI, 5; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 27., 2007, Pelotas. **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**. Pelotas: SOSBAI, 2007. 161 p.
- VILLELA, O. V.; FURLANI JUNIOR, E. Cultivares de arroz e idade de mudas para transplântio. **Bragantia**, v. 55, n.2, 329-339, 1996.
- WANG, J.; AKIYAMA, H.; YAGI, K.; YAN, X. Controlling variables and emission factors of methane from global rice fields. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 18, p. 10419-10431, 2018.
- WANG, B.; NEUE, H. U.; SAMONTE, H. P. Effect of cultivar difference ("IR72", "IR65598" and "DULAR") on methane emission. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 62, n. 1, p. 31-40, 1997.

WASSMANN, R.; NEUE, H. U.; ALBERTO, M. C.; LANTIN, R. S.; BUENO, C.; LLENARESAS, D.; ARAH, J. R.; PAPEN, H., SEILER, W., RENNENBERG, H. Fluxes and pools of methane in wetland rice soils with varying organic inputs. **Environmental and Monitoring Assessment**, v. 42, p. 163-173, 1996.

XIE, B.; ZHENG, X.; ZHOU, Z.; GU, J.; ZHU, B.; CHEN, X.; SHI, Y.; WANG, Y.; ZHAO, Z.; LIU, C.; YAO, Z.; ZHU, J. Effects of nitrogen fertilizer on CH₄ emission from rice fields: multi-site field observations. **Plant and Soil**, v. 326, p. 393-401, 2010.

ZSCHORNACK, T.; DA ROSA, C. M.; PEDROSO, G. M.; MARCOLIN, E.; DA SILVA, P. R. F.; BAYER, C. Mitigation of yield-scaled greenhouse gas emissions in subtropical paddy rice under alternative irrigation systems. **Nutrient Cycling Agroecosystems**, v. 105, p. 61-73, 2016.

Embrapa

Meio Ambiente

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



PÁTRIA AMADA
BRASIL
GOVERNO FEDERAL

CGPE número 15513