



Emissão de metano em cultivo de arroz irrigado sob sistema pré-germinado



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

**BOLETIM DE PESQUISA
E DESENVOLVIMENTO
91**

**Emissão de metano em cultivo de arroz
irrigado sob sistema pré-germinado**

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

**Embrapa Meio Ambiente
Jaguariúna, SP
2021**

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/
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, Victor P. M. Simão, Eliana de Souza
Lima, Rafaela C R. M. Duarte, Fagoni F. Calegario,
Geraldo Stachetti Rodrigues, Vera Lucia Ferracini,
Ana Lucia Penteado*

Revisão de texto
Eliana de Souza Lima

Normalização bibliográfica
Maria de Cléofas Faggion Alencar, CRB-8/1658

Projeto gráfico
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica
Silvana Cristina Teixeira

Foto da capa
Magda Aparecida de Lima

1ª edição eletrônica (2021)

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

Lima, Magda Aparecida de

Emissão de metano em cultivo de arroz irrigado sob sistema pré-germinado /
Magda Aparecida de Lima, Rosana Faria Vieira, Alfredo José Barreto Luiz, José
Abraão Haddad Galvão. – Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2021.

PDF (26 p.) il. Color. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Meio
Ambiente, ISSN 1516-4675, 91).

1. Arroz irrigado por inundação 2. Sistema pré-germinado 3. Fator de emissão
de metano 4. PAGp 5. PAGpR I. Vieira, Rosana Faria. II. Luiz, Alfredo José
Barreto. III. Galvão, José Abraão Haddad. IV. Título. V. Série.

CDD (21. ed.) 633.1887

Maria de Cléofas Faggion Alencar (CRB-8/1658)

© Embrapa, 2021

Sumário

| | |
|------------------------------|----|
| Resumo | 5 |
| Abstract | 6 |
| Introdução..... | 7 |
| Material e Métodos | 10 |
| Resultados e Discussão | 15 |
| Conclusão..... | 20 |
| Agradecimentos..... | 20 |
| Referências | 21 |

1Emissão de metano em cultivo de arroz irrigado sob sistema pré-germinado

Magda Aparecida de Lima*

Rosana Faria Vieira**

Alfredo José Barreto Luiz***

José Abrahão Haddad Galvão****

RESUMO - O metano (CH_4) é um dos principais gases de efeito estufa provenientes de atividades agrícolas, sendo o arroz irrigado por inundação uma importante fonte. Estudos locais de mensuração de fluxos de gases de efeito estufa em áreas agrícolas têm sido incentivados em nível global com o intuito de subsidiar e refinar estimativas nacionais e estaduais de emissão, bem como validar modelos biogeoquímicos. Este estudo teve como objetivo quantificar a emissão sazonal de CH_4 em cultivo de arroz irrigado no município de Tremembé, SP, uma das principais áreas produtoras de arroz deste estado. O experimento foi conduzido na safra de 2008/2009, e utilizou o método de câmara fechada e cromatografia gasosa. Com base na emissão sazonal foi possível estimar o fator de emissão de CH_4 (FE, $6.2 \text{ kg CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$) e o seu potencial de aquecimento global parcial ($p\text{PAG}$, $26.2 \text{ Mg CO}_2 \text{ eq estação de crescimento}^{-1} \text{ ha}^{-1}$), e o $\text{PAG}p$ escalonado pelo rendimento de grãos ($\text{PAG}pR$, $3.9 \text{ kg CO}_2 \text{ eq kg}^{-1} \text{ grão}^{-1}$), que se apresentou no contexto da faixa de emissões sazonais encontrada em outras regiões do Brasil. O estudo mostrou elevada emissão sazonal de CH_4 na área estudada, atribuída, principalmente, ao longo do período de inundação e, possivelmente, às características da variedade utilizada.

Palavras-chave: arroz irrigado por inundação, sistema pré-germinado, fator de emissão de metano, $\text{PAG}p$, $\text{PAG}pR$

* Ecóloga, doutora em Geociências, pesquisadora da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP.

** Engenheira-Agrônoma, doutora em Microbiologia do Solo, pesquisadora da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP.

*** Engenheiro-Agrônomo, doutor em Sensoriamento Remoto, pesquisador da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP.

**** Engenheiro-Agrônomo, mestre em Proteção de Plantas, analista da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP.

¹ Dados já publicados (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*, Santa Maria, v. 49, n. 11, e20190336, 2019).

Methane emission from a flooded rice field under pre-germinated system

ABSTRACT - Methane (CH₄) is one of the main greenhouse gases derived from agricultural activities considering that flood-irrigated rice represents an important source. Local studies on measurement of greenhouse gas flow from agricultural areas has been encouraged at the global level in order to subsidize and to refine national and state emission estimates as well as to validate the biogeochemical models. This study aimed to quantify the seasonal emission of CH₄ in the irrigated rice cultivation at the municipality of Tremembé, State of São Paulo, which is one of the main rice production area in this State. The experiment was carried out within the years of 2008/2009 harvest, using the closed chamber method and gas chromatography. Based on the seasonal emission, it was possible to estimate the CH₄ emission factor (EF, 6.2 kg CH₄ ha⁻¹ day⁻¹) and its partial global warming potential (*p*GWP, 26.2 Mg CO₂ eq growing season⁻¹ ha⁻¹) and the *p*GWP staggered by grain production (YpGWP, 3.9 kg CO₂ eq kg⁻¹ grain), that presented itself in the context of the range of seasonal emissions found in other regions of Brazil. The study showed high seasonal emission of CH₄ at the studied area, attributed mainly to the long period of flooding and to the characteristics of the variety used.

Key-words: flooded rice, pre-germinated system, methane emission factor, GWP_p, GWP_{pR}

Introdução

A produção de arroz (*Oryza sativa* L.), conhecida como rizicultura, é uma das atividades agrícolas de maior importância no mundo. Cultivado e consumido em muitos países, este produto é a base alimentar de bilhões de pessoas. Com produção de aproximadamente 10,4 milhões de toneladas por ano em 2019, o Brasil está entre os maiores produtores mundiais do grão (FAOSTAT, 2021). O cultivo do arroz é feito em sistema irrigado e de sequeiro, sendo que a produtividade em sistemas de irrigação por inundação, em geral, tende a ser maior. Entre os sistemas de cultivo de arroz irrigado utilizados no país estão o sistema convencional, o plantio direto, o cultivo mínimo, o transplântio de mudas e o pré-germinado (Adequação..., 2014). Este último tipo de manejo é utilizado em algumas regiões do país, como por exemplo, nos estados de Santa Catarina e de São Paulo, e caracteriza-se pelo uso de sementes pré-germinadas em solo previamente inundado (Figura 1). Esta inundação do solo é feita, aproximadamente, 20 dias antes da semeadura para controle do arroz vermelho. Três dias antes da semeadura o solo é drenado, e o barro é formado para o lançamento das sementes pré-germinadas.

O metano (CH_4) é um potente gás de efeito estufa que influencia fortemente a fotoquímica da atmosfera. Esse gás tem potencial de absorção de radiação 28 vezes maior do que o de CO_2 (The Core Writing Team; Pachauri; Meyer, 2014) e é considerado, dentre os gases de origem antrópica, o segundo em importância. As concentrações de CH_4 aumentaram, mundialmente, cerca de 150%, desde o ano de 1750 até o ano de 2011, passando de níveis pré-industriais de 722 ppb para 1803 ppb (The Core Writing Team; Pachauri; Meyer, 2014, Myhre et al., 2013).

A agricultura contribui com aproximadamente 52% das emissões globais de CH_4 , sendo o cultivo do arroz responsável por 10% (21 – 30 Tg ano⁻¹) do fluxo global deste gás para a atmosfera (Sun et al., 2016). No Brasil a estimativa de emissão de CH_4 oriundo do cultivo do arroz foi de 0,46 Tg em 2010 de um total de 12,42 Tg proveniente do setor agrícola (Brazil, 2016). Embora muitos estudos de medições locais de CH_4 tenham sido conduzidos no país em plantações de arroz inundado (Bayer et al., 2014; Lima et al., 2014; Bayer et al., 2015; Zschornack et al., 2016), poucos experimentos têm sido reportados com o cultivo sob sistema pré germinado (Lima et al., 2007; Eberhardt et al., 2009).



Fotos: Magda Aparecida de Lima

Figura 1. Preparação do solo inundado para o cultivo de arroz em sistema pré-germinado.

Em solos cultivados com arroz no sistema de alagamento contínuo, as condições de anaerobiose resultam na produção de CH_4 como produto final da decomposição de compostos orgânicos por bactérias metanogênicas (Lai, 2009). A falta de oxigênio nesses sistemas de cultivo do arroz também determina a formação de espaços porosos no córtex de raízes e colmo da

cultura, denominados aerênquimas, através do qual o O_2 é transportado da atmosfera até a zona de crescimento das raízes, suprimindo suas necessidades fisiológicas (Colmer, 2003). Por essas mesmas estruturas são emitidas cerca de 90% do CH_4 produzido no solo (Bhattacharyya et al., 2016). Esse transporte mediado pela planta é geralmente pequeno durante os estágios iniciais de desenvolvimento da cultura e apresenta ampla variação nos estágios posteriores (Kerdchoechuen, 2005; Win et al., 2010). As intensidades dos fluxos de CH_4 dependem de muitos fatores, tais como quantidade de água, temperatura ambiente, temperatura do solo, microbiota do solo, propriedades físicas do solo, práticas de manejo e características da planta de arroz (Neue et al., 1997; Smith et al., 2003; Hayashi et al., 2015), uma vez que podem afetar a atividade dos microrganismos metanogênicos, e também a formação do aerênquima.

A partir do conhecimento sobre a emissão sazonal de metano em áreas de produção de arroz irrigado, é importante calcular o Potencial de Aquecimento Global parcial (PAG p), que reflete quanto um determinado gás, no caso o metano, contribui relativamente ao aquecimento global em comparação com o CO_2 . Isso permite dimensionar o impacto de diferentes manejos adotados nos sistemas de produção. Nesse cálculo considera-se que o PAG do CH_4 tem o potencial de aquecimento 28 vezes maior do que o CO_2 . Entretanto, a busca por práticas de manejo capaz de mitigar as emissões de GEE não deve redundar na diminuição da produtividade do arroz. Assim, a razão entre o PAG p e o rendimento da cultura (PAG pR), constitui-se numa medida de efetividade de um determinado sistema de manejo na mitigação das emissões de CH_4 .

Para calcular o potencial de uma estipulada prática de manejo em emitir determinado GEE, utiliza-se o fator de emissão (FE) que representa a taxa de emissão de um GEE por unidade de área, tempo ou rendimento. Uma ampla variação nos FE de áreas cultivadas com arroz inundado, com relação ao CH_4 , tem sido documentada por alguns autores (Wang et al., 2018). Esse fato demonstra a necessidade de intensificar a pesquisa de fatores de emissão do GEE em diferentes condições edafoclimáticas. O Brasil caracteriza-se por uma grande variedade de condições climáticas e de solo, de modo que as medições de GEE devem ocorrer em diferentes regiões e sistemas de produção para permitir o estabelecimento de um banco de dados representativo e a realização de meta-análises. Além disso, a disponibilidade de dados sobre

fatores de emissão de CH_4 é um elemento-chave na realização de inventários nacionais e regionais de emissões de gases de efeito estufa. Assim, com o objetivo de contribuir com bancos de dados sobre fatores de emissão de CH_4 da cultura do arroz irrigado, o presente estudo teve como objetivo estimar o fator de emissão sazonal de CH_4 dessa cultura sob o sistema pré-germinado em uma área produtora do sudeste do Brasil e também avaliar o PAG parcial (PAG_p) e o PAG na escala de rendimento (PAG_{pR}).

Material e Métodos

Área experimental

O estudo foi realizado na Fazenda Regina localizada no Município de Tremembé, no Estado de São Paulo, situada a uma latitude de 22° 56' 12" S e longitude de 45° 34' 07" W a uma altitude média de 580 m. (Figura 2). De acordo com Köppen e Geiger a classificação do clima é Cwa que se caracteriza como clima temperado com chuva no verão e seca no inverno (Setzer, 1966). A temperatura média ao longo do ano é de 28,9°C e a pluviosidade média anual é de 1.334 mm (Villela; Furlani Júnior, 1966). A temperatura do ar e de precipitação durante o período de cultivo foram registradas por uma estação meteorológica automática. O município é um dos principais produtores de arroz irrigado no Estado de São Paulo (Instituto de Economia Agrícola, 2018; Lima e Villela, 2016), embora a área cultivada seja atualmente pouco representativa em relação a outros estados do país. O sistema de cultivo mais utilizado em Tremembé, e de modo geral no Vale do Paraíba, é o pré-germinado. Em termos nacionais, este sistema é também utilizado em cerca de 80% das áreas de cultivo de arroz em Santa Catarina (Noldin et al., 2015), que possui a maior produtividade nacional (Marchezan et al., 2004), e em cerca de 11% da área cultivada no estado do Rio Grande do Sul.

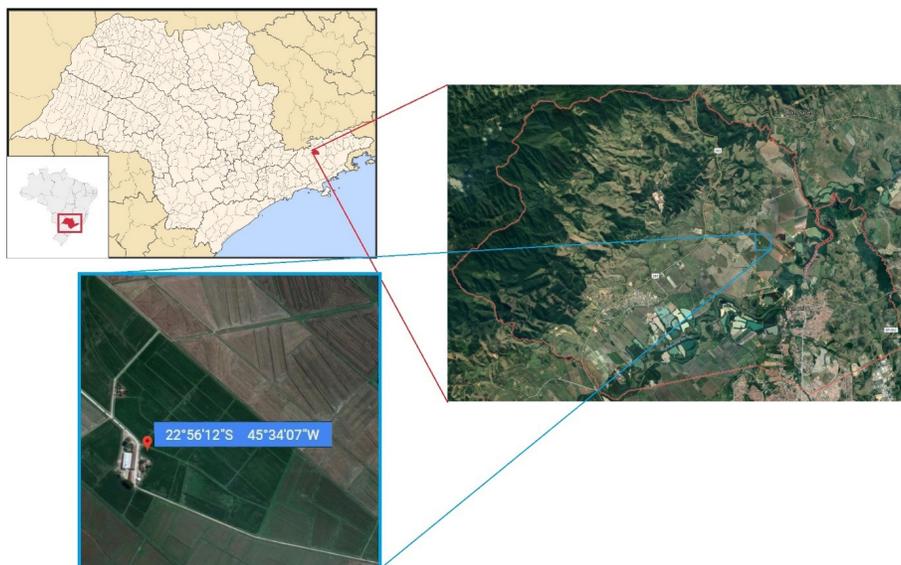


Figura 2. Área de estudo na Fazenda Regina, Tremembé, SP.

A área em que o experimento foi conduzido localiza-se em solo de várzea entre as Serras do Mar e da Mantiqueira. O solo foi classificado como Gleissolo Melânico (São Paulo (Estado), 2017). As características químicas e físicas são apresentadas nas Tabela 1 e 2, respectivamente, seguindo-se a metodologia descrita por Silva (2009). Os conteúdos de C total e N total foram determinados utilizando-se um analisador elementar de C e N da marca Leco, modelo Truspec (Tabela 1).

Tabela 1. Características químicas do solo estudado.

| Camada de solo | CT kg ⁻¹ | NT g kg ⁻¹ | C:N | pH água | P mg dm ⁻³ | K Ca Mg H+Al Na Al V | | | | | | |
|----------------|------------------------|--------------------------|-------|------------|--------------------------|------------------------|------|------|------|------|------|-------|
| | | | | | | cmolc dm ⁻³ | | | | | | % |
| 0-10 cm | 11,2 | 1,10 | 10,47 | 5,4 | 1,38 | 0,25 | 1,04 | 0,46 | 3,96 | 0,05 | 0,25 | 31,40 |
| 10-20 cm | 7,00 | 0,66 | 10,64 | 5,7 | 2,25 | 0,28 | 1,13 | 0,60 | 2,73 | 0,05 | 0,10 | 43,83 |

CT, carbono total; NT, nitrogênio total

Tabela 2. Dados de textura, porosidade e densidade do solo.

| Camada de solo | Textura (%) | | | Porosidade (%) | Densidade (g cm ³) |
|----------------|-------------|-------|--------|----------------|--------------------------------|
| | Areia | Silte | Argila | | |
| 0-5 cm | 42,82 | 34,53 | 22,65 | 50,70 | 1,22 |
| 5-10 cm | 40,72 | 35,86 | 23,43 | 49,05 | 1,31 |
| 10-20 cm | 40,74 | 37,68 | 21,58 | 46,97 | 1,41 |
| 20-40 cm | 46,52 | 33,18 | 20,29 | 44,21 | 1,51 |

Condução do experimento

O experimento foi conduzido no ano agrícola de 2008/2009 em sistema pré-germinado a lanço, com irrigação contínua, e consistiu de um único tratamento com três repetições em uma área de um hectare, de forma a representar o sistema de cultivo de arroz utilizado na fazenda. Utilizou-se a variedade SCS 114 Andosan, desenvolvida a partir de mutação induzida e lançada em 2004 pela Empresa de Pesquisa Agropecuária de Santa Catarina (Epagri). Suas características são do tipo moderno-filipino, de ciclo longo (140 dias) (Ishiy et al., 2005), com altura baixa (média de 100 cm), alto perfilhamento, floração média em 114 dias e produção média de 9,3 t ha⁻¹ para o estado de São Paulo (Moura Neto et al., 2015). A densidade de sementes utilizada foi de 140 kg por hectare. O solo foi arado três meses após a incorporação da palha do cultivo anterior e inundado vinte dias antes da semeadura, que ocorreu em 02/09/2008 com a emergência observada em 06/09/2008. Após a inundação do terreno, a altura da lâmina d'água foi mantida em 16 cm em média. Foram realizadas drenagens ocasionais para fins de aplica o de herbicidas e de aduba o. Uma pulveriza o com os herbicidas Ricer (150 mL), Basagran (2 L), Ally (10 g), e com o inseticida Curbix (200 mL), e Vegetoil (1 L) foi feita em 30/09/2008. A fertiliza o de cobertura foi feita aos 58 dias após a inunda o (DAI) (09/10/2008) e a segunda aos 85 DAI (05/11/2008) utilizando a formula o 25-0-25, ou seja, 30 kg N ha⁻¹ e 30 kg de K₂O ha⁻¹, aplicando-se uréia e cloreto de potássio, respectivamente. O florescimento e a maturaa o completa ocorreram, de modo recíproco, aos 148 DAI (07/01/2009) e aos 179 DAI (09/02/2009). A colheita foi feita em 10/02/2009 sendo conduzida com o solo ainda inundado.

Mensuração de fluxos de CH₄

O método da câmara estática foi usado para realizar a coleta das amostras de gases que foi feita uma vez por semana, em 18 ocasiões, ao longo da estação de crescimento. A primeira foi realizada aos 36 dias após o semeio (DAS) e a última aos 176 DAS. Foram utilizadas três câmaras de 60 cm x 60 cm confeccionadas em alumínio e material interno isolante, compostas de três partes: base, extensores e tampa provida de sensor de temperatura, ventiladores e septo para amostragem. As bases foram instaladas no solo a aproximadamente 5 centímetros de profundidade, e permaneceram fixas durante todo o período de avaliação de emissão de CH₄. Ao longo do crescimento do arroz foram utilizados extensores da câmara de coleta, mantendo um espaço entre a planta e a tampa da câmara. O acesso às bases e a inexistência de perturbação do terreno nas áreas de coleta foram obtidos pela construção de passarelas de madeira.

Em cada amostragem realizada entre 9h e 10h coletava-se amostras de ar do interior da câmara, nos tempos 5, 10, 15, 20 e 25 minutos (Sass; Ficher; Andrews, 2002), utilizando seringas de poliestireno de 60 mL da Becton, Dickinson and Company (BD). Amostras no tempo zero foram tomadas fora das câmaras, a cerca de um metro de altura da lavoura de arroz. As amostras de gases foram analisadas em um cromatógrafo a gás de marca Agilent, modelo GC6890, equipado com válvula de 6 vias, injetor split/splitless (modo: split), loop de aço inox de 0,5 cc, coluna megabore HP-Plot Al/M (0.53 mm de diâmetro e 30 m de comprimento) e detector de ionização de chama (FID). Para efetuar o cálculo das concentrações, utilizou-se uma curva construída com mistura padrão de CH₄ nas concentrações: 5 ppm, 10 ppm e 20 ppm. Para cada amostra foram realizadas 3 leituras de concentração. Os fluxos de CH₄ foram calculados pela seguinte equação:

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

Onde: F representa o fluxo de CH₄ (g m⁻² h⁻¹), P a pressão média da atmosfera na câmara (assume-se como sendo 1 atm), M a massa molecular do CH₄ (16,123 g mol⁻¹), A a área da base da câmara (m²); R a constante universal do gás (0,08205 atm L mol⁻¹ °K⁻¹), T a temperatura dentro da câmara

durante a amostragem em graus Kelvin ($^{\circ}\text{K}$), V o volume da câmara (L), e $\Delta C/\Delta t$ a diferença da concentração de CH_4 durante o tempo de amostragem (Δt). Subsequentemente, o fluxo de CH_4 foi convertido em $\text{kg CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$. Os fluxos de emissão de CH_4 gerados em cada medida ao longo da estação de crescimento foram integrados para produzir uma estimativa do fluxo sazonal de metano (FSM, kg ha^{-1}), representando a emissão acumulada para cada câmara utilizada. A estimativa da emissão sazonal de CH_4 considerou o período desde a semeadura, embora o solo tenha sido inundado vinte dias antes, até o completo amadurecimento. O fator de emissão de CH_4 foi calculado a partir da divisão do FSM pelo total de dias da estação de crescimento, sendo expresso em $\text{kg CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$.

O potencial de aquecimento global parcial (PAGp), expresso em $\text{kg CO}_2\text{eq ha}^{-1}$, foi calculado por meio da multiplicação da emissão de CH_4 acumulada na estação de crescimento (EC) e seu potencial de forçamento radiativo ($\text{PAGp CH}_4 = \text{CH}_4 * 28$), de acordo com Myhre et al. (2013). Além disso, foi calculado o potencial de aquecimento global relativo ao rendimento (PAGpR), de acordo com Bayer et al. (2014), como segue:

$$\text{PAGpR (kg CO}_2\text{ eq kg}^{-1}\text{ de rendimento de grãos)} = \frac{\text{PAGp}}{R}$$

onde: PAGpR é o PAGp em escala de rendimento ($\text{kg CO}_2\text{eq kg}^{-1}$ de produção de grãos), PAGp é o potencial de aquecimento global parcial ($\text{kg CO}_2\text{eq ha}^{-1}$) e R é o rendimento de grãos (kg ha^{-1}).

Durante as coletas de gases foram medidas as temperaturas do ar, da água de inundação e do solo a 5 cm de profundidade usando termômetro de cinco pontas Full Gauge. A temperatura do ar dentro de cada câmara foi registrada usando um termômetro digital (Multi-thermometer). O pH do solo e da água e o potencial de oxirredução (Eh) foram medidos utilizando-se um aparelho de medição digital de pH. Além do mais, registraram-se a altura das plantas e da água de inundação ao longo do cultivo.

Análise estatística

Os coeficientes de correlação linear entre as variáveis ambientais medidas em campo e o fluxo de CH_4 foram determinados utilizando o procedimento CORR do programa SAS (SAS Institute Inc., 2011). Para comparar a variabilidade entre repetições o coeficiente de variação (CV) foi estabelecido para os fluxos cumulativos de CH_4 .

Resultados e Discussão

Os dados meteorológicos registrados durante a estação de cultivo são apresentados na Figura 3. A precipitação total de 6 de outubro de 2008 a 6 de fevereiro de 2009 foi de 792,5 mm, enquanto as temperaturas médias máximas e mínimas foram 29 °C e 20 °C, respectivamente.

Os valores de temperatura do ar, da água e do solo a 5 cm de profundidade em cada data de amostragem são apresentados na Figura 4. Na Figura 5 são mostrados os dados de pH e de Eh do solo.

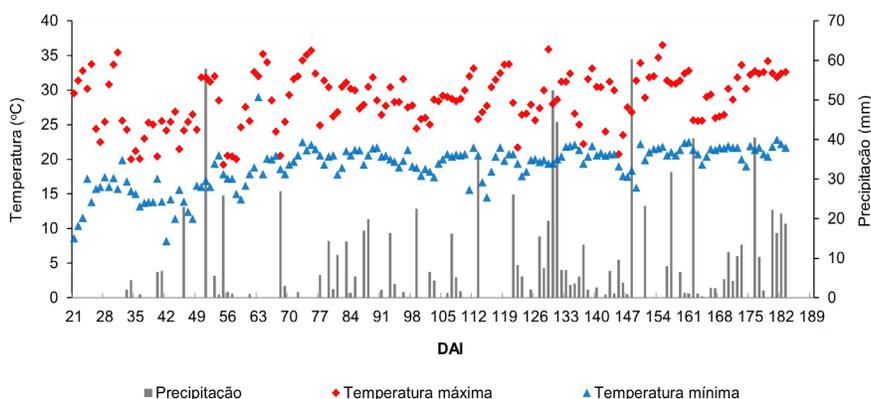


Figura 3. Dados de temperatura e precipitação obtidos da estação meteorológica de Pindamonhangaba, SP (dados fornecidos pelo CIIAGRO), para o período da estação de crescimento do arroz. DAI = Dias após a inundação.

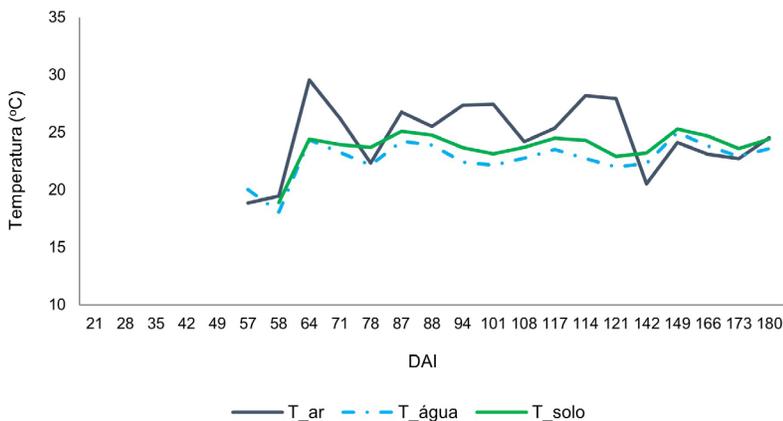


Figura 4. Dados registrados de temperatura do ar, da água e do solo, nas datas de amostragem de gases. T_ar = Temperatura do ar; T_água = Temperatura da água; T_solo = Temperatura do solo a 5 cm de profundidade do solo; DAI = Dias após a inundação.

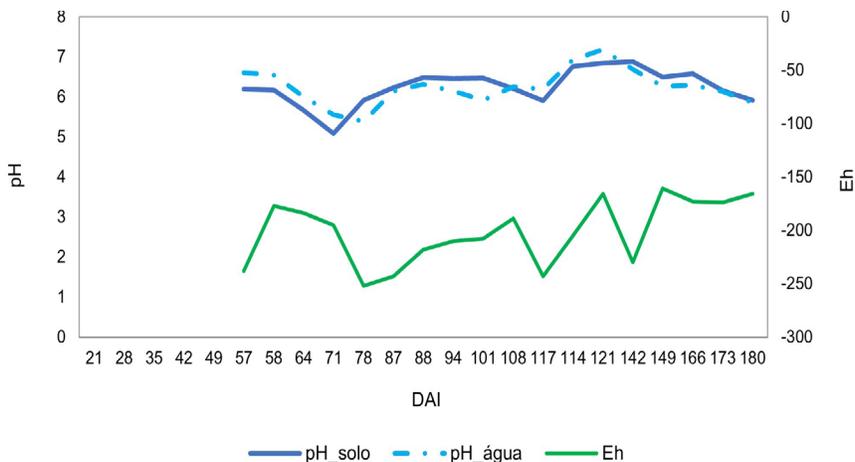


Figura 5. Dados registrados de pH do solo e da água e do potencial de oxirredução (Eh) da área de estudo nas datas de amostragem. DAI = Dias após a inundação.

Fluxos crescentes de CH_4 foram observados ao longo do estágio vegetativo (Figura 6), estando provavelmente relacionados ao maior crescimento das plantas em decorrência da adubação nitrogenada e, em consequência, à maior exsudação de compostos orgânicos provenientes das raízes. A disponibilidade de compostos orgânicos lábeis, ou seja, de fácil

decomposição, como os liberados pelo sistema radicular, são importantes substratos para as bactérias metanogênicas produzirem o metano (Le Mer e Roger, 2001). A variedade SCS 114 Andosan é caracterizada por apresentar alto perfilhamento, o que pode ter contribuído para os elevados fluxos de CH_4 nessa fase. Alguns estudos têm demonstrado que a capacidade de perfilhamento de cultivares de arroz poderá aumentar as emissões de CH_4 por elevar os canais do aerênquima e acelerar o transporte de CH_4 (Kim et al., 2018). Outros picos de emissão ocorreram próximo ao estágio de iniciação da panícula (112 DAF) e floração (148 DAF). Gogoi et al. (2005) e Aulakh; Wassmann; Rennenberg (2002) também relataram a ocorrência de alto fluxo de CH_4 nesta fase. Próximo à floração pode ocorrer aumento da emissão de CH_4 devido a ampliação da capacidade fotossintética da planta neste período, associado à maior rizodeposição e ao pleno desenvolvimento do aerênquima.

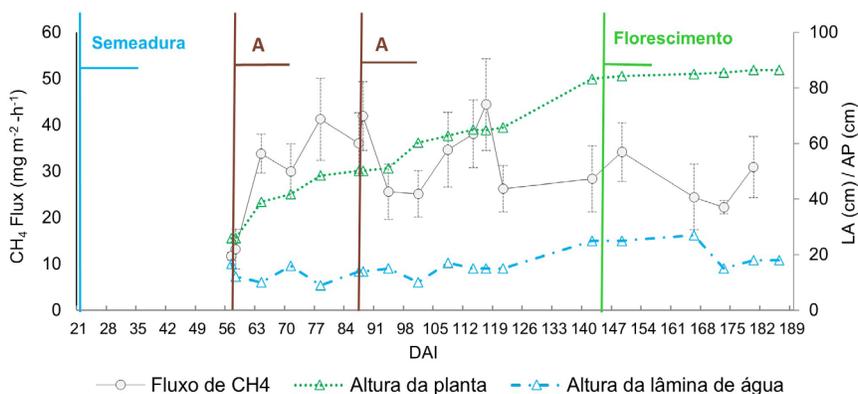


Figura 6. Fluxos de CH_4 ao longo da safra de 2008/2009 em cultivo de arroz irrigado por inunda o em sistema pr -germinado, na Fazenda Regina, em Tremembé, SP. A = Aplica o de fertilizante; AP = Altura de planta; LA = Altura da lâmina de  gua; DAI = Dias após a inunda o

A emissão média diária de CH_4 no experimento foi estimada em $616 \pm 106 \text{ mg de } \text{CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, e a emissão acumulada durante a esta o de crescimento foi de $93,60 \text{ g } \text{CH}_4 \text{ m}^{-2}$ (cv: 17,15%). Esta emissão sazonal está entre as mais altas registradas nos experimentos de medi o realizados em arrozais no país, correspondendo a um fator de emissão de CH_4 de $6,20 \text{ kg } \text{CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, ou seja quatro vezes a média indicada pelo IPCC 2019 Refinement (Ogle et al., 2019) e por Wang et al. (2018). Estes autores

estimaram a emissão média para o 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 $2,40 \text{ kg CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$. Além disso, foram encontrados por Lima et al. (2007) valores elevados de emissão acumulados de CH_4 em experimento conduzido em Itajaí, estado de Santa Catarina, utilizando a mesma cultivar (SCS 114 Andosan), em sistema pré-germinado, com emissões sazonais de $68,84 \text{ g CH}_4 \text{ m}^{-2}$ (cv: 16,76%) e $138,21 \text{ g CH}_4 \text{ m}^{-2}$ (cv: 8,53%), para os cultivos em solos mineral e orgânico, respectivamente. As elevadas emissões de CH_4 observadas no presente estudo podem ser atribuídas ao tempo longo de inundação no sistema pré-germinado, e ao ciclo longo da variedade, totalizando 176 dias de inundação desde a semeadura até o amadurecimento completo. O impacto da inundação contínua na emissão de CH_4 é bem conhecido na literatura (Lasco et al., 2006). Lima et al. (2019) encontraram um fator de emissão de $2,27 \text{ kg CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ utilizando uma variedade de ciclo médio (125 dias) com um período de inundação do solo de 137 dias em cultivo de arroz irrigado em sistema pré-germinado em Pindamonhangaba, SP. Além do mais, segundo Silva, Moterle e Oliveira (2014), a variedade de arroz utilizada apresenta alto potencial de efluxo de CH_4 . Em experimento conduzido sob condições controladas, estes autores constataram que as cultivares SCS 114 Andosan, Farroupilha, Carnaroli e SCS Tio Taka apresentaram os maiores efluxos de CH_4 , e que estas mesmas, com exceção da Carnaroli, possuem os maiores valores de matéria seca de planta entre as cultivares estudadas. De acordo com Mitra et al. (1999) cultivares com maior produção de matéria seca e, conseqüentemente, maior exsudação radicular, favorecem a produção e emissão de CH_4 para a atmosfera. Além disso, outros autores observaram uma correlação positiva entre a biomassa acima do solo e a emissão de metano pelas plantas de arroz (Gogoi; Baruah; Gupta, 2008; Setyanto et al., 2004; Aulakh et al., 2000). Entretanto, esses resultados devem ser considerados com cautela uma vez que Moterle (2011), ao estudar os fluxos de CH_4 em diferentes cultivares de arroz, concluiu que as características morfofisiológicas não explicam completamente as diferenças de fluxos de CH_4 entre as cultivares, ou seja, as diferenças no fluxo deste gás ocorrem em função de uma associação de fatores, incluindo fisiológicos, ambientais e genéticos, não demonstrados em sua morfologia. Conclusão semelhante foi obtida por Wassmann et al., (2002) ao avaliar padrões de emissões de CH_4 em lavouras de arroz, onde verificou que as diferenças específicas de cada cultivar influenciam pouco na emissão de CH_4 , em comparação a outros efeitos e fatores de solo e clima.

Valores inferiores de emissões sazonais de CH_4 foram registrados em diferentes regiões do país utilizando outras cultivares, sistemas de plantio e de manejo do solo. Na Estação Experimental da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA), em Pindamonhangaba, SP, Lima et al. (2014) estimaram emissões sazonais na faixa de 5,7 a 36 g CH_4 m^{-2} utilizando a variedade IAC 103 em sistema de transplântio, e de $29,5 \pm 4,5$ g CH_4 m^{-2} , sob sistema pré-germinado usando a variedade IAC 105. Bayer et al. (2014, 2015) encontraram valores na faixa de 33 a 59 g CH_4 m^{-2} em diferentes manejos de cultivo em Cachoeirinha, no estado do Rio Grande do Sul.

A análise de correlação entre as variáveis de solo (temperatura, pH e Eh), água (temperatura, pH, altura da lâmina de água), meteorológicas (temperatura média máxima e média mínima) e de plantas (altura), e os fluxos de CH_4 é apresentada na Tabela 3. Correlações positivas e significativas foram relatadas entre a emissão de CH_4 e as temperaturas do ar e da água, e a temperatura do solo a 5 cm de profundidade; tal relação foi registrada em diversos estudos (Wang et al., 2017, Fumoto et al., 2018). A altura da planta e da inundação, o pH do solo e da água e o potencial de oxirredução não apresentaram correlações significativas com as emissões de CH_4 .

Tabela 3. Coeficiente de correlação de Pearson e valores de *P* para a relação linear entre emissão de CH_4 e as variáveis medidas.

| | T_ar | T_água | T_S5 | pH solo | pH água | Eh | Altura LA | Altura PL |
|---------------|---------|----------|---------|---------|---------|---------|-----------|-----------|
| CH_4 | 0,4536 | 0,6021 | 0,5731 | -0,2696 | -0,4295 | -0,3288 | -0,2607 | 0,1156 |
| <i>P</i> | 0,0374* | 0,0082** | 0,0162* | 0,2792 | 0,0753 | 0,1828 | 0,2960 | 0,6480 |

T_ar, temperatura do ar; T_água, temperatura da água; T_S5, temperatura do solo a 5 cm de profundidade; Eh, potencial de oxirredução; LA, lâmina de água; PL, planta. * $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$.

Em decorrência das altas emissões de CH_4 o potencial de aquecimento global parcial (PAGp) associado ao sistema de manejo em questão foi de 26,2 Mg $\text{CO}_2\text{eq ha}^{-1}$ estação de crescimento⁻¹. O rendimento de arroz foi estimado em 6,8 t ha^{-1} , sendo o valor calculado para PAGpR de 3,9 kg $\text{CO}_2\text{eq kg}^{-1}$ de grãos, superior aos relatados na literatura (Bayer et al., 2014; Lima et al., 2019). Em estudo realizado sob sistema pré-germinado em Pindamonhangaba, SP, Lima et al. (2019) encontraram um PAGp de 8,3 Mg $\text{CO}_2\text{eq ha}^{-1}$ estação de crescimento⁻¹ e um PAGpR de 1,1 kg $\text{CO}_2\text{eq kg}^{-1}$ de grãos, enquanto que Bayer et al. (2014) encontraram em sistema de plantio

convencional e de plantio direto valores de PAGp de 13,3 Mg CO₂eq ha⁻¹ estação de crescimento⁻¹ e de 10,3 Mg CO₂eq ha⁻¹ estação de crescimento⁻¹, respectivamente, e de PAGpR de 1,8 kg CO₂eq kg⁻¹ de grãos e 1,4 kg CO₂eq kg⁻¹ de grãos, também, respectivamente.

Conclusão

Este estudo demonstrou que o sistema de cultivo pré-germinado, onde o solo permanece inundado por um período maior em relação aos outros tipos de manejo, pode alcançar um elevado fator de emissão de metano (6,2 kg CH₄ ha⁻¹ dia⁻¹). O resultado pode também estar associado à cultivar utilizada, que por ser de ciclo longo poderia aumentar o período em que as raízes são supridas com constituintes orgânicos, que são substratos para a atividade dos microrganismos produtores de metano. Sugere-se cautela do agricultor na escolha da variedade a ser cultivada no sentido de contribuir com o decréscimo das emissões de CH₄. Os resultados obtidos em relação ao PAGp (26,2 Mg CO₂eq ha⁻¹ EC⁻¹) e ao PAGpR (3,9 kg CO₂eq kg⁻¹ de grãos) foram superiores aos relatados na literatura nacional. Esta informação poderá contribuir para futuros bancos de dados nacionais e regionais sobre fatores de emissão de CH₄, os quais são fundamentais ao aprimoramento de estimativas e inventários de emissão de gases de efeito estufa. Recomenda-se que estudos adicionais sejam conduzidos para investigar os impactos do sistema pré-germinado nas emissões de CH₄ em diferentes condições ambientais e variedades de arroz, de modo a identificar opções de mitigação de emissões.

Agradecimentos

Ao Dr. Omar Vieira Villela, pesquisador aposentado pela APTA/Pólo Regional do Vale do Paraíba, pela orientação na escolha da área de estudo e apoio irrestrito na condução do trabalho. À Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) pelo financiamento deste estudo no âmbito do projeto CARBOAGRO n. 01.06.0812.00 (FINEP/FIPAI/EMBRAPA).

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 sul do Brasil. Santa Maria, RS: SOSBAI, 2014. 189 p.

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.; RENNENBERG, H. Methane transport capacity of twenty-two rice cultivars from five major Asian rice-growing countries. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 91, p. 59-71, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00260-2](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00260-2)

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.

BHATTACHARYYA, P.; ROY, K. S.; DAS, M.; RAY, S.; BALACHANDAR, D.; KARTHIKEYAN, S.; MOHAPATRA, N. T. Elucidation of rice rhizosphere metagenome in relation to methane and nitrogen metabolism under elevated carbon dioxide and temperature using whole genome metagenomic approach. **Science Total Environment**, v. 542, p. 886–898, 2016.

BRAZIL. Ministry of Science, Technology and Innovation. **Third national communication of Brazil to The United Nations framework convention on climate change**: executive summary. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2016. 42p. Disponível em: <<https://unfccc.int/resource/docs/natc/branc3es.pdf>>. Acesso em: 30 abr. 2019.

COLMER, T. D. Aerenchyma and an inducible barrier to radial oxygen loss facilitate root aeration in upland, paddy and deep-water rice (*Oryza sativa* L.). **Annals of Botany**, v. 91, p. 301-309, 2003.

FAOSTAT. **Base de dados** [2014]. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data>>. Acesso em: 3 jun. 2021.

THE CORE WRITING TEAM; PACHAURI, R. K.; MEYER, L. (Ed.). **Climate change 2014: synthesis report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: IPCC, 2014. 151 p.

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. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/578037/emissao-de-metano-em-arroz-irrigado-em-santa-catarina>>. Acesso em: 30 abr. 2019.

FUMOTO, T.; KOBAYASHI, K.; LI, C.; YAGI, K.; HASEGAWA, T. Revising a process-based biogeochemistry model (DNDC) to simulate methane emission from rice paddy fields under various residue management and fertilizer regimes. **Global Change Biology**, v. 14, p. 382–402, 2018.

GOGOI, N.; BARUAH, K. K.; GOGOI, B.; GUPTA, P. K. Methane emission characteristics and its relations with plant and soil parameters under irrigated rice ecosystem of northeast India. **Chemosphere**, v. 59, p. 1677–1684, 2005.

GOGOI, N.; BARUAH, K. K.; GUPTA, P. K. Selection of rice genotypes for lower methane emission. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 28, p. 181–186, 2008.

HAYASHI, K.; TOKIDA, T.; KAJIURA, M.; YANAI, Y.; YANO, M. Cropland soil–plant systems control production and consumption of methane and nitrous oxide and their emissions to the atmosphere. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 61, n. 1, p. 2-33. 2015.

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA. **Estatísticas da Produção Paulista**. São Paulo: IEA, 2018. Disponível em: <http://ciagri.iea.sp.gov.br/nia1/subjetiva.aspx?cod_sis=1&idioma=1>. Acesso em: 01 jun. 2021.

ISHIY, T.; SCHIOCCHET, M. A.; MARSCHALEK, R.; NOLDIN, J. A.; EBERHARDT, D. S.; PERUCH, L. A.; BACHA, R.; ALFONSO-MOREL, D.; PRANDO, H. F.; MIURA, L.; KNOBLAUCH, R. **SCS 114 Andosan**: cultivar de arroz irrigado. Florianópolis: Epagri, 2005. Folder. Disponível em: <<https://sistemas.epagri.sc.gov.br/semob/consulta.action?subFuncao=consultaPublicacoesDetalhe&cdDoc=21040&epagriSite>>. Acesso em: 01 jun, 2021.

KERDCHOECHUEN, O. Methane emission in four rice varieties as related to sugars and organic acids of roots and root exudates and biomass yield. **Agriculture Ecosystem and Environment**, v. 108, p. 155-163, 2005.

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.

LAI, D.Y.F. Methane dynamics in Northern peadlands: a review. *Pedospheres*, v. 19, p. 409-421, 2009.

LASCO, R. D.; OGLE, S.; RAISON, J.; VERCHOT, L.; WASSMANN, R.; YAGI, K.; BHATTACHARYA, S.; BRENNER, J. S.; DAKA, J. P.; GONZÁLEZ, S. P.; KRUG, T.; LI, Y.; MARTINO, D. L.; MCCONKEY, B. G.; SMITH, P.; TYLER, S. C.; ZHAKATA, W. Cropland. In: EGGLESTON, S.; BUENDIA, L.; MIWA, K.; NGARA, T.; TANABE, K. (Ed.). **2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories**. Hayama, Kanagawa: IPCC, 2006. v. 4, ch. 5, p. 5.1-5.66. Disponível em: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_05_Ch5_Cropland.pdf>. Acesso em: 20 out. 2021.

LE MER, J.; ROGER, P. Production, Oxidation, Emission and Consumption of Methane by Soils: A Review. **European Journal of Soil Biology**, v. 37, p. 25-50, 2001.

LIMA, M. A., 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. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/15997/emissao-de-metano-em-lavouras-de-arroz-irrigado-sob-sistema-pre-germinado>>. Acesso em: 17 Apr., 2019.

LIMA, M. A.; 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.; LIMA, M. A.; ALVES, B. J. R.; MACHADO, P. L. O. de A.; URQUIAGA, S. (Ed.). **Carbon stocks and greenhouse gas emissions in Brazilian agriculture**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. Cap.6.

LIMA, M. A. de; VIEIRA, R. F.; LUIZ, A. J. B.; GALVÃO, J. A. H.; VILLELA, O. V. **Emissão de metano em área de arroz irrigado sob sistema pré-germinado em Pindamonhangaba**, SP. Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente, 2019. 22 p. (Embrapa Meio Ambiente. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 86).

LIMA, M. L.; 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).

MARCHEZAN, E.; CAMARGO, E. R.; LOPES, S.I.G.; SANTOS, F.M. DOS; MICHELON, S. Desempenho de genótipos de arroz irrigado cultivados no sistema pré-germinado com inundação contínua. **Ciência Rural**, v. 34, n. 5, p. 1349-1354, 2004.

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, n. 3, p. 177-183, 1999.

MOURA NETO, F. P.; TORGA, P. P.; COLOMBARI FILHO, J. M.; SOUZA, G. W. de; DARIO, G. J. A.; SOARES, P. C.; MORAIS, O. P. de; NEVES, P. de C. F. Desempenho produtivo e agrônômico de linhagens e cultivares de arroz irrigado em ensaio de VCU no Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 9., 2015, Pelotas. **Ciência e tecnologia para otimização da orizicultura**: anais. Brasília, DF: Embrapa; Pelotas: Sosbai, 2015.

MYHRE, G.; D. SHINDELL, F.-M.; BRÉON, W.; COLLINS, J.; FUGLESTVEDT, J.; HUANG, D.; KOCH, J.-F.; LAMARQUE, D.; LEE, B.; MENDOZA, T.; NAKAJIMA, A.; ROBOCK, G.; STEPHENS, T.; TAKEMURA, H.; ZHANG. Anthropogenic and natural radiative forcing. In: STOCKER, T. F.; QIN, D.; PLATTNER, G.-K.; TIGNOR, M.; ALLEN, S.K.; BOSCHUNG, J.; NAUELS, A.; XIA, Y.; BEX, V.; MIDGLEY, P.M. (Ed.). **Climate change 2013: the physical science basis**. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Cambridge: Cambridge University Press, 2013.

NEUE, H. U.; WASSMANN, R.; KLUDZE, H. K.; WANG, B.; LANTIN, R. L. Factors and processes controlling methane emissions from rice fields. **Nutrient Cycling of Agroecosystems**, v. 49, p. 111-117, 1997.

NOLDIN, J. A.; HICKEL, E. R.; KNOBLAUCH, R.; EBERHARDT, D. S.; SCHIOCCHET, M. A.; SCHEUERMANN, K. K.; KLEVESTON, R.; AGOSTINI, I.; MARTINS, G.N.; MARSCHALEK, R.; WICKERT, E.; ANDRADE, A.; LUCIETTI, D. **Recomendações técnicas para a produção de arroz irrigado em sistema orgânico em Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 2015. 40p. (Epagri. Sistemas de Produção, 47).

OGLE, S. M.; WAKELIN, S. J.; BUENDIA, L.; MCCONKEY, B.; BALDOCK, J.; AKIYAMA, H.; KISHIMOTO, A. M. M.; CHIRINDA, N.; BERNOUX, M.; BHATTACHARYA, S.; CHUERSUWAN, N.; GOHEER, M. A. R.; HERGOUALC'H, K.; ISHIZUKA, S.; LASCO, R. D.; PAN, X.; PATHAK, H.; REGINA, K.; SATO, A.; VAZQUEZ-AMABILE, G.; WANG, C.; ZHENG, X. Cropland. In: BUENDIA, E. C.; TANABE, K.; KRANJC, A.; BAASANSUREN, J.; FUKUDA, M.; NGARIZE, S.; OSAKO, A.; PYROZHENKO, Y.; SHERMANAU, P.; FEDERICI, S. (Ed.). **2019 refinement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories**. Hayama, Kanagawa: IPCC, 2019. v. 4, ch. 5, p. 5.1-5.102. Disponível em: < https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/4_Volume4/19R_V4_Ch05_Cropland.pdf>. Acesso em: 20 out. 2021.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Meio Ambiente, Instituto Florestal. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo**: revisado e ampliado. Marcio Rossi. São Paulo: Instituto Florestal, 2017. 118p.

SAS INSTITUTE INC. **SAS/STAT® 9.3 user's guide**. Cary, NC: SAS Institute Inc., 2011. Disponível em: <<https://support.sas.com/documentation/onlinedoc/stat/930/>>. Acesso em: 20 out. 2021.

SASS, R.; FISHER JR., 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. 15-1–15-7, 2002.

SETYANTO, P.; ROSENANI, A. B.; BOER, R.; FAUZIAH, C. I.; KHANIF, M. J. The effect of rice cultivars on methane emission from irrigated rice field. **Indonesian Journal of Agricultural Science**, v. 5, n.1, p. 20-31, 2004.

SETZER, J. **Atlas climatológico e ecológico do Estado de São Paulo**. CIBPU, 1966.

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.

SILVA, L. S.; MOTERLE, D. F.; OLIVEIRA, J. M. S. 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.

SMITH, K. A.; BALL T.; CONEN, F.; DOBBIE, K. E.; MASSHEDER, J.; REY, A. 2003. Exchange of greenhouse gases between soil and atmosphere: interactions of soil physical factors and biological processes. **European Journal of Soil Science**, v. 54, n. 4, p. 779-791, 2003.

SUN, H., ZHOU S.; FU, Z., CHEN, G.; ZOU, G.; SONG, X. A two-year field measurement of methane and nitrous oxide fluxes from rice paddies under contrasting climate conditions. **Scientific Reports**, v. 6, Article 28255, 2016.

VILLELA, O. V.; FURLANI JÚNIOR, E. Cultivares de arroz e idade de mudas para transplântio. **Bragantia**, v. 55, n. 2, p. 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, C.; LAI, D. Y. F.; SARDANS, J.; WANG, W.; ZENG, C.; PEÑUELAS, J. Factors related with CH₄ and N₂O emissions from a Paddy Field: clues for management implications. **PLoS ONE**, v. 12, n. 1, 2017.

WIN, K. T., NONAKA, R., TOYOTA, K., MOTOBAYASHI, T., HOSOMI, M. Effects of option mitigating ammonia volatilization on CH₄ and N₂O emissions from a paddy field fertilized with anaerobically digested cattle slurry. **Biology and Fertility of Soils**, v. 46, p. 589-595, 2010.

ZSCHORNACK, T.; ROSA, C. M. da; PEDROSO, G. M.; MARCOLIN, E.; SILVA, P. R. F. da; 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