

**Eficiência de Uso da Água e Potencial Mitigador de Emissões de Gases de Efeito Estufa de Cultivares de Arroz sob Irrigação por Inundação Contínua e Intermitente**

OBJETIVOS DE  
DESENVOLVIMENTO  
SUSTENTÁVEL



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

**BOLETIM DE PESQUISA  
E DESENVOLVIMENTO  
345**

**Eficiência de Uso da Água e Potencial Mitigador de  
Emissões de Gases de Efeito Estufa de Cultivares de Arroz  
sob Irrigação por Inundação Contínua e Intermitente**

*Walkyria Bueno Scivittaro  
José Maria Barbat Parfitt  
Paulo Ricardo Reis Fagundes  
Giovana Tavares Silva  
Samuel Pieper Griep  
Alexssandra Daiane Soares de Campos*

***Embrapa Clima Temperado  
Pelotas, RS  
2021***

**Embrapa Clima Temperado**  
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

Comitê Local de Publicações

Presidente  
*Luis Antônio Suíta de Castro*

Vice-Presidente  
*Walkyria Bueno Scivittaro*

Secretário-Executivo  
*Bárbara Chevallier Cosenza*

Membros  
*Ana Luiza B. Viegas, Fernando Jackson,  
Marilaine Schaun Pelufê, Sonia Desimon*

Revisão de texto  
*Bárbara Chevallier Cosenza*

Normalização bibliográfica  
*Marilaine Schaun Pelufê*

Editoração eletrônica  
*Fernando Jackson*

Foto da capa  
*Walkyria Scivittaro*

**1ª edição**  
Obra digitalizada (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 Clima Temperado

---

E27 Eficiência de uso da água e potencial mitigador de  
emissões de gases de efeito estufa de cultivares de  
arroz sob irrigação por inundação contínua e  
intermitente / Walkyria Bueno Scivittaro... [et al.]. –  
Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2021.  
19 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento /  
Embrapa Clima Temperado, ISSN 1678-2518 ; 345)

1. Arroz. 2. Água. 3. Efeito estufa. 4. Irrigação.  
I. Scivittaro, Walkyria Bueno. II. Série.

CDD 633.18

## Sumário

---

Introdução.....	7
Material e Métodos.....	8
Resultados e Discussão.....	10
Conclusões.....	17
Referências.....	18



# Eficiência de Uso da Água e Potencial Mitigador de Emissões de Gases de Efeito Estufa de Cultivares de Arroz sob Irrigação por Inundação Contínua e Intermitente

Walkyria Bueno Scivittaro<sup>1</sup>

José Maria Barbat Parfitt<sup>2</sup>

Paulo Ricardo Reis Fagundes<sup>1</sup>

Giovana Tavares Silva<sup>3</sup>

Samuel Pieper Griep<sup>4</sup>

Alexssandra Daiane Soares de Campos<sup>4</sup>

**Resumo** - O cultivo de arroz irrigado é uma atividade com demanda hídrica e potencial de emissão de gases de efeito estufa (GEE) elevados, características que lhe conferem impacto ambiental negativo potencial. Entretanto, esses efeitos podem ser minimizados por alterações no manejo da cultura, com destaque para o manejo da água e a seleção de cultivares mais adaptadas ao estresse hídrico e com menor potencial de emissão de GEE. O presente trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar a eficiência de uso da água e o potencial de emissão de GEE de cultivares de arroz sob irrigação por inundação contínua e intermitente. O estudo foi realizado na safra 2019/2020, em Planossolo Háplico, no município de Capão do Leão, RS. Foram avaliadas as combinações de dois sistemas de irrigação (inundação contínua e intermitente), três cultivares de arroz [XP 113 (híbrido – subespécie índica)], BRS Pampa CL (subespécie índica) e BRS 358 (subespécie japônica) e duas densidades de planta (150 e 300 plantas m<sup>-2</sup>). As coletas de amostras de ar para avaliação de emissões de metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) foram feitas utilizando-se o método da câmara estática fechada. Avaliaram-se as emissões sazonais de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O do solo, o potencial de aquecimento global parcial (PAGp), assim como o desempenho produtivo e a eficiência de uso da água da cultura do arroz. As emissões sazonais de CH<sub>4</sub> foram superiores sob irrigação por inundação contínua, relativamente à inundação intermitente, não se verificando efeito do sistema de irrigação sobre as emissões totais de N<sub>2</sub>O. O híbrido XP 113 proporcionou menores emissões totais de CH<sub>4</sub> e PAGp que as cultivares convencionais BRS Pampa CL e BRS 358. As emissões de CH<sub>4</sub> e o PAGp aumentaram com a densidade de plantas. O CH<sub>4</sub> contribuiu com quase a totalidade do PAGp da cultura do arroz. As cultivares BRS Pampa CL e XP 113 proporcionaram maior produtividade de grãos que a 'BRS 358'. A adoção de irrigação por inundação intermitente sem drenagem promove aumento na eficiência de uso da água da cultura do arroz. O sistema de irrigação por inundação intermitente sem drenagem e o uso de cultivares de arroz com menor potencial de emissão de GEE constituem-se em alternativas mitigadoras de emissões de GEE da lavoura de arroz irrigado.

**Termos para indexação:** arroz irrigado, manejo da água, cultivar, metano, óxido nitroso, mitigação.

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

<sup>2</sup> Engenheiro-agrícola, doutor em Ciência do Solo, pesquisador da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS.

<sup>3</sup> Engenheira-ambiental, mestre em Agronomia, doutoranda do Programa de Pós-graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Faem/Ufpel, Pelotas, RS.

<sup>4</sup> Estudante de Agronomia, Ufpel, Pelotas, RS.

## Water Use Efficiency and Greenhouse Gas Emission Mitigation Potential of Rice Cultivars under Continuous and Intermittent Flood Irrigation

**Abstract** - Flooded rice is an activity with high water demand and high greenhouse gases (GHG) emission potential; both characteristics have a potential negative environmental impact. However, these effects can be minimized by changes in crop management, with emphasis on water management and the selection of rice cultivars more adapted to water stress and with lower GHG emissions. This study was carried out with the objective of assessing the water use efficiency and the GHG emission potential of rice cultivars under continuous and intermittent flood irrigation. The experiment was carried out in 2019/2020 growing season, in a Planossolo (Typic Albaqualf), at Embrapa Temperate Agriculture, in Capão do Leão, State of Rio Grande do Sul, Brazil. The combinations of two irrigation systems (continuous and intermittent flooding), three rice cultivars [XP 113 (hybrid – Indica subspecies), BRS Pampa CL (Indica subspecies) and BRS 358 (Japonic subspecies)] and two plant densities (150 and 300 plants m<sup>-2</sup>) were assessed. The air sampling for CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O soil emission analysis was performed using the static closed chambers method. Seasonal emissions of CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O, partial global warming potential (GWPP), as well as the rice yield and water use efficiency were evaluated. Seasonal CH<sub>4</sub> emissions were higher under continuous flood irrigation, compared to intermittent flooding, with no effect of the irrigation system on total N<sub>2</sub>O emissions. The hybrid XP 113 provided lower total CH<sub>4</sub> emission and GWPP than the conventional cultivars BRS Pampa CL and BRS 358. Seasonal CH<sub>4</sub> emissions and GWPP increased with rice plant density. CH<sub>4</sub> contributed for almost all of the rice GWPP. Cultivars BRS Pampa CL and XP 113 provided higher grain yield than BRS 358. The intermittent flood irrigation system without drainage promotes increase in water use efficiency of the rice crop. The intermitente flood irrigation system without drainage and the use of rice cultivars with lower GHG emission potential are alternatives to mitigate GHG emissions from the irrigated rice field.

**Index terms:** paddy rice, water management, cultivar, methane, nitrous oxide, mitigation.

## Introdução

---

O arroz (*Oryza sativa* L.) é um dos principais cereais produzidos no mundo, sendo base alimentar para mais de 3 bilhões de pessoas. O cereal é cultivado em cerca de 160 milhões de hectares, correspondendo a aproximadamente 11% das terras cultivadas no mundo. Esses números são representativos da importância da produção de arroz para a humanidade e do impacto potencial dessa atividade sobre o meio ambiente (GRISP, 2013).

Para atender a demanda mundial de arroz, é necessário aumentar tanto a área de cultivo, quanto a produtividade da cultura. Ambas as possibilidades devem intensificar o impacto ambiental negativo da cultura, que está fortemente associado à liberação de gases de efeito estufa (GEE) para a atmosfera, particularmente o metano ( $\text{CH}_4$ ), cuja produção decorre da decomposição da matéria orgânica em condições anaeróbicas (Le Mer; Roger, 2001) promovidas pela irrigação por inundação do solo. A lavoura de arroz também pode atuar como fonte importante de outro GEE, o óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), que é produto da transformação microbiana do nitrogênio (N) nativo do solo e oriundo de fertilizantes, estando associada à alternância nas condições de oxir-redução do solo, que predispõe à ocorrência dos processos de nitrificação e desnitrificação (Reddy; Delaune, 2008).

De acordo com dados do IPCC (2006), em termos mundiais as lavouras de arroz contribuem, respectivamente, com 30% e 11% das emissões de  $\text{CH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$  associadas à agricultura. Muito embora o Brasil seja o maior produtor de arroz fora do continente asiático, as emissões nacionais de  $\text{CH}_4$  decorrentes do cultivo de arroz são pouco expressivas (2,2% do total) (Brasil, 2019), visto que a área cultivada no regime irrigado é relativamente pequena (~1,3 milhão de hectares) (Conab, 2021), comparativamente aos principais países produtores do cereal. No entanto, para a região Sul do Brasil, especialmente o estado do Rio Grande do Sul, onde anualmente são cultivados cerca de 1,1 milhão de hectares com o cereal, a lavoura de arroz é uma atividade extremamente relevante na contabilização das emissões de  $\text{CH}_4$  do setor agropecuário, respondendo por mais de 89% das emissões totais de  $\text{CH}_4$  associadas à atividade (MCTI, 2020). Em decorrência disso, o setor orizícola gaúcho é extremamente visado e cobrado pela sociedade sob o aspecto ambiental, particularmente no que se refere à redução nas emissões de GEE, mas também quanto à elevada demanda hídrica, sendo requeridas intervenções que garantam a manutenção e, mesmo, eventuais aumentos de produção requeridos pelo mercado, de forma sustentável.

Apesar de o cultivo de arroz irrigado ser uma atividade com potencial de emissão de GEE elevado, esse efeito pode ser minimizado por alterações no manejo da cultura (IPCC, 2006), com destaque para o manejo da irrigação, que, em função de suas características e do período de inundação do solo, proporciona potenciais distintos de emissão de GEE (Chidthaisong et al., 2018; Islam et al., 2018a, b).

A irrigação por inundação intermitente é alvo de interesse da pesquisa em diferentes regiões produtoras do mundo como forma de mitigar as emissões de  $\text{CH}_4$  do cultivo de arroz, comparativamente à inundação contínua (Hadi et al., 2010; Hou et al., 2012; Tarlera et al., 2016). Contudo, seu uso ainda é pouco difundido junto ao setor produtivo no Rio Grande do Sul (Ávila et al., 2015). Também há pouca informação regional sobre a influência dessa prática sobre as emissões de GEE da lavoura de arroz (Moterle et al., 2013). Embora as emissões de  $\text{N}_2\text{O}$  do arroz irrigado por inundação contínua respondam, de forma geral, por menos de 10% do potencial de aquecimento global (PAGp) da cultura (Bayer et al., 2015), a intermitência da irrigação pode aumentar significativamente essa participação (Zschornack et al., 2016). Por essa razão, as emissões de  $\text{CH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$  devem ser avaliadas conjuntamente na determinação do impacto potencial da intermitência da irrigação sobre as emissões da lavoura de arroz. Além disso, em sistemas com elevado potencial produtivo, como os desenvolvidos no Rio Grande do Sul, a introdução de práticas de manejo com potencial mitigador de emissões de GEE e capazes de reduzir o uso da água pela lavoura de arroz não deve comprometer a produtividade da cultura.

Assim, o desafio da pesquisa local é estabelecer um sistema de manejo da água para o arroz que reduza as emissões de GEE e, concomitantemente, o uso da água, sem afetar a produtividade da cultura.



Outra estratégia mitigadora de emissões de GEE da lavoura de arroz refere-se à seleção de cultivares (Hussain et al., 2015), as quais, devido à diversidade genética, variam amplamente quanto a caracteres morfofisiológicos e à adaptação a fatores ambientais, influenciando no potencial de emissão de GEE. As diferenças entre as cultivares na emissão de  $\text{CH}_4$  têm sido atribuídas a variações na produção, oxidação e capacidade de transporte desse GEE (Lou et al., 2008). Todos esses fatores têm sido indicados como potenciais atributos determinantes do potencial de emissão de  $\text{CH}_4$  de cultivares de arroz (Yan et al., 2003), requerendo estudos para as condições locais.

Considerando-se que as cultivares de arroz apresentam potencial distinto de emissão de GEE, a associação do manejo da água à cultivar pode apresentar efeito sinérgico, constituindo-se em estratégia promissora para mitigar as emissões de GEE da lavoura de arroz.

Este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar a eficiência cultural de uso da água e o potencial de emissão de GEE de cultivares de arroz irrigado produzidas em sistemas irrigado por inundação contínua e intermitente, nas condições de cultivo das terras baixas do Rio Grande do Sul.

## Material e Métodos

---

O experimento foi realizado sob condições de campo, na safra agrícola 2019/2020, na Estação Experimental Terras Baixas da Embrapa Clima Temperado, localizada no município do Capão do Leão, RS. O solo da área experimental é classificado como Planossolo Háplico.

Os tratamentos incluíram a combinação de dois sistemas de irrigação (inundação contínua e inundação intermitente), três cultivares de arroz irrigado (híbrido XP 113 (tipo índica) e as cultivares convencionais BRS Pampa CL (tipo índica) e BRS 358 (tipo japônica)) e duas densidades de plantas (150 plantas  $\text{m}^{-2}$  e 300 plantas  $\text{m}^{-2}$ ), sendo dispostos em delineamento de blocos ao acaso em parcelas subdivididas com quatro repetições. Nas parcelas principais, foram alocados os níveis do fator sistema de irrigação; nas parcelas secundárias, os níveis do fator cultivar de arroz; e nas terciárias, os níveis do fator densidade de plantas. A variação na densidade visou verificar a possível interferência desse fator sobre o potencial de emissões de GEE das cultivares de arroz, dado que, normalmente, os híbridos são semeados em densidade 50% menor que as cultivares convencionais, por apresentarem sistema radicular mais robusto e maior capacidade de perfilhamento que as cultivares convencionais.

No sistema de irrigação por inundação contínua (controle), as parcelas experimentais foram inundadas no estágio de quatro folhas (V4), imediatamente após a primeira adubação nitrogenada em cobertura para o arroz, com manutenção de lâmina de água contínua de cerca de 7 cm até a maturação de colheita (estádio R9), quando a irrigação foi suprimida. A segunda cobertura com nitrogênio foi realizada por ocasião da diferenciação da panícula (estádio R1), sobre lâmina de água não circulante.

Por sua vez, o sistema de irrigação por inundação intermitente compreendeu o estabelecimento de períodos de solo aerado (drenado) nas fases vegetativa (entre os estádios V4+10 dias e R1) e reprodutiva (entre os estádios R1+5 dias e R7). Nesse manejo, o início da irrigação ocorreu em V4, imediatamente após a primeira adubação nitrogenada em cobertura para o arroz, com manutenção de lâmina de água de cerca de 7 cm por dez dias (V4+10 dias), quando se iniciou o primeiro ciclo de intermitência da irrigação. Os ciclos de intermitência da irrigação, limitados à tensão de água no solo de 20 kPa, foram procedidos repetidamente a partir de V4+10 dias até a maturação de colheita, exceção feita no início da fase reprodutiva, quando foi realizada a segunda adubação nitrogenada em cobertura para o arroz, mantendo-se lâmina de água de cerca de 7 cm por cinco dias, a partir da aplicação do fertilizante.

Para garantir a avaliação da tolerância das cultivares de arroz ao estresse hídrico proporcionado pela intermitência da irrigação e seu efeito sobre o potencial de emissão de GEE, em cada ciclo de intermitência da irrigação, a aeração do solo foi estabelecida mediante drenagem das parcelas experimentais. O retorno da irrigação ocorria sempre que a tensão de água no solo, medida por sensores de umidade, atingia o limite pré-estabelecido de 20 kPa. Estabelecida nova lâmina de irrigação de 7 cm, essa era mantida por três dias (72

horas), após isso iniciava-se novo ciclo de intermitência com a drenagem das parcelas. Esse procedimento foi repetido ao longo de todo o ciclo biológico do arroz.

Um tratamento de manejo da água adicional foi incluído para possibilitar o estabelecimento da eficiência cultural de uso da água potencial associada ao sistema de irrigação intermitente, ou seja, na ausência de drenagem, em que os ciclos de intermitência foram estabelecidos a partir da supressão do fornecimento de água ao arroz, de forma que o limite de tensão de água no solo foi atingido mais lentamente, variando em função da evapotranspiração e viabilizando o aproveitamento da água da chuva.

Em ambos os tratamentos com intermitência da irrigação, a tensão de água no solo foi medida por seis eletrotensiômetros de cápsula porosa Watermark® (Irrometer Inc.), instalados a 10 cm de profundidade, distribuídos nas parcelas experimentais. Para tanto, leituras diárias da tensão de água no solo foram realizadas no período da manhã. A decisão de retorno da irrigação baseava-se no valor médio de tensão de água no solo medido pelos sensores, ocorrendo quando esse era igual ou superior a 20 kPa.

No sistema de irrigação intermitente, a manutenção de lâmina de água constante por 10 e 5 dias após a realização da primeira e segunda coberturas nitrogenadas ao arroz, respectivamente, visou evitar que a variação nas condições de oxirredução do solo, provocada pelos ciclos de intermitência da irrigação, interferisse na eficiência de utilização de N pelo arroz e, conseqüentemente, no desempenho produtivo da cultura.

O arroz foi implantado em sistema convencional de preparo do solo. As práticas de manejo da cultura foram realizadas considerando as indicações técnicas para o arroz (Reunião..., 2018). Ao longo do ciclo da cultura, realizou-se o acompanhamento de variáveis climáticas precipitação pluviométrica e temperatura do ar. Da mesma forma, realizou-se a mensuração do uso da água pela cultura nos distintos sistemas de irrigação, utilizando-se hidrômetro McCrometer, com diâmetro de 300 mm, visando a determinação da quantidade de água aplicada e eficiência cultural de uso da água da cultura do arroz (relação entre a produtividade de grãos e a quantidade de água aplicada, via irrigação).

Para a avaliação das emissões dos gases de efeito estufa  $\text{CH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$ , utilizou-se o método da câmara estática fechada (Mosier, 1989). As amostragens de ar iniciaram a partir da emergência do arroz, estendendo-se até uma semana após a colheita da cultura. Para os tratamentos sob irrigação por inundação contínua, as coletas de amostras foram realizadas com periodicidade semanal e naqueles sob irrigação por inundação intermitente, duas vezes por semana. Excepcionalmente, nas semanas de realização das adubações nitrogenadas em cobertura para o arroz, a frequência de amostragem foi aumentada para cada dois dias em ambos os sistemas, visando melhorar as estimativas de emissão de  $\text{N}_2\text{O}$ .

As amostras de ar do interior das câmaras foram tomadas manualmente com auxílio de seringas de polipropileno, equipadas com válvulas do tipo *Luer Lock*, nos tempos 0; 5; 10; e 20 minutos após seu fechamento, sempre no horário entre as 9h e as 11h, que melhor representa as emissões diárias de GEE na região de estudo (Costa et al., 2008). O ar no interior das câmaras foi homogeneizado durante 30 segundos antes de cada amostragem, por meio de ventiladores presentes na parte superior das câmaras, e a temperatura interna monitorada com auxílio de termômetro digital de haste com visor externo.

As amostras de ar foram analisadas por cromatografia gasosa para determinação das concentrações de  $\text{CH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$ . Os fluxos desses gases do solo foram calculados pela relação linear entre a variação na concentração desses gases e o tempo de coleta (Bayer et al., 2014). A emissão acumulada no período foi calculada pela integração da área sob a curva obtida pela interpolação dos valores diários de emissão de  $\text{N}_2\text{O}$  e de  $\text{CH}_4$  do solo (Gomes et al., 2009). Com base nas concentrações obtidas de  $\text{CH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$  pela análise das amostras de ar, calculou-se o potencial de aquecimento global parcial (PAGp) de cada tratamento, convertendo as emissões dos respectivos gases para o  $\text{CO}_2$  equivalente ( $\text{kg CO}_2 \text{ equiv. ha}^{-1}$ ), considerando-se seu potencial de aquecimento global em relação ao  $\text{CO}_2$  como sendo 34 para o  $\text{CH}_4$  e 298 para o  $\text{N}_2\text{O}$ , para um tempo de permanência na atmosfera de 100 anos (IPCC, 2013).

A colheita do arroz para avaliação do rendimento de grãos foi realizada de forma escalonada para as cultivares, quando o teor médio de umidade dos grãos atingiu 22%. O material colhido foi trilhado, seco e pesado para determinação da produtividade de grãos, sendo os dados corrigidos para 13% de umidade.

Os resultados relativos às emissões totais de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O, PAGp, produtividade de grãos e uso da água pela cultura do arroz foram submetidos à análise de variância. Quando significativa, as médias dos fatores sistema de irrigação, cultivar de arroz e densidade de planta foram comparadas utilizando-se o teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

## Resultados e Discussão

---

### Desempenho produtivo do arroz

A produtividade de grãos foi influenciada pelo sistema de irrigação e pela cultivar de arroz de forma isolada, não havendo efeito da densidade de plantas e das interações entre os fatores.

Independentemente da cultivar e densidade, maior produtividade de grãos foi obtida sob irrigação por inundação contínua, relativamente à irrigação intermitente (Tabela 1), demonstrando alguma sensibilidade das três cultivares avaliadas ao estresse hídrico relativo proporcionado pelos ciclos de umedecimento e secagem associados à irrigação por inundação intermitente. A despeito desse efeito, é importante observar o elevado potencial de produtividade alcançado pelas cultivares de arroz sob ambos os sistemas de irrigação, o que se explica pela adequação dos demais fatores determinantes da produtividade da cultura, de maneira especial as condições climáticas extremamente favoráveis vigentes na região de cultivo durante a safra agrícola 2019/2020.

A redução na produtividade de grãos em resposta à intermitência na irrigação é um efeito relativamente comum no cultivo de arroz irrigado (Tarlera et al., 2016), dado que as cultivares correntemente utilizadas são desenvolvidas para o sistema inundado, sendo expostas a algum nível de estresse hídrico sob irrigação por inundação intermitente. Nesse sentido, nas condições de cultivo do Sul do Brasil, Concenço et al. (2016) avaliaram a produtividade do arroz sob distintos sistemas de irrigação e manejos da água, verificando redução da produtividade em resposta à intermitência da irrigação, relativamente à inundação contínua, corroborando com os resultados do presente estudo. Segundo esses autores, o arroz apresenta sensibilidade variável ao déficit hídrico ao longo de seu ciclo biológico, apresentando maior tolerância durante as fases vegetativa e de maturação de grãos; contrariamente, é mais suscetível durante a fase reprodutiva. Assim, a manutenção de lâmina de água contínua durante a fase reprodutiva é fundamental para manter altas produtividades. Além disso, a intermitência da irrigação impede que alguns benefícios decorrentes de alterações químicas promovidas pela inundação do solo (aumento do pH e na disponibilidade de nutrientes) sejam atingidos em plenitude, devido à alternância nas condições de oxirredução.

De acordo com Zschornack et al. (2016), o efeito da irrigação intermitente sobre a produtividade do arroz é controverso, dado que períodos de ausência de lâmina de água na lavoura também podem resultar em manutenção ou, até mesmo, em incremento na produtividade da cultura, relativamente à inundação contínua, conforme constatado em estudos desenvolvidos por Moterle et al. (2013) e Tarlera et al. (2016). Mas, por outro lado, redução na produtividade da cultura, como a observada no presente trabalho, também é possível (Towprayoon et al., 2005).

Vale destacar que a diminuição na produtividade do arroz, devida à intermitência na irrigação, é um efeito indesejado, especialmente nas condições de cultivo do Rio Grande do Sul, onde eventuais perdas de produtividade podem comprometer ainda mais a sustentabilidade da lavoura arrozeira, que há alguns anos vem sendo penalizada pela baixa rentabilidade. De qualquer forma, essa opção de manejo da cultura não deve ser descartada dado seu potencial de economizar água e mitigar emissões de GEE. Assim, é importante, ao se considerar o efeito de sistemas de irrigação e manejos alternativos da água para o arroz, que esse seja avaliado com base em escala que associe a produtividade da cultura a esses demais fatores, particularmente o potencial mitigador de emissões de GEE, conforme indicado por Zschornack et al. (2016).

**Tabela 1.** Produtividade de grãos de arroz em função do sistema de irrigação<sup>1</sup>. Embrapa Clima Temperado, Pelotas/RS, 2021.

Sistema de irrigação	Produtividade de grãos
	kg ha <sup>-1</sup>
Inundação contínua	11.306 a
Inundação intermitente	10.046 b
CV (%)	6,1

<sup>1</sup>Estação Experimental Terras Baixas, Capão do Leão/RS.

Médias seguidas de mesma letra minúscula, nas colunas, e maiúscula, nas linhas, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey (p<0,05).

A comparação entre as cultivares de arroz (Tabela 2) mostra que, na média de sistemas de irrigação e densidade de plantas, o desempenho produtivo das cultivares híbrida XP 113 e convencional BRS Pampa CL foi estatisticamente semelhante e superior ao da cultivar BRS 358, respectivamente. Esse resultado é atribuído ao potencial produtivo dessa cultivar (tipo japônic), que originalmente é menor que o das cultivares índicas XP 113 e BRS Pampa CL.

**Tabela 2.** Produtividade de grãos de cultivares de arroz irrigado<sup>1</sup>. Embrapa Clima Temperado, Pelotas/RS, 2021.

Cultivar	Produtividade de grãos
	kg ha <sup>-1</sup>
XP 113	11.148 a
BRS Pampa CL	11.348 a
BRS 358	9.532 b
CV (%)	6,1

<sup>1</sup>Estação Experimental Terras Baixas, Capão do Leão/RS.

Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey (p<0,05).

## Eficiência cultural de uso da água

Os dados de precipitação pluvial, volume de água aplicada e de eficiência cultural de uso da água do arroz constam na Tabela 3. Os dados mostram ter sido um ano agrícola extremamente seco, com precipitação total de 1.107 kg m<sup>-3</sup> ao longo de todo o ciclo biológico do arroz, correspondendo a menos de 20% da demanda hídrica da cultura, independentemente do sistema de irrigação. Esse percentual é bem menor que a precipitação pluvial média das regiões arrozeiras do Rio Grande do Sul (Wrege et al., 2011), que contribui, em média, com 46% da água evapotranspirada pelo arroz (Mota et al., 1990). Em decorrência disso, a irrigação foi responsável pelo suprimento da maior parte da demanda hídrica da cultura, independentemente do sistema de irrigação. Mesmo em um ano bastante seco, o volume de água aplicado no sistema irrigado por inundação contínua foi 16% superior ao do sistema intermitente sem drenagem, que possibilita melhor aproveitamento da água da chuva e, ainda, evita perdas de água, sedimentos e agroquímicos no processo de drenagem, reproduzindo o manejo de lavouras comerciais que adotam a intermitência da irrigação como forma de economizar água e reduzir custos. Por outro lado, o sistema intermitente com drenagem determinou maior uso da água entre os sistemas avaliados, inclusive a inundação contínua (Tabela 3). Dois fatores contribuíram para esse resultado, as perdas de água pelas sucessivas drenagens associadas aos ciclos de intermitência da irrigação e o baixo volume de chuvas ocorrido ao longo do período de cultivo do arroz, insuficiente para compensar as perdas de água associadas à drenagem da lavoura.

A quantidade de água aplicada ao arroz irrigado por inundação contínua (6.053 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) foi maior que a determinada por Parfitt et al. (2018); equiparou-se, porém, às observações de Petrini et al. (2013, 2017), que

trabalharam na mesma região arrozeira do presente trabalho. O sistema de irrigação por inundação contínua restringe o aproveitamento da água da chuva, uma vez que os quadros de produção de arroz encontram-se, na maior parte do tempo, com nível da água próximo ao limite máximo (Parfitt et al., 2018). Por outro lado, os sistemas de irrigação por inundação intermitente viabilizam maior aproveitamento da água da chuva, em razão da variabilidade da altura da lâmina de água na lavoura, refletindo-se em menor aplicação de água via irrigação em anos com maior volume de chuva e distribuição uniforme ao longo do ciclo da cultura.

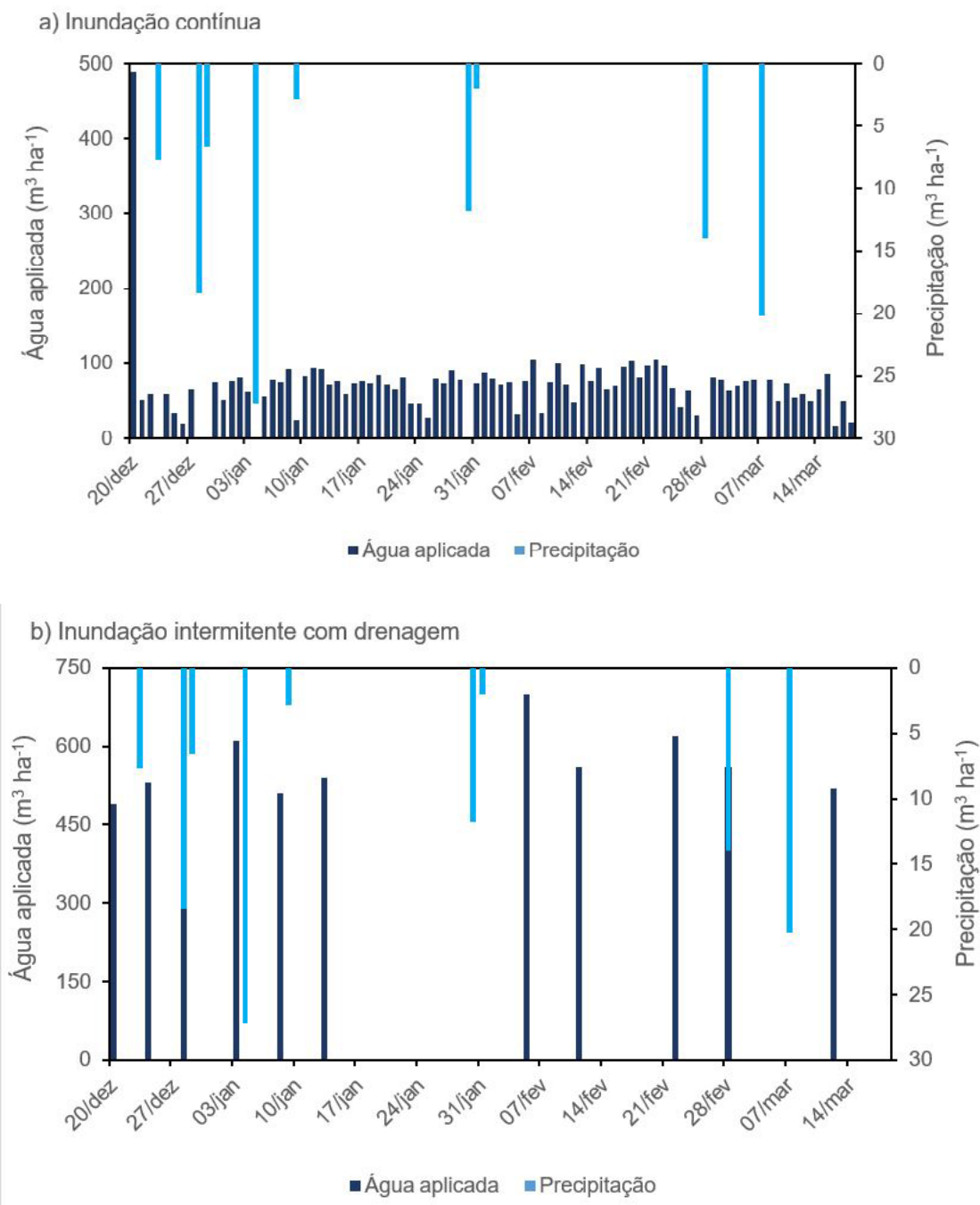
**Tabela 3.** Precipitação pluvial, volume de água aplicada e eficiência cultural de uso da água (EUA) da cultura de arroz irrigado, em função do sistema de irrigação<sup>1</sup>. Dados médios de três cultivares (XP 113, BRS Pampa CL e BRS 358) e duas densidades de planta (150 e 300 plantas m<sup>2</sup>). Embrapa Clima Temperado, Pelotas/RS, 2021.

Sistema de irrigação	Precipitação	Água aplicada	EUA
	m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	kg m <sup>-3</sup>
Inundação contínua	1.107	6.053	1,87
Inundação intermitente com drenagem	1.107	6.199	1,62
Inundação intermitente sem drenagem	1.107	5.207	1,97

<sup>1</sup>Estação Experimental Terras Baixas, Capão do Leão/RS.

Na Figura 1 é apresentada a distribuição dos dados de precipitação pluvial e de água aplicada ao longo do período de irrigação do arroz para os sistemas irrigado por inundação contínua e intermitente com drenagem. Observa-se que as chuvas estiveram concentradas na fase inicial do período de irrigação, quando a demanda evaporativa da cultura é menor, razão pela qual a contribuição da água de irrigação para o suprimento da demanda hídrica do arroz foi tão elevada na safra agrícola de estudo. Ademais, nota-se que o sistema com inundação contínua exigiu irrigações praticamente diárias, de lâminas menores ou iguais a 10 mm, demonstrando a limitação do sistema quanto ao aproveitamento da água da chuva, dado que a lavoura é mantida com nível de água próximo ao limite máximo. Por sua vez, no sistema intermitente com drenagem, as aplicações de água ocorreram em intervalos maiores e variáveis, em função da demanda evaporativa da cultura e condições climáticas, demonstrando o potencial do sistema para o aproveitamento da água da chuva, assim como verificado por Massey et al. (2014) em estudo desenvolvido no Mississippi (EUA), onde o sistema intermitente sem drenagem proporcionou economia de 32% na quantidade de água aplicada ao arroz.

A eficiência cultural de uso da água pelo arroz decresceu na seguinte ordem: sistema intermitente sem drenagem > inundação contínua > intermitente com drenagem (Tabela 3), expressando as variações na produtividade de grãos e quantidade de água aplicada ao arroz. Acrescenta-se que, independentemente do manejo de água considerado, os valores de eficiência de uso da água pela cultura determinados foram bastante elevados, refletindo tendência atual de adoção de conjunto de práticas de manejo que otimizem o uso de água pela cultura, visando à redução no uso, incluindo a economia de água advinda da diminuição do período de irrigação, do uso de lâmina de água de menor espessura e o aproveitamento da água da chuva.



**Figura 1.** Precipitação pluviométrica e volume de água aplicada ao arroz em cultivos irrigado por inundação contínua (a) e intermitente com drenagem (b). Dados médios de três cultivares (XP 113, BRS Pampa CL e BRS 358) e duas densidades de planta (150 e 300 plantas m<sup>2</sup>). Embrapa Clima Temperado, Pelotas/RS, 2021.

### Emissões sazonais de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O e potencial de aquecimento global parcial (PAGp) das cultivares de arroz

As emissões sazonais de CH<sub>4</sub> associadas à cultura do arroz foram influenciadas pelos três fatores avaliados de forma isolada, sistema de irrigação, cultivar e densidade de plantas, não se determinando significância das interações entre os mesmos. Na médias das três cultivares e duas populações de plantas, emissões de CH<sub>4</sub> significativamente maiores foram determinadas para o sistema de irrigação por inundação contínua (190,7 kg CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup>), relativamente à inundação intermitente (63,0 kg CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup>) (Tabela 4), o que representa diminuição de 67% no potencial de emissão desse GEE. Explica-se esse resultado pela presença de lâmina de água durante todo ou a maior parte do ciclo de cultivo do arroz no sistema irrigado por inundação contínua, proporcionando condições anaeróbias no solo, que favorecem a produção de CH<sub>4</sub> (Buendia et al., 1997).

Contrariamente, os ciclos de umedecimento e secagem do solo proporcionados pela irrigação por inundação intermitente retardam o estabelecimento do potencial de oxirredução propício à produção de  $\text{CH}_4$ , minimizando a emissão desse GEE. Isso porque a redução de material orgânico (C lábil) a  $\text{CH}_4$  ocorre apenas em sucessão à redução de outros aceptores de elétrons preferenciais, particularmente  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{4+}$  e  $\text{SO}_4^{2-}$ , que são convertidos, respectivamente, em  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  e  $\text{S}^{2-}$  (Yu et al., 2007).

**Tabela 4.** Emissões sazonais de  $\text{CH}_4$  e potencial de aquecimento global parcial (PAGp) associadas ao cultivo de arroz sob irrigação por inundação contínua e intermitente<sup>1</sup>. Embrapa Clima Temperado, Pelotas/RS, 2021.

Sistema de irrigação	$\text{CH}_4$	PAGp
	kg ha <sup>-1</sup>	kg CO <sub>2</sub> equiv ha <sup>-1</sup>
Inundação contínua	190,7 a	6.486,2 a
Inundação intermitente	63,0 b	2.142,2 b
CV (%)	25,2	25,8

<sup>1</sup>Estação Experimental Terras Baixas, Capão do Leão/RS.

Médias seguidas de mesma letra minúscula, nas colunas, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey (p<0,05).

No sistema irrigado por inundação contínua, as emissões de  $\text{CH}_4$  do híbrido XP 113 totalizaram 164,8 e 182,0 kg ha<sup>-1</sup>, nas populações de 150 e 300 plantas m<sup>-2</sup>, respectivamente, enquanto que para as cultivares convencionais os valores foram 183,9 e 231,4 kg  $\text{CH}_4$  ha<sup>-1</sup> (BRS Pampa CL) e 174,1 e 208,4 kg  $\text{CH}_4$  ha<sup>-1</sup> (BRS 358), respectivamente, nas mesmas populações. Por sua vez, sob irrigação por inundação intermitente, as emissões foram reduzidas para 36,8 e 35,7 kg  $\text{CH}_4$  ha<sup>-1</sup>; 55,7 e 86,7 kg  $\text{CH}_4$  ha<sup>-1</sup>; 58,0 e 105,1 kg  $\text{CH}_4$  ha<sup>-1</sup>, respectivamente, para as cultivares XP 113, BRS Pampa CL e BRS 358 nas densidades de 150 e 300 plantas m<sup>-2</sup> (Figura 2).

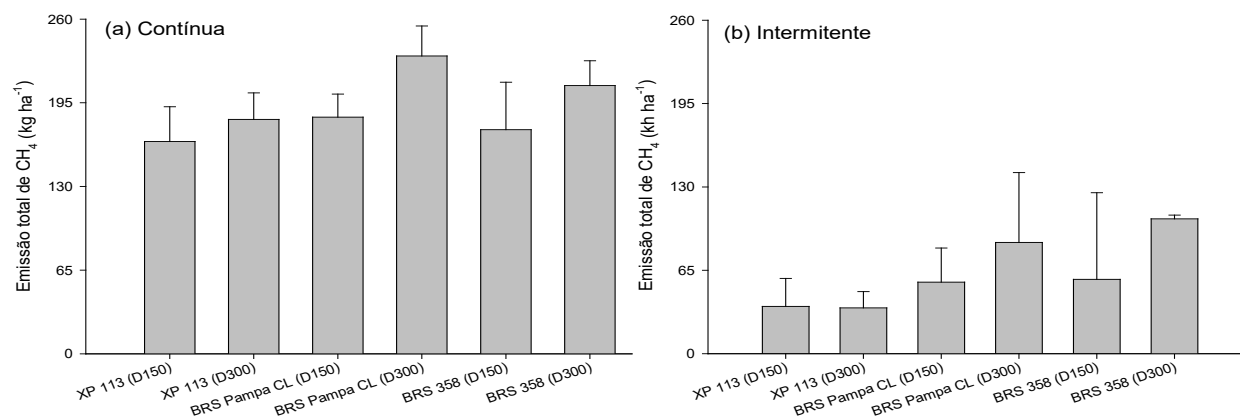
Reduções significativas nas emissões de  $\text{CH}_4$  devidas à adoção de diferentes modalidades de irrigação por inundação intermitente no cultivo de arroz, relativamente à inundação contínua, têm sido extensivamente reportadas em nível mundial (Towprayoon et al., 2005; Liu et al., 2010), de forma que adequações no manejo da água para a cultura do arroz são vistas como uma das ferramentas mais efetivas para mitigar as emissões de  $\text{CH}_4$  e o potencial de aquecimento global desse cultivo (Hussain et al., 2015; Chirinda et al., 2018). Em nível nacional, algumas iniciativas nesse sentido já foram empreendidas, com resultados também promissores. Em estudo realizado em CachoeirinhaRS, Zschornack (2011) verificou mitigação de 41% nas emissões de  $\text{CH}_4$  do cultivo de arroz decorrente da adoção de irrigação por inundação intermitente, caracterizada pela drenagem do solo na fase vegetativa (V6 a V8), em relação à irrigação por inundação contínua. Por sua vez, pesquisa desenvolvida por Wesz (2012) apresentou resultado de maior magnitude em estudo desenvolvido na região de PelotasRS, indicando redução de 77% nas emissões de  $\text{CH}_4$  do cultivo do arroz pelo uso de irrigação por inundação intermitente, em substituição à inundação contínua.

A comparação das emissões sazonais de  $\text{CH}_4$  das cultivares de arroz demonstrou que o híbrido XP 113 (104,8 kg  $\text{CH}_4$  ha<sup>-1</sup>) proporcionou emissões significativamente inferiores que as cultivares convencionais BRS Pampa CL (139,4 kg  $\text{CH}_4$  ha<sup>-1</sup>) e BRS 358 (136,4 kg  $\text{CH}_4$  ha<sup>-1</sup>), que não diferiram entre si (Tabela 5). Possivelmente, esse resultado se deve ao fato de os híbridos de arroz, por possuírem maior biomassa de parte aérea e de raízes que as cultivares convencionais de arroz (Jiang et al., 2017; 2019), promoverem o transporte de  $\text{O}_2$  atmosférico para a rizosfera, favorecendo a população e atividade dos microrganismos metanotróficos, responsáveis pela oxidação do  $\text{CH}_4$  produzido no solo, reduzindo, portanto, a emissão desse GEE (Bhattacharyya et al., 2019).

Ao avaliarem as emissões de  $\text{CH}_4$  de cultivares de arroz irrigado, Ma et al. (2010) verificaram que cultivar híbrida apresentou emissão semelhante à de cultivar convencional japônica, porém inferior à de cultivar convencional índica.

Por sua vez, ao se confrontarem as densidades de plantas (Tabela 6), verifica-se que maiores emissões de  $\text{CH}_4$  estiveram associadas ao uso de 300 plantas m<sup>-2</sup> (141,6 kg  $\text{CH}_4$  ha<sup>-1</sup>), relativamente à 150 plantas m<sup>-2</sup>

(112,2 kg CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup>). Infere-se que esse efeito também esteja associado à maior quantidade de raízes e de perfilhos e, conseqüentemente, de aerênquima, por onde o CH<sub>4</sub> produzido é transportado para a atmosfera. Caracteres morfológicos das plantas de arroz podem influenciar sua capacidade de transporte de CH<sub>4</sub> (Aulakh et al., 2000).



Estação Experimental Terras Baixas, Capão do Leão/RS.

**Figura 2.** Emissões totais de CH<sub>4</sub> das cultivares de arroz XP 113, BRS Pampa CL e BRS 358 nas densidades de 150 (D150) e 300 plantas m<sup>-2</sup> (D300), sob irrigação por inundação contínua (a) e intermitente (b), em que as barras verticais representam o desvio padrão da média. Embrapa Clima Temperado, Pelotas/RS, 2021.

**Tabela 5.** Emissões sazonais de CH<sub>4</sub> e potencial de aquecimento global parcial (PAGp) das cultivares de arroz irrigado XP 113, BRS Pampa CL e BRS 358<sup>1</sup>. Embrapa Clima Temperado, Pelotas/RS, 2021.

Cultivar	Emissão total de CH <sub>4</sub>	
	kg ha <sup>-1</sup>	PAGp kg CO <sub>2</sub> equiv ha <sup>-1</sup>
XP 113	104,8 b	3.596,1 b
BRS Pampa CL	139,4 a	4.740,4 a
BRS 358	136,4 a	4.637,6 a
CV (%)	25,2	25,8

<sup>1</sup>Estação Experimental Terras Baixas, Capão do Leão/RS.

Médias seguidas de mesma letra minúscula, nas colunas, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey (P<0,05).

**Tabela 6.** Emissões sazonais de CH<sub>4</sub> e potencial de aquecimento global parcial (PAGp) associado ao cultivo de arroz irrigado em função da densidade de planta<sup>1</sup>. Embrapa Clima Temperado, Pelotas/RS, 2021.

Densidade de plantas	Emissão total de CH <sub>4</sub>	
	kg ha <sup>-1</sup>	PAGp kg CO <sub>2</sub> equiv ha <sup>-1</sup>
150 plantas m <sup>-2</sup>	112,2 b	3.815,6 b
300 plantas m <sup>-2</sup>	141,6 a	4.812,9 a
CV (%)	25,2	25,8

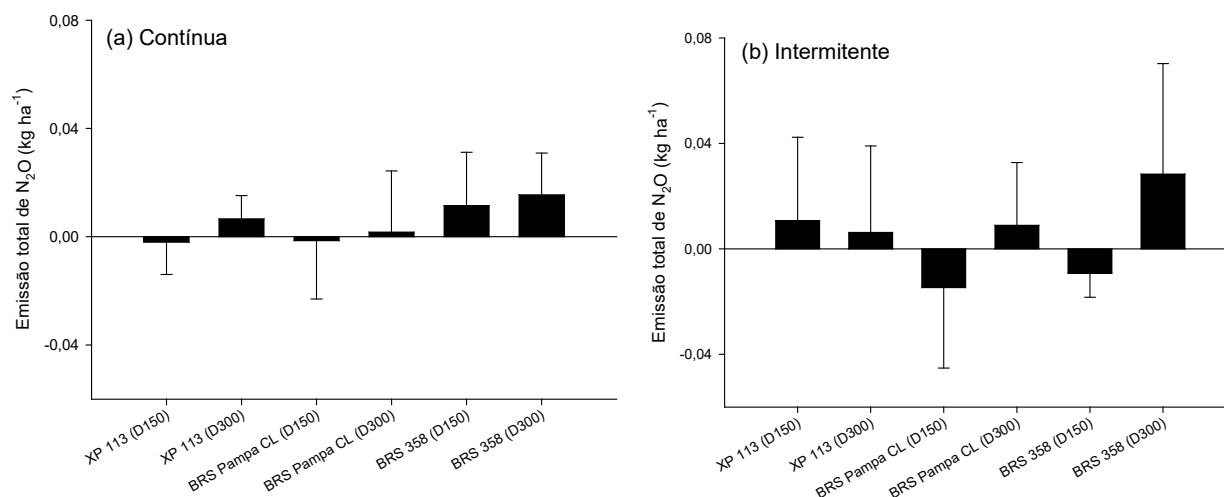
<sup>1</sup>Estação Experimental Terras Baixas, Capão do Leão/RS.

Médias seguidas de mesma letra minúscula, nas colunas, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey (P<0,05).

As emissões sazonais de N<sub>2</sub>O do solo foram extremamente baixas, indistintamente para todos os tratamentos, incluindo sistemas de irrigação, cultivares de arroz e densidades de plantas. Para alguns dos tratamentos, os resultados indicaram, inclusive, absorção desse gás de efeito estufa (Figura 3).



Sob irrigação por inundação contínua, determinou-se absorção do  $N_2O$  para as cultivares XP 113 e BRS Pampa CL, na densidade de 150 plantas  $m^{-2}$ . Na maior densidade, as emissões de  $N_2O$  dessas cultivares totalizaram 0,104 e 0,027  $kg\ ha^{-1}$ , respectivamente. Para a cultivar BRS 358, no mesmo sistema de irrigação, as emissões de  $N_2O$  foram de 0,181 e 0,244  $kg\ ha^{-1}$ , respectivamente, para as densidades de 150 e 300 plantas  $m^{-2}$  (Figura 3a). Quanto ao sistema de irrigação por inundação intermitente, as cultivares BRS Pampa CL e BRS 358, na densidade de 150 plantas  $m^{-2}$ , proporcionaram absorção de  $N_2O$ ; mas para 300 plantas  $m^{-2}$ , os valores medidos foram, respectivamente, 0,140 e 0,624  $kg\ ha^{-1}$ . As emissões do híbrido XP 113 foram de 0,263 e 0,063  $kg\ m^{-2}$ , nas para 150 e 300 plantas  $m^{-2}$ , respectivamente, sob irrigação por inundação intermitente (Figura 3b).



Estação Experimental Terras Baixas, Capão do Leão/RS.

**Figura 3.** Emissões totais de  $N_2O$  das cultivares de arroz XP 113, BRS Pampa CL e BRS 358 nas densidades de 150 (D150) e 300 plantas  $m^{-2}$  (D300), sob irrigação por inundação contínua (a) e intermitente (b)<sup>1</sup>, em que as barras verticais representam o desvio padrão da média. Embrapa Clima Temperado, Pelotas/RS, 2021.

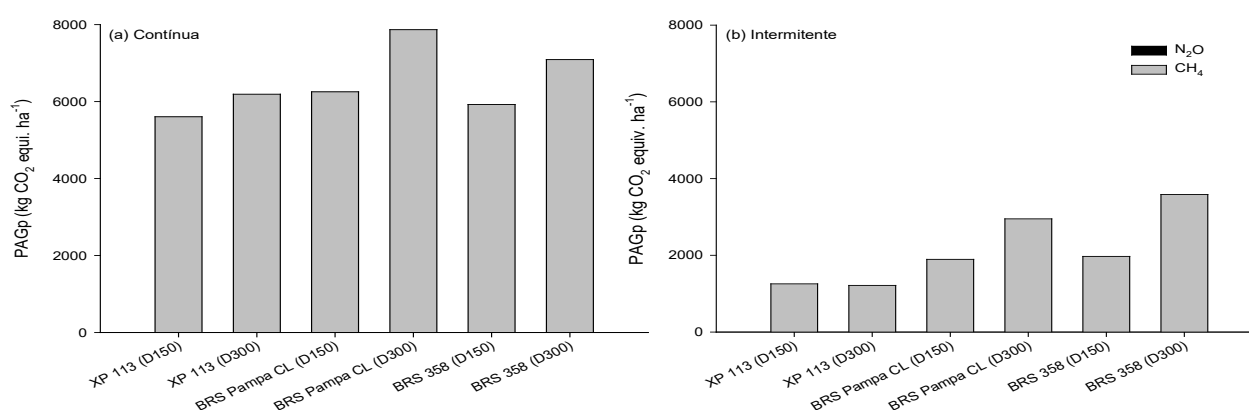
Muito embora, via de regra, o  $CH_4$  seja o principal componente do potencial de aquecimento global parcial (PAGp) do cultivo de arroz irrigado por inundação contínua, correspondendo normalmente a mais de 90% do total (Towprayoon et al., 2005; Bayer et al., 2014), sob irrigação por inundação intermitente, a contribuição do  $N_2O$  para o PAGp pode aumentar consideravelmente (Zschornack et al., 2016), dado que os ciclos de umedecimento e secagem do solo favorecem os processos de nitrificação e desnitrificação no solo, que geram  $N_2O$  como produto intermediário (Liu et al., 2010). Tal efeito não se confirmou no presente trabalho, no qual não se determinou aumento das emissões de  $N_2O$  do solo decorrente da adoção de irrigação por inundação intermitente, comparativamente à inundação contínua. Atribuem-se as baixas emissões de  $N_2O$  do solo determinadas no presente trabalho à adequação no manejo da adubação nitrogenada para a cultura; ambas as coberturas nitrogenadas foram realizadas em solo seco, sendo sucedidas por irrigação por inundação do solo, visando a incorporação do fertilizante ao solo e redução de perdas.

Como o  $CH_4$  foi o GEE dominante do potencial de aquecimento global parcial (PAGp) do arroz, independentemente do tratamento, o comportamento observado para essa variável foi semelhante ao descrito para as emissões sazonais de  $CH_4$ , ou seja, a irrigação por inundação contínua proporcionou PAGp (6.486,2  $kg\ CO_2\ equiv.\ ha^{-1}$ ) superior ao proporcionado pela inundação intermitente (2.142,2  $kg\ CO_2\ equiv.\ ha^{-1}$ ) (Tabela 4). A intermitência na irrigação proporcionou redução média de 67% no PAGp do arroz. Esses resultados corroboram observações de Wesz (2012), em estudo realizado em mesmo tipo de solo na região de Pelotas, RS, demonstrando a efetividade do sistema de irrigação por inundação intermitente para a mitigação do PAGp do cultivo de arroz irrigado.

Da mesma forma, o efeito das cultivares e populações de planta de arroz sobre o PAGp da cultura seguiu aquele descrito para as emissões totais de  $\text{CH}_4$ . Portanto, a cultivar híbrida XP 113 destacou-se em relação às cultivares convencionais BRS Pampa CL e BRS 358, pelo menor PAGp (Tabela 5). O uso da menor densidade também promoveu menor PAGp relativamente à densidade de 300 plantas  $\text{m}^{-2}$  (Tabela 6), que é usualmente recomendada para cultivares convencionais de arroz (Reunião..., 2018).

Ma et al. (2012) avaliaram as emissões de GEE de cultivares de arroz irrigado sob distintas densidades de sementeira e verificaram que a magnitude do PAGp foi diretamente proporcional à densidade.

Conforme referido anteriormente, o  $\text{CH}_4$  contribuiu com praticamente a totalidade do PAGp da cultura do arroz. Independentemente do tratamento, os valores medidos foram superiores a 99% do total (Figura 4). Em alguns tratamentos específicos, a pequena absorção de  $\text{N}_2\text{O}$  (Figura 3) contribuiu, inclusive, para pequena redução no PAGp do arroz.



Estação Experimental Terras Baixas, Capão do Leão/RS.

**Figura 4.** Potencial de aquecimento global parcial (PAGp) das cultivares de arroz XP 113, BRS Pampa CL e BRS 358 nas densidades de 150 (D150) e 300 plantas  $\text{m}^{-2}$  (D300), sob irrigação por inundação contínua (a) e intermitente (b). Embrapa Clima Temperado, Pelotas/RS, 2021.

## Conclusões

A adoção de irrigação por inundação intermitente sem drenagem promove redução no volume de água aplicada e incremento na eficiência de irrigação do arroz.

As cultivares de arroz XP 113, BRS Pampa CL e BRS 358 proporcionam maior emissão sazonal de  $\text{CH}_4$  e potencial de aquecimento global parcial (PAGp) sob cultivo irrigado por inundação contínua, comparativamente à inundação intermitente.

O híbrido de arroz XP 113 apresenta menor potencial de emissão de  $\text{CH}_4$  e PAGp que as cultivares convencionais BRS Pampa CL e BRS 358.

As emissões de  $\text{CH}_4$  das cultivares de arroz irrigado aumentam proporcionalmente à densidade de plantas.

As emissões sazonais de  $\text{N}_2\text{O}$  das cultivares de arroz são semelhantes, independentemente do sistema de irrigação e da densidade de plantas.

A irrigação por inundação intermitente reduz o potencial produtivo das cultivares de arroz, em relação à inundação contínua.

Ambas as estratégias, manejo da água e o uso de cultivares com menor potencial de emissão de GEE, constituem alternativas promissoras de mitigação do PAGp da lavoura de arroz irrigado.

## Referências

- 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.
- ÁVILA, L. A.; MARTINI, L. F. D.; MEZZOMO, R. F.; REFATTI, J. P.; CAMPOS, R.; CEZIMBRA, D. M.; MACHADO, S. L. O.; MASSEY J. H.; CARLESSO, R.; MARCHESAN, E. Rice water use efficiency and yield under continuous and intermittent irrigation. **Agronomy Journal**, v. 107, p. 442-448, 2015.
- BAYER, C.; COSTA, F. S.; PEDROSO, G. M.; ZSCHORNACK, T.; CAMARGO, E.; LIMA, M. A. FRIGHETO, R.; GOMES, J. MARCONLIN, 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.; CAMARGO, E.; BOENI, M.; MARCONLIN, E.; REIS, C. E. S.; SANTOS, D. C. 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. 118-125, 2015.
- BHATTACHARYYA, P.; DASH, P. K.; SWAIN, C. K.; PADHY, S. R.; ROY, K. S.; NEOGI, S.; BERLINER, J.; ADAK, T.; POKHARE, S. S.; BAIG, M. J.; MOHAPATRA, T. Mechanism of plant mediated methane emission in tropical lowland rice. **Science of the Total Environment**, v. 651, p. 84-92, 2019.
- BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. Secretaria de Políticas para a Formação e Ações Estratégicas. Coordenação-geral do Clima. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**. 5. ed. Brasília, DF, 2019. 71 p.
- BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Relatórios de Referência Setorial: Emissões de Gases do Efeito Estufa no Setor Agropecuario - Emissões do Cultivo de Arroz**. Brasília, DF, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial>. Acesso em: 17 maio 2021.
- BUENDIA, L. V.; NEUE, H. U.; WASSMANN, R.; LANTIN, S.; JAVELLANA, A. M. Understanding the nature of methane emission from rice ecosystem as basis of mitigation strategies. **Applied Energy**, v. 56, p. 433-444, 1997.
- CHIDTHAISONG, A.; CHA-UN, N.; ROSSOPA, B.; BUDDABOON, C.; KUNUHAI, C.; SRIPHIROM, P.; TOWPRAYOON, S.; TOKIDA, T.; PADRE, A. T.; MINAMIKAWA, K. Evaluating the effects of alternate wetting and drying (AWD) on methane and nitrous oxide emissions from a paddy field in Thailand. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 64, n. 1, p. 31-38, 2018.
- CHIRINDA, N.; ARENAS, L.; KATTO, M.; LOAIZA, S.; CORREA, F.; ISTHITANI, M.; Ana Maria LOBOGUERRERO, A. M.; MARTÍNEZ-BARÓN, D.; GRATEROL, E.; JARAMILLO, E.; TORRES, C. F.; ARANGO, M.; GUZMÁN, M.; AVILA, I.; HUBE, S.; KURTZ, D. B.; ZORRILLA, G.; TERRA, J.; IRISARRI, P.; TARLERA, S.; LA HUE, G.; SCIVITTARO, W. B.; NOGUERA, A.; BAYER, C. Sustainable and low greenhouse gas emitting rice production in latin america and the caribbean: a review on the transition from ideality to reality. **Sustainability**, v. 10, n. 3, p. 671, 2018.
- CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos: décimo primeiro levantamento, safra 2020/21**. Brasília, DF, v. 8, n. 10, ago. 2021. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/safra/graos>. Acesso em: 10 ago. 2021.
- CONCENÇO, G.; PARFITT, J. M. B.; DOWNING, K.; LARUE, J.; SILVA, J. T. da. Rice development and water demand under drought stress imposed at distinct growth stages. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, p. 4147-4156, 2016.
- COSTA, F. S.; BAYER, C.; LIMA, M. A.; FRIGHETTO, R. T. S.; MACEDO, V. R. M.; MARCOLINI, E. Variação diária da emissão de metano em solo cultivado com arroz irrigado no Sul do Brasil. **Ciência Rural**, v. 38, n. 7, p. 2049-2053, 2008.
- GRISP (GLOBAL RICE SCIENCE PARTINERSHIP). **Rice almanac**. 4<sup>th</sup> ed. Los Baños: International Rice Research Institute, 2013. 283 p.
- 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.
- HADI, A.; INUBUSHI, K.; YAGI, K. Effect of water management on greenhouse gas emissions and microbial properties of paddy soils in Japan and Indonesia. **Paddy Water Environment**, v. 8, p. 319-324, 2010.
- HOU, H.; PENG, S.; XU, J.; YANG, S.; MAO, Z. Seasonal variations of CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O emissions in response to water management of paddy fields located in southeast China, **Chemosphere**, v. 89, p. 884-892, 2012.
- HUSSAIN, S.; PENG, S.; FAHAD, S.; KHALIQ, A.; HUANG, J.; CUI, K.; NIE, L. Rice management interventions to mitigate greenhouse gas emissions: a review. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, p. 3342-3360, 2015.
- IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE). 2006 IPCC **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. In: EGGLESTON, S.; BUENDIA, L.; MIWA, K.; NGARA, T.; TANABE, K. (ed.). **Hayama, Japan: Institute for Global Environmental Strategies**. Disponível em: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>.
- IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE). **Climate Change 2013: The Physical Science Basis: Working group I contribution to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change**. 2013. Disponível em: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG1AR5\\_SummaryVolume\\_FINAL.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG1AR5_SummaryVolume_FINAL.pdf). Acesso em: 30 jun. 2020.
- ISLAM, M. R.; SIDDIQUE, I. A.; ALI, M. H.; ISLAM, M. R.; MAHMUD, A. A. Rice genotypic variation in methane emission patterns under irrigated culture. **Fundamental and Applied Agriculture**, v. 4, n. 1, p. 1, 2018a.
- ISLAM, S. F.; GROENIGEN, J. W.; JENSEN, L. S.; SANDER, B. O.; DE NEERGAARD, A. The effective mitigation of greenhouse gas emissions from rice paddies without compromising yield by early-season drainage. **Science of the Total Environment**, v. 612, p. 1329-1339, 2018b.
- JIANG, Y.; QIAN, H. Y.; HUANG, S.; ZHANG, X. Y.; WANG, L.; ZHANG, L.; SHEN, M. X.; XIAO, X. P.; CHEN, F.; ZHANG, H. L.; LU, C. Y.; LI, C.; ZHANG, J.; DENG, A. X.; van GROENIGEN, K. J.; ZHANG, W. J. Acclimation of methane emissions from rice paddy fields to straw addition. **Science Advances**, v. 5, eaau9038, 2019.

- JIANG, Y.; van GROENIGEN, K. J.; HUANG, S.; HUNGATE, B. A.; van KESSEL, C.; HU, S. J.; ZHANG, J.; WU, L. H.; YAN, X. J.; WANG, L. L.; CHEN, J.; HANG, X. N.; ZHANG, Y.; HORWATH, W. R.; YE, R. Z.; LINQUIST, B. A.; SONG, Z. W.; ZHENG, C. Y.; DENG, A. X.; ZHANG, W. J. Higher yields and lower methane emissions with new rice cultivars. **Global Change Biology**, v. 23, p. 4728-4738, 2017.
- LE MER, J.; ROGER, P. Production, oxidations, emission and consumption of methane by soils: a review. **European Journal of Soil Biology**, v. 37, p. 25-50, 2001.
- LIU, S.; QIN, Y.; ZOU, J.; LIU, Q. Effects of water regime during rice-growing season on annual direct N<sub>2</sub>O emission in a paddy rice-winter wheat rotation system in southeast China. **Science of the Total Environment**, v. 408, n. 4, p. 906-913, 2010.
- LOU, Y.; INUBUSHI, K.; MIZUNO, T. CH<sub>4</sub> emissions with difference in atmospheric CO<sub>2</sub> enrichment and rice cultivars in a Japanese paddy field. **Global Change Biology**, v. 14, p. 2678-2687, 2008.
- MA, K. E.; QIU, Q.; LU, Y. Microbial mechanism for rice variety control on methane emission from rice field soil. **Global Change Biology**, v. 16, n. 11, p. 3085-3095, 2010.
- MA, Y.; WANG, J.; ZHOU, W.; YAN, X.; XIONG, Z. Greenhouse gas emissions during the seedling stage of rice agriculture as affected by cultivar type and crop density. **Biology and Fertility of Soils**, v. 48, n. 5, p. 589-595, 2012.
- MASSEY, J. H.; WALKER, T. W.; ANDERS, M. M.; SMITH, M. C.; AVILA, L. A. Farmer adaptation of intermittent flooding using multiple-inlet rice irrigation in Mississippi. **Agricultural Water Management**, v. 146, p. 297-304, 2014.
- MOSIER, A. R. Chamber and isotope techniques. In: ANDREAE, M. O.; SCHIMMEL, D. S. (ed.). **Exchange of traces gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere**: report of the Dahlem Workshop. Berlin: Wiley, 1989. p. 175-187.
- MOTA, F. S. da; ALVES, E. G. P.; BECKER, C. T. Informação climática para planejamento da necessidade de água para irrigação do arroz no Rio Grande do Sul. **Lavoura Arrozeira**, v. 43, n. 392, p. 3-6, 1990.
- MOTERLE, D. F.; SILVA, L. S. da; MORO, V. J.; BAYER, C.; ZSCHORNACK, T.; AVILA, L. A.; BUNDT, A. C. Methane efflux in rice paddy field under different irrigation managements. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 431-437, 2013.
- PARFITT, J. M. B.; SILVA, J. T. da; BUENO M. V.; TIMM, P. de A; CAMPOS, A. D. S. de; AIRES, T. do A.; TIMM, C. **Quantificação da demanda hídrica na cultura do arroz em função do manejo da irrigação por inundação**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2018. 17 p. (Embrapa Clima Temperado. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 313).
- PETRINI, J. A.; AZAMBUJA, I. H. V.; MAGALHAES JUNIOR, A. M. de; FAGUNDES, P. R. R.; WINKLER, A. S.; KUHN, R. Estratégias de irrigação para redução do uso da água em arroz irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 8., 2013, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: SOSBAI, 2013. p. 1180-1183.
- PETRINI, J. A.; PARFITT, J. M. B.; PILON, M.; ELY, M.F.; MAGALHÃES JÚNIOR., A. M. de; SILVA, J. T. da; KUHN, R. Racionalização de água em arroz irrigado: inundação contínua com fornecimento intermitente. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 10., 2017, Gramado. **Anais...** Porto Alegre: SOSBAI, 2017. p. 280-283.
- REDDY, K. R.; DeLAUNE, R. D. **Biogeochemistry of wetlands**: science and applications. Boca Raton: CRC, 2008. p. 257-264.
- REUNIÃO TÉCNICA DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 32, Farroupilha-RS. **Arroz irrigado**: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. Cachoeirinha: Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado, 2018, 205 p.
- TARLERA, S.; CAPURRO, M. C.; IRISARRI, P.; SCAVINO, A. F.; CANTOU, G.; ROEL, A. Yield-scaled global warming potential of two irrigation management systems in a highly productive system, **Scientia Agrícola**, v. 73, n. 1, p. 43-50, 2016.
- TOWPRAYOON, S.; SMAKGAHN, K.; POONKAEW, S. Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from drained irrigated rice fields. **Chemosphere**, v. 59, p. 1547-1556, 2005.
- WESZ, J. **Emissões de metano e óxido nítrico em Planossolo em função do manejo da água no arroz irrigado**. 2012. 71 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Solos, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2012.
- WREGE, M. S.; STEINMETZ, S.; REISSER JÚNIOR, C.; ALMEIDA, I. R. de. (ed.). **Atlas climático da Região Sul do Brasil**: Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 333 p.
- YAN, X.; OHARA, T.; AKIMOTO, H., Development of region-specific emission factors and estimation of methane emission from rice fields in the East, Southeast and South Asian countries. **Global Change Biology**, v. 9, p. 237-254, 2003. doi:10.1046/j.1365-2486.2003.00564.x
- YU, K.; BOHME, F.; RINKLEBE, J.; NEUE, H. U.; DeLAUNE, R. D. Major biogeochemical processes in soils: a microcosmo incubation from reducing to oxidizing conditions. **Soil Science Society of America Journal**, v. 71, p. 1406-1417, 2007.
- ZSCHORNACK, T. **Emissões de metano e de óxido nítrico em sistemas de produção de arroz irrigado no Sul do Brasil e potencial de mitigação por práticas de manejo**. 2011. 87 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.
- ZSCHORNACK, T.; ROSA, C. M. da; CAMARGO, E. S.; REIS, C. E. S. dos; SCHOENFELD, R.; BAYER, C. Impacto de plantas de cobertura e da drenagem do solo nas emissões de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O sob cultivo de arroz irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 51, n. 9, p. 1163-1171, set. 2016.

**Embrapa**

---

***Clima Temperado***