

CIRCULAR TÉCNICA

244

Pelotas, RS
Outubro/2023

Uso da água e mitigação de emissões de gases de efeito estufa de cultivares de arroz irrigado por inundação contínua e intermitente

OBJETIVOS DE
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL2 FOME ZERO
E AGRICULTURA
SUSTENTÁVELOBJETIVOS DE
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL13 AÇÃO CONTRA A
MUDANÇA GLOBAL
DO CLIMA

Walkyria Bueno Scivittaro
José Maria Barbat Parfitt
Eduarda Ehler Vasconcelos
Alexssandra Soares de Campos
Lincon Soares dos Santos



Uso da água e mitigação de emissões de gases de efeito estufa de cultivares de arroz irrigado por inundação contínua e intermitente¹

O arroz é um alimento básico para mais de metade da população mundial, ocupando anualmente uma área próxima a 153 milhões de hectares, que corresponde a 11% das terras agricultáveis do mundo (Islam et al., 2018).

O cultivo de arroz em sistema irrigado por inundação do solo é a atividade agrícola com maior demanda de água (Thakur et al., 2016), podendo utilizar até 2.500 L de água por quilograma de grãos produzidos, dependendo do ecossistema e clima do local de cultivo (Bouman, 2009). A ocorrência cada vez mais frequente de eventos extremos de calor e estiagem, associada ao crescimento da população, desenvolvimento econômico e redução da qualidade da água, têm intensificado a competição entre os setores agrícola, industrial e urbano pelos finitos suprimentos de água do planeta. Por consequência, ao longo das últimas décadas, a escassez de água tem se tornado um dos principais desafios à produção de arroz (Feng et al., 2021), exigindo ações voltadas à disponibilização e adoção de práticas de manejo que proporcionem economia de água e promovam a eficiência de irrigação, sem, contudo, comprometer a produtividade da cultura e a segurança alimentar.

Uma consequência igualmente preocupante do sistema de irrigação por inundação do solo, convencionalmente utilizado no cultivo de arroz, refere-se à emissão de metano (CH_4), que é um bioproduto da decomposição anaeróbica de resíduos de plantas e da matéria orgânica do solo (Le Mer; Roger, 2001). A lavoura de arroz é responsável por cerca de 50% das emissões totais de CH_4 decorrentes da atividade agrícola, contribuindo, ainda, com 10% das emissões totais de óxido nitroso (N_2O) (Wang et al., 2017), que resulta

¹ Walkyria Bueno Scivittaro, engenheira-agrônoma, doutora em Ciências, pesquisadora da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS. José Maria Barbat Parfitt, engenheiro agrícola, doutor em Ciência do Solo, pesquisador da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS. Eduarda Ehler Vasconcelos, estudante de Engenharia Agrônoma, Faem/UFPel, Pelotas, RS. Alexssandra Soares de Campos, engenheira-agrônoma, doutora em Ciência do solo, Pelotas, RS. Lincon Soares dos Santos, estudante de Engenharia Agrônoma, Faem/UFPel, Pelotas, RS.

da transformação microbiana do nitrogênio (N) nativo do solo e oriundo de fertilizantes, estando associada à alternância nas condições de oxirredução do solo, que predispõe aos processos de nitrificação e desnitrificação (Reddy; Delaune, 2008).

No Brasil, maior país produtor de arroz fora do continente asiático, as emissões nacionais de 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 (~1,2 milhão de hectares) (Conab, 2023), comparativamente aos principais países produtores do cereal. No entanto, para a região Sul, especialmente o estado do Rio Grande do Sul, que abriga mais de 70% dessa área, a lavoura de arroz é uma atividade extremamente relevante na contabilização das emissões de CH_4 da agropecuária, respondendo por mais de 89% da emissão nacional de CH_4 associada à atividade (Brasil, 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 gases de efeito estufa (GEE), mas também quanto à elevada demanda hídrica, sendo requeridas intervenções que garantam a manutenção e, até mesmo, eventuais aumentos de produção requeridos pelo mercado, de forma sustentável.

O potencial de emissão de GEE da lavoura de arroz pode ser atenuado 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).

Sistemas alternativos de irrigação, particularmente fundamentados na intermitência da irrigação, têm sido amplamente utilizados em todo o mundo (Chidthaisong et al., 2018; Hadi et al., 2010; Hou et al., 2012; Tarlera et al., 2016) como opções de manejo para economia de água e promoção da eficiência de irrigação, contribuindo simultaneamente para mitigar as emissões de gases de efeito estufa (GEE) e o potencial de aquecimento global (PAGp) da lavoura de arroz.

Recentemente, o melhoramento genético de cultivares de arroz passou a ser considerado como estratégia factível e promissora para a mitigação do potencial de emissão de GEE da lavoura de arroz, a qual pode ser executada de

forma combinada com a elevação do potencial produtivo da cultura (Zhang et al., 2019). As cultivares de arroz apresentam ampla diversidade quanto a caracteres morfofisiológicos e à adaptação a fatores ambientais, influenciando no potencial de emissão de GEE. As diferenças entre as cultivares quanto à emissão de CH_4 têm sido atribuídas a variações na produção, oxidação e capacidade de transporte desse GEE (Lou et al., 2008). Assim, esses fatores têm sido considerados como potenciais determinantes da emissão de 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 apresenta a síntese de ações de pesquisa desenvolvidas na Embrapa Clima Temperado, no âmbito do projeto “Práticas mitigadoras às mudanças climáticas em sistemas de produção em terras baixas no Sul do Brasil”, visando desenvolver práticas de manejo da água, fundamentadas na intermitência do fornecimento de água e/ou da inundação do solo, e ajustá-las às exigências de cultivares de arroz irrigado, visando otimizar a eficiência de irrigação e contribuir para a mitigação de emissões de gases de efeito estufa e do potencial de aquecimento global da cultura, nas condições de cultivo das terras baixas do Rio Grande do Sul.

Metodologia

O estudo foi realizado sob condições de campo em quatro safras agrícolas consecutivas (2019/2020 a 2022/2023), na Estação Experimental Terras Baixas da Embrapa Clima Temperado, localizada no município de Capão do Leão, RS. O solo da área experimental é classificado como Planossolo Háplico.

Anualmente, os tratamentos incluíram a combinação de dois sistemas de irrigação (inundação contínua e inundação intermitente) e três a cinco cultivares de arroz irrigado (Tabela 1), sendo dispostos em delineamento de blocos ao acaso em parcelas subdivididas com seis repetições. Nas parcelas principais,

foram alocados os níveis do fator sistema de irrigação e, nas subparcelas, os níveis do fator cultivar de arroz. Todas as cultivares avaliadas são do tipo indica, com exceção de BRS 358, que é do tipo japônica. As cultivares BRS Pampa CL, BRS Pampeira, BRS A704, BRS A705 e BRS A706 CL foram geradas pelo Programa de Melhoramento de Arroz da Embrapa, e as cultivares XP 113 e XP 117 são híbridos pertencentes à empresa RiceTec Sementes LTDA. As cultivares BRS Pampa CL, BRS A705 e XP 113 têm ciclo precoce; XP 117, ciclo precoce a médio; BRS Pampeira e BRS 358, ciclo médio, e BRS A706 CL e BRS A704, ciclo médio a tardio.

Tabela 1. Cultivares de arroz irrigado avaliadas nas safras agrícolas 2019/2020 a 2022/2023 e as respectivas datas de semeadura e emergência (50%), em experimento realizado no município de Capão do Leão, RS, sobre práticas mitigadoras às mudanças climáticas em sistemas de produção em terras baixas no Sul do Brasil.

Safra	Cultivar	Semeadura	Emergência
2019/2020	BRS Pampa CL, BRS 358 e XP 113	12/11/2019	22/11/2019
2020/2021	BRS Pampa CL, BRS Pampeira, BRS A705 e XP 117	16/10/2020	5/11/2020
2021/2022	BRS Pampa CL, BRS Pampeira, XP 113 e XP 117	23/10/2021	3/11/2021
2022/2023	BRS Pampa CL, BRS A704, BRS A706 CL XP 117	17/11/2022	25/11/2022

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 uma 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 R9). Nesse

manejo, o início da irrigação também ocorreu em V4, após a primeira cobertura nitrogenada, com manutenção de lâmina de água de cerca de 7 cm por 10 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 5 dias, a partir da aplicação do fertilizante. No manejo da água e demais práticas culturais do arroz, utilizou-se o aplicativo PlanejArroz (Steinmetz et al., 2020) para estimar os estádios de desenvolvimento da cultura.

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 preestabelecido de 20 kPa. Estabelecida nova lâmina de irrigação de 7 cm, essa era mantida por 3 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 de uso da água 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 baseou-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, manteve-se uma lâmina de água constante por 10 e 5 dias após a realização da primeira e segunda coberturas nitrogenadas ao arroz, respectivamente, visando 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, consequentemente, no desempenho produtivo da cultura.

Nas quatro safras agrícolas, a cultura do arroz foi implantada em sistema convencional de preparo do solo. As práticas de manejo do arroz consideraram as indicações técnicas para a cultura (Reunião..., 2018). Ao longo do ciclo, realizou-se o acompanhamento das variáveis meteorológicas precipitação pluvial 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 de uso da água (relação entre a produtividade de grãos e a quantidade de água aplicada, via irrigação).

Para a avaliação das emissões de CH_4 e N_2O , utilizou-se o método da câmara estática fechada (Mosier, 1989). As amostragens de ar iniciaram após a emergência do arroz, estendendo-se até 1 semana após a colheita da cultura. Nos tratamentos com irrigação por inundação contínua, as coletas de amostras foram realizadas com periodicidade semanal, e naqueles com 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 2 dias em ambos os sistemas, visando melhorar as estimativas de emissão de N_2O . A coleta e análise das amostras de ar para avaliação de emissões de GEE seguiu o Protocolo para Medições de Emissões de Gase de Efeito Estufa em Sistemas de Produção de Arroz irrigado e em Áreas Sujeitas ao Alagamento do Solo da Rede Fluxos (Scivittaro et al., 2016). Anualmente, determinaram-se as emissões sazonais de CH_4 e N_2O e, a partir dessas, calculou-se o potencial de aquecimento global parcial (PAGp) de cada tratamento, convertendo as emissões dos respectivos gases para o CO_2 equivalente ($\text{kg CO}_2 \text{ eq. ha}^{-1}$), considerando-se seu potencial de aquecimento global em relação ao CO_2 como sendo 28 para o CH_4 e 265 para o N_2O , 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.

Em cada safra agrícola, os dados das emissões sazonais de CH_4 e N_2O e PAG_p foram submetidos à análise de variância. Quando significativas, as médias dos fatores sistema de irrigação e cultivar de arroz foram comparadas utilizando-se o teste de Tukey com nível de significância de 5%.

Resultados e discussão

Em todas as quatro safras avaliadas, a produtividade de grãos foi influenciada pelo sistema de irrigação e cultivar de arroz de forma isolada, não havendo efeito da interação entre esses fatores. Independentemente da cultivar, maior produtividade de grãos foi obtida sob irrigação por inundação contínua, relativamente à inundação intermitente (Tabela 2), demonstrando sensibilidade das cultivares avaliadas ao estresse hídrico proporcionado pelos ciclos de umedecimento e secagem associados à intermitência da inundação. Quanto a esse efeito, é importante ressaltar que o modelo de intermitência avaliado pressupõe drenagens múltiplas nas fases vegetativa e reprodutiva, caracterizando restrição hídrica severa à cultura. Essa modalidade de intermitência da irrigação foi adotada para avaliar o potencial de redução de emissões de CH_4 desse manejo e, também, a adaptação das cultivares de arroz ao estresse hídrico. Seguramente, modalidades de intermitência da irrigação mais brandas, contemplando apenas a supressão periódica da irrigação, sem a drenagem da lavoura, têm menor impacto negativo sobre o desempenho produtivo da cultura. A despeito disso, é importante ressaltar o elevado potencial de produtividade alcançado pelas cultivares de arroz sob ambos os sistemas de irrigação, o que é atribuído ao potencial genético e à adequação dos demais fatores determinantes da produtividade da cultura.

Tabela 2. Produtividade de grãos de cultivares de arroz sob irriga  o por inunda  o contínua e intermitente nas safras agrícolas 2019/2020 a 2022/2023 em experimento realizado no município de Capão do Leão, RS, sobre práticas mitigadoras    mudanças climáticas em sistemas de produ  o em terras baixas no Sul do Brasil.

Cultivar	Safrá 2019/2020		Safrá 2020/2021		Safrá 2021/2022		Safrá 2022/2023		Média 4 safras	
	Contínua	Intermitente	Contínua	Intermitente	Contínua	Intermitente	Contínua	Intermitente	Contínua	Intermitente
----- kg CH ₄ ha ⁻¹ -----										
BRS Pampa CL	12.056 Aa	10.732 Ba	11.094 Ab	8.550 Bb	11.783 Ab	10.348 Bb	10.885 Ac	9.911 Bb	11.454	9.885 (13,7 ^{*)})
BRS Pampeira	(...)	(...)	12.801 Aa	11.036 Ba	11.215 Ab	10.548 Bb	(...)	(...)	12.008	10.792 (10,1)
BRS 358	10.290 Ab	8.925 Bb	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	10.290	8.925 (13,3)
BRS A704	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	10.681 Ac	8.674 Bc	10.681	8.674 (18,8)
BRS A705	(...)	(...)	11.072 Ab	8.229 Bb	10.683 Ab	7.797 Bc	(...)	(...)	10.878	8.013 (26,3)
BRS A706 CL	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	11.169 Ab	9002 Bc	11.169	9.002 (19,4)
XP 113	12.067 Aa	10.550 Ba	(...)	(...)	14.127 Aa	11.739 Ba	(...)	(...)	13.097	11.144 (14,9)
XP 117	(...)	(...)	12.809 Aa	11.099 Ba	14.131 Aa	10.691 Bb	12.294 Aa	10.909 Ba	13.078	10.900 (16,6)
Média	1.471 A	10.069 B	11.944 A	9.728 B	12.388 A	10.225 B	1.1507 A	9.624 B	11.828	9.912 (16,2)

(...) Informa  o não disponível.

^{*)} Percentual de redu  o na produtividade proporcionado pela inunda  o intermitente, relativamente    inunda  o contínua.

Em cada safra agrícola, m  dias seguidas de mesma letra, mai  uscula nas linhas e min  uscula nas colunas, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

Redução na produtividade em resposta à intermitência da irrigação é um efeito comum no cultivo de arroz (Tarlera et al., 2016), dado que as cultivares correntemente utilizadas em estudos dessa natureza foram desenvolvidas para o sistema inundado, estando sujeitas a algum nível de estresse por déficit hídrico sob intermitência da irrigação. Neste estudo, a redução média da produtividade das cultivares de arroz sob irrigação por inundação intermitente, relativamente à inundação contínua, variou de 10,1% a 26,3%, demonstrando variabilidade na adaptação das cultivares ao estresse hídrico proporcionado pela inundação intermitente (Tabela 2).

Vale destacar que a redução na produtividade do arroz devida à intermitência da irrigação é um efeito indesejado, especialmente nas condições de cultivo do Rio Grande do Sul, onde a perda de produtividade pode comprometer a sustentabilidade da lavoura arrozeira, pela menor rentabilidade. De qualquer forma, essa opção de manejo da cultura não deve ser descartada dado ao seu potencial de economizar água e mitigar emissões de GEE, devendo, porém, ser dirigida a cultivares mais adaptadas à intermitência da irrigação. Da mesma forma, é importante, ao se considerar o efeito de manejos alternativos da água para o arroz, que esse seja avaliado com base em escala que associe a produtividade da cultura aos demais fatores, particularmente o potencial mitigador de emissões de GEE (Zschornack et al., 2016).

A comparação entre as cultivares de arroz mostra distinção no desempenho produtivo em ambos os sistemas de irrigação (Tabela 2). De forma geral, os híbridos e as cultivares de ciclo mais longo (médio e médio/tardio) apresentaram maior potencial de produtividade que as cultivares precoces. Exceção a esse resultado refere-se a 'BRS Pampa CL', que, apesar da precocidade, apresentou produtividades de grãos comparável às alcançadas por cultivares de ciclo médio e médio/tardio, destacando-se, ainda, pela elevada adaptação à inundação intermitente. Contrariamente, a produtividade alcançada pela cultivar BRS A704, com o maior ciclo entre todas as avaliadas, foi menor relativamente às demais, demonstrando sua limitada adaptação ao cultivo na região subtropical do Brasil. Por sua vez, o menor potencial produtivo da 'BRS 358' é característico dessa cultivar do tipo japônica.

Os dados de emissões sazonais de CH_4 , N_2O e de PAGp das cultivares de arroz, estratificados por sistema de irrigação, nas quatro safras avaliadas são apresentados nas Tabelas 3, 4 e 5, respectivamente. Independentemente da safra, as emissões totais de CH_4 foram maiores sob irrigação por inundação contínua, relativamente à inundação intermitente (Tabela 3). A redução média nas emissões de CH_4 da lavoura de arroz proporcionada pelo sistema de irrigação por inundação intermitente correspondeu a 79,7%. Atribui-se esse expressivo resultado à 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_4 (Buendia et al., 1997). Contrariamente, os frequentes ciclos de umedecimento e secagem do solo proporcionados pela irrigação por inundação intermitente retardaram o estabelecimento do potencial de oxirredução propício à produção de CH_4 , minimizando sua emissão. Isso porque a redução do carbono orgânico a CH_4 ocorre apenas em sucessão à redução de outros aceptores de elétrons preferenciais, particularmente Fe^{3+} , Mn^{4+} e SO_4^{2-} , que são convertidos, respectivamente, em Fe^{2+} , Mn^{2+} e S^{2-} (Yu et al., 2007). Reduções na emissão de CH_4 decorrentes da adoção de diferentes modalidades de irrigação por inundação intermitente, relativamente à inundação contínua, têm sido reportadas com frequência em cultivos de arroz (Liu et al., 2010; Zschornack, 2011; Tarlera et al., 2016), de forma que adequações no manejo da água são tidas como uma das ferramentas mais efetivas para mitigar as emissões de CH_4 e o potencial de aquecimento global da lavoura de arroz (Hussain et al., 2015; Chirinda et al., 2018).

Tabela 3. Emissões sazonais de CH₄ de cultivares de arroz sob irrigação por inundação contínua e intermitente nas safras agrícolas 2019/2020 a 2022/2023 em experimento realizado no município de Capão do Leão, RS, sobre práticas mitigadoras às mudanças climáticas em sistemas de produção em terras baixas no Sul do Brasil.

Cultivar	Safr 2019/2020		Safr 2020/2021		Safr 2021/2022		Safr 2022/2023		Média 4 safras	
	Contínua	Intermitente	Contínua	Intermitente	Contínua	Intermitente	Contínua	Intermitente	Contínua	Intermitente
	----- kg CH ₄ ha ⁻¹ -----									
BRS Pampa CL	231,4 Aa	86,7 Bb	258,6 Ab	81,9 Ba	319,7 Ab	18,4 Bb	334,8 Ab	58,1 Bb	286,1	61,3 (78,6 ^(*))
BRS Pampaíra	(...)	(...)	372,9 Aa	54,3 Bb	405,6 Aa	24,9 Bb	(...)	(...)	389,2	39,6 (89,8)
BRS 358	208,4 Aab	105,1 Ba	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	208,4	105,1 (49,6)
BRS A704	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	509,6 Aa	93,8 Ba	509,6	93,8 (81,6)
BRS A705	(...)	(...)	236,1 Ab	33,8 Bb	316,4 Ab	26,7 Bb	(...)	(...)	276,2	30,2 (89,1)
BRS A706 CL	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	459,2 Aa	70,3 Bab	459,2	70,3 (84,7)
XP 113	182,0 Ab	35,7 Bc	(...)	(...)	327,1 Ab	70,3 Ba	(...)	(...)	254,6	53,0 (79,2)
XP 117	(...)	(...)	275,9 Ab	62,0 Bab	317,7 Ab	54,2 Ba	296,8 Ab	87,9 Ba	296,8	68,0 (77,1)
Média	207,3 A	75,8 B	285,9 A	58,0 B	337,3 A	38,7 B	400,1 A	77,5 B	307,6	62,5 (79,7)

(...) Informação não disponível.

^(*) Percentual de redução na emissão sazonal de CH₄ proporcionado pela inundação intermitente, relativamente à inundação contínua.

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

Tabela 4. Emissões sazonais de N₂O das cultivares de arroz sob irriga  o por inunda  o contínua e intermitente nas safras agrícolas 2019/2020 a 2022/2023. em experimento realizado no município de Capão do Leão, RS, sobre práticas mitigadoras    mudanças climáticas em sistemas de produ  o em terras baixas no Sul do Brasil.

Cultivar	Safr 2019/2020		Safr 2020/2021		Safr 2021/2022		Safr 2022/2023		Média 4 safras	
	Contínua	Intermitente	Contínua	Intermitente	Contínua	Intermitente	Contínua	Intermitente	Contínua	Intermitente
----- kg N ₂ O ha ⁻¹ -----										
BRS Pampa CL	0,027 ^{ns}	0,140	-0,099 ^{ns}	0,070	-0,002 ^{ns}	0,323	-0,360 ^{ns}	0,077	-0,113 ^{ns}	0,161
BRS Pampaeira	(...)	(...)	0,214	0,085	0,068	0,529	(...)	(...)	0,034	0,142
BRS 358	0,244	0,624	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	0,244	0,624
BRS A704	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	0,294	0,410	0,294	0,410
BRS A705	(...)	(...)	0,066	1,128	-0,004	0,442	(...)	(...)	0,031	0,785
BRS A706 CL	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	-0,176	0,023	-0,176	0,023
XP 113	0,104	0,063	(...)	(...)	-0,076	0,206	(...)	(...)	0,014	0,134
XP 117	(...)	(...)	-0,063	-0,092	-0,003	0,411	0,218	-0,048	0,051	0,090
Média	0,125	0,275	0,030	0,298	-0,006	0,382	-0,006	0,116	0,036	0,267

(...) Informa  o não disponível.
(^{ns}) Não significativo.

Tabela 5. Potencial de aquecimento global parcial (PAGp) de cultivares de arroz sob irrigação por inundação contínua e intermitente nas safras agrícolas 2019/2020 a 2022/2023, em experimento realizado no município de Capão do Leão, RS, sobre práticas mitigadoras às mudanças climáticas em sistemas de produção em terras baixas no Sul do Brasil.

Cultivar	Safr 2019/2020		Safr 2020/2021		Safr 2021/2022		Safr 2022/2023		Média
	Continua	Intermitente	Continua	Intermitente	Continua	Intermitente	Continua	Intermitente	
	kg CO ₂ eq. ha ⁻¹								
BRS Pampa CL	6.485 Aa	2.465 Bb	7.215 Ab	2.311 Ba	8.940 Ab	602 Bc	9.278 Ac	1.627 Bb	7.980 1.751 (78,0)
BRS Pampaيرا	(...)	(...)	10.498 Aa	1.544 Bab	11.358 Aa	838 Bc	(...)	(...)	10.928 1.191 (89,1)
BRS 358	5.900 Ab	3.109 Ba	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	5.900 3.109 (47,3)
BRS A704	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	14.270 Aa	2.627 Ba	14.270 2.627 (81,6)
BRS A705	(...)	(...)	6.628 Ab	947 Bb	8.835 Ab	865 Bc	(...)	(...)	7.731 906 (88,3)
BRS A706 CL	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	12.857 Ab	1.968 Bb	12.857 1.968 (84,6)
XP 113	5.125 Ac	1.016 Bc	(...)	(...)	9.140 Ab	2.023 Ba	(...)	(...)	7.132 1.520 (78,7)
XP 117	(...)	(...)	7.708 Ab	1.713 Bab	11.358 Aa	1.626 Bb	8.309 Ad	2.461 Ba	9.125 1.933 (78,8)
Média	5.837 A	2.197 B	8.012 A	1.629 B	9.926 A	1.191 B	11.179 A	2.171 B	8.738 1.797

(...) Informação não disponível.

(¹) Percentual de redução no PAGp proporcionado pela inundação intermitente, relativamente à inundação contínua.

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

As cultivares de arroz também apresentaram emissões distintas de CH_4 , destacando-se o potencial mitigador dos híbridos XP 113 e XP 117, assim como da cultivar convencional BRS Pampa CL, que, consistentemente ao longo das safras, proporcionaram menores emissões de CH_4 , especialmente sob sistema irrigado por inundação intermitente. Em parte, as variações observadas estão relacionadas ao ciclo biológico mais curto dessas cultivares. Mas outros caracteres morfofisiológicos dessas cultivares também devem ter contribuído para o resultado observado. No caso dos híbridos, estudos prévios relacionaram as menores emissões de CH_4 à maior produção de biomassa de parte aérea e de raízes, em comparação às cultivares convencionais (Jiang et al., 2017; 2019), característica que facilita o transporte de O_2 atmosférico para a rizosfera, beneficiando a população e atividade de metanotróficos, que é o grupo de microrganismos responsáveis pela oxidação do CH_4 produzido no solo, reduzindo, portanto, a emissão para a atmosfera (Bhattacharyya et al., 2019).

As emissões sazonais de N_2O do solo não foram influenciadas pelo sistema de irrigação ou cultivares de arroz. Os valores medidos foram extremamente baixos, indistintamente para todos os tratamentos, nas quatro safras agrícolas avaliadas. Em algumas situações, os resultados indicaram, inclusive, absorção desse gás de N_2O (Tabela 4). Muito embora, via de regra, o CH_4 seja o principal componente do potencial de aquecimento global parcial (PAG_p) do cultivo de arroz irrigado por inundação contínua, representando 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 PAG_p 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 devido à 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 PAGp do arroz, nas quatro safras acompanhadas, o comportamento dessa variável acompanhou as variações observadas para as emissões sazonais de CH_4 , ou seja, o sistema de irrigação por inundação contínua apresentou PAGp superior ao da inundação intermitente. A redução média do PAGp da cultura proporcionada pela inundação intermitente correspondeu a 79,4%. Da mesma forma, o efeito das cultivares de arroz sobre o PAGp da cultura seguiu aquele descrito para as emissões totais de CH_4 , destacando-se o desempenho dos híbridos de arroz, especialmente XP 113, e demais cultivares de ciclo biológico precoce pelo menor PAGp (Tabela 5).

Conforme referido anteriormente, o CH_4 contribuiu com praticamente a totalidade do PAGp da cultura do arroz. Independentemente do tratamento, os valores medidos foram superiores a 95% do total. Em alguns tratamentos específicos, a pequena absorção de N_2O contribuiu, inclusive, para pequena redução no PAGp do arroz.

Com base no índice estabelecido entre o potencial de aquecimento global parcial e a produtividade de grãos (PAGp/RG), que representa a intensidade de emissão de GEE da lavoura de arroz, verifica-se que, indistintamente entre cultivares de arroz, o sistema de irrigação por inundação intermitente foi efetivo quanto à mitigação do PAGp da cultura do arroz, relativamente à inundação contínua, demonstrando que as perdas de produtividade, proporcionadas pelo estresse hídrico relativo dos ciclos de umedecimento e secagem do solo, foram integralmente compensadas, restando, ainda, saldo positivo quanto à redução do PAGp (Tabela 6).

A comparação do desempenho das cultivares de arroz mostra grande variabilidade entre os materiais avaliados sob ambos os sistemas de irrigação, inundação contínua ou intermitente com drenagem. De forma geral, as cultivares de ciclo biológico mais curto, sejam convencionais ou híbridas, destacaram-se positivamente quanto ao potencial de mitigador do PAGp da cultura do arroz. Da mesma forma, a adaptação ao ambiente de cultivo, associado ao potencial produtivo elevado da cultivar de arroz, também contribuiu para atenuar o potencial de aquecimento global, com destaque para a ‘BRS Pampeira’, de ciclo médio, que apresentou intensidade de emissão intermediária, comparativamente às cultivares de ciclo precoce e médio a tardio (BRS A706 CL e BRS A704) (Tabela 6).

Tabela 6. Índice potencial de aquecimento global parcial em escala de rendimento de grãos (PAGp/RG) de cultivares de arroz sob irrigação por inundação contínua e intermitente nas safras agrícolas 2019/2020 a 2022/2023, em experimento realizado no município de Capão do Leão, RS, sobre práticas mitigadoras às mudanças climáticas em sistemas de produção em terras baixas no Sul do Brasil.

Cultivar	Safr 2019/2020		Safr 2020/2021		Safr 2021/2022		Safr 2022/2023		Média	
	Contínua	Intermitente	Contínua	Intermitente	Contínua	Intermitente	Contínua	Intermitente	Contínua	Intermitente
	----- kg CO ₂ eq. kg ⁻¹ grão -----									
BRS Pampa CL	0,548	0,230	0,650	0,270	0,759	0,058	0,852	0,164	0,701	0,179 (74,7 ^(*))
BRS Pampaeira	(...)	(...)	0,820	0,140	1,013	0,080	(...)	(...)	0,915	0,110 (87,9)
BRS 358	0,573	0,348	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	0,573	0,348 (39,3)
BRS A704	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	1,336	0,303	1,336	0,303 (77,3)
BRS A705	(...)	(...)	0,599	0,115	0,827	0,111	(...)	(...)	0,712	0,113 (84,1)
BRS A706 CL	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	1,151	0,218	1,151	0,218 (81,0)
XP 113	0,425	0,096	(...)	(...)	0,647	0,172	(...)	(...)	0,540	0,135 (75,0)
XP 117	(...)	(...)	0,602	0,154	0,804	0,152	0,676	0,226	0,696	0,177 (74,6)
Média	0,515	0,224	0,668	0,170	0,801	0,115	1,004	0,228	0,847	0,204

(...) Informação não disponível.

(*) Percentual de redução no índice PAGp/RG proporcionado pela inundação intermitente, relativamente à inundação contínua.

Os dados de precipitação pluvial, volume de água aplicada e de eficiência de uso da água do arroz constam da Tabela 7. Verifica-se alguma variabilidade nos dados ao longo das quatro safras acompanhadas, as quais estão relacionadas às condições climáticas vigentes, particularmente quanto a precipitação (total e frequência), temperatura e radiação solar. Com exceção da safra 2020/2021, em que o volume total de chuva foi satisfatório ao longo do ciclo de cultivo do arroz, ainda que com distribuição irregular, as demais safras caracterizaram-se por deficit hídrico intenso, em que períodos de seca prolongados intercalaram-se com eventos esporádicos de chuva de intensidade variável. Dessa forma, consistentemente, a irrigação teve de suprir a maior parte da demanda hídrica do arroz.

Quanto aos resultados, outro aspecto a ser destacado refere-se ao maior volume de água utilizado no sistema irrigado por inundação intermitente com drenagem, relativamente à inundação contínua e intermitente sem drenagem (Tabela 7).

Tabela 7. Precipitação pluvial (chuva), volume de água aplicada via irrigação (irrigação) e eficiência de uso da água (EUA) da cultura de arroz irrigado, em função do sistema de irrigação, nas safras agrícolas 2019/2020 a 2022/2023 em experimento realizado no município de Capão do Leão, RS, sobre práticas mitigadoras às mudanças climáticas em sistemas de produção em terras baixas no Sul do Brasil.

Sistema de Irrigação ⁽¹⁾	Safr 2019/2020			Safr 2020/2021			Safr 2021/2022			Safr 2022/2023		
	Chuva m³ ha ⁻¹	Irrigação m³ ha ⁻¹	EUA kg m³	Chuva m³ ha ⁻¹	Irrigação m³ ha ⁻¹	EUA kg m³	Chuva m³ ha ⁻¹	Irrigação m³ ha ⁻¹	EUA kg m³	Chuva m³ ha ⁻¹	Irrigação m³ ha ⁻¹	EUA kg m³
IC	2.000	6.053	1,87	6.626	5.653	2,11	3.531	6.108	2,02	3.781	6.563	1,71
II com drenagem	2.000	6.199	1,62	6.626	6.692	1,45	3.531	7.330	1,41	3.781	8.014	1,23
II sem drenagem	2.000	5.207	1,97	6.626	3.732	2,85	3.531	4.812	2,35	3.781	5.103	2,06

⁽¹⁾Informação não disponível.

⁽²⁾IC: inundação contínua. II c/drenagem: inundação intermitente com drenagem. II s/drenagem: irrigação por inundação intermitente sem drenagem.

O primeiro sistema exigiu irrigações sequenciais com volumes consideráveis de água para saturar o solo e estabelecer a lâmina da lavoura de arroz. 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 dos períodos de cultivo do arroz, insuficientes para compensar as perdas de água associadas à drenagem da lavoura. Contrariamente, o sistema irrigado por inundação intermitente sem drenagem proporcionou economia de água variável (14% a 34%) em relação à inundação contínua, por associar a combinação de períodos com supressão da irrigação com o aproveitamento da água da chuva. Segundo Parfitt et al. (2018), a 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. Por outro lado, a irrigação por inundação intermitente viabiliza maior aproveitamento da água da chuva, em razão da variabilidade na altura da lâmina de água da lavoura, exigindo menor aporte de água via irrigação, especialmente em anos chuvosos e com melhor distribuição da precipitação ao longo do ciclo da cultura.

Importa ressaltar, ainda, que o sistema de irrigação por inundação intermitente sem drenagem, além de possibilitar melhor aproveitamento da água da chuva, 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. Nesse sistema, as irrigações ocorreram em intervalos maiores e variáveis em função da demanda evaporativa da cultura e das condições meteorológicas, demonstrando potencial para o aproveitamento da água da chuva, assim como verificado por Massey et al. (2014), em estudo desenvolvido no Mississippi (EUA), em que o sistema intermitente sem drenagem proporcionou economia de 32% na quantidade de água aplicada ao arroz.

O sistema de irrigação por inundação intermitente com drenagem afetou em grau variável a produtividade do arroz, refletindo-se na eficiência de uso da água (EUA), que é a relação entre a produtividade de grãos e o volume de água aplicado via irrigação. A EUA decresceu na seguinte ordem: sistema intermitente sem drenagem > inundação contínua > intermitente com drenagem (Tabela 7). 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 a 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.

Considerações finais

A lavoura de arroz irrigado apresenta potencial de emissão de gases de efeito estufa (GEE) e potencial de aquecimento global elevados, em razão da manutenção do solo alagado durante todo ou a maior parte do período de cultivo do arroz, proporcionando condições anaeróbias no solo, que favorecem a produção de CH_4 . A pesquisa tem buscado desenvolver e aperfeiçoar tecnologias para mitigar as emissões de GEE e atenuar o impacto negativo da lavoura de arroz ao meio ambiente. Adequações no manejo da água para a cultura, como a intermitência da irrigação, são consideradas estratégias promissoras e efetivas para reduzir o potencial de aquecimento global da lavoura de arroz, contribuindo, ainda, para economizar água e elevar a eficiência de irrigação. Depara-se, porém, com o desafio de não afetar o potencial produtivo da cultura. Nesse sentido, a identificação de cultivares de arroz com menor potencial de emissão de GEE e adaptadas à intermitência da irrigação caracteriza o cenário ideal e almejado para a lavoura de arroz.

Resultados de pesquisa desenvolvidas nas condições de cultivo do Rio Grande do Sul demonstraram que a adoção de sistema de irrigação fundamentado na intermitência do fornecimento da água e da inundação do solo atende ao propósito de economizar água e elevar a eficiência de irrigação da lavoura de arroz, paralelamente contribuindo de forma incontestável para a mitigação das emissões de GEE e do PAG_p (potencial de aquecimento global parcial). A limitação dessa modalidade de irrigação a níveis mais brandos, ou seja, nos quais os ciclos de umedecimento e secagem do solo são estabelecidos naturalmente mediante a supressão da irrigação, bem como o uso de cultivares de arroz mais adaptadas ao estresse hídrico proporcionado pela intermitência da irrigação, são condições essenciais para a manutenção do potencial produtivo da cultura.

As cultivares de arroz irrigado diferem amplamente quanto ao potencial de emissão de CH_4 e PAGp , bem como à tolerância ao estresse hídrico proporcionado pela intermitência da irrigação. De forma geral, as cultivares que associam ciclo biológico precoce e elevado potencial produtivo e foram desenvolvidas para as condições de cultivo do Sul do Brasil atendem melhor a demanda de maximizar a eficiência de uso da água e atenuar o potencial de emissão de GEE e PAGp , devendo, portanto, ser priorizadas em programas de melhoramento genético, visando a sustentabilidade da lavoura arrozeira na região.

Referências

- BAYER, C.; COSTA, F. S.; PEDROSO, G. M.; ZSCHORNACK, T.; CAMARGO, E.; LIMA, M. A.; FRIGHETO, R.; 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.
- 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.
- BOUMAN, B. How much water does rice use? **Rice today**, Jan./Mar. 2009.
- 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 Agropecuário - 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 (Companhia Nacional de Abastecimento). **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**. Brasília, DF, v. 10, safra 2022/23, n. 11 décimo primeiro levantamento, agosto 2023.

FENG, Z. Y.; QIN, T.; DU, X. Z.; SHENG, F.; LI, C. F. Effects of irrigation regime and rice variety on greenhouse gas emissions and grain yields from paddy fields in central China. **Agricultural Water Management**, v. 250, 106830, 2021.

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 CH₄ and N₂O 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). **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. Acesso em: 30 jun. 2020.

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, 2006. Disponível em: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>. Acesso em: 10 out. 2023.

ISLAM, S. F.-UL; GROENIGEN, J. W. VAN; 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, 2018.

JIANG, Y.; GROENIGEN, K. J. VAN; 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.

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.; GROENIGEN, K. J. VAN; ZHANG, W. J. Acclimation of methane emissions from rice paddy fields to straw addition. **Science Advances**, v. 5, eaau9038, 2019.

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 N₂O 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. CH₄ emissions with difference in atmospheric CO₂ enrichment and rice cultivars in a Japanese paddy field. **Global Change Biology**, v. 14, p. 2678-2687, 2008.

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 trace gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere**: report of the Dahlem Workshop. Berlin: Wiley, 1989. p. 175-187.

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).

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, 2018, Farroupilha. **Arroz irrigado**: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. Cachoeirinha: Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado, 2018. 205 p.

SCIVITTARO, W. B.; SOUSA, R. O. de; BAYER, C. **Protocolo para medições de emissões de gases de efeito estufa em sistemas de produção de arroz irrigado e em áreas sujeitas ao alagamento do solo – Rede Fluxus**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2016. 41 p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 426).

STEINMETZ, S.; PEREIRA, C. B.; SANTOS, E. L. dos; CUADRA, S. V.; ALMEIDA, I. R. de; STRECK, N. A.; BENEDETTI, R. P.; DUARTE JÚNIOR, A. J.; ZANON, A. J.; RIBAS, G. G.; SILVA, M. R. DA; KROEFF, R. M.; PRESTES, S. D. **PlanejArroz**: aplicativo para o planejamento do manejo e estimativa da produtividade em arroz irrigado. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2020. 16 p. (Embrapa Clima Temperado. Circular Técnica, 205).

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.

THAKUR, A. K.; KASSAM, A.; STOOP, W. A.; UPHOFF, N. Modifying rice crop management to ease water constraints with increased productivity, environmental benefits, and climate-resilience. **Agriculture, Ecosystem & Environment**, v. 235, p. 101-104, 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.

WANG, C.; SHEN, J.; TANG, H.; INUBUSHI, K.; GUGGENBERGER, G.; LI, Y.; WU, J. Greenhouse gas emissions in response to straw incorporation, water management and their interaction in a paddy field in subtropical central China. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 63, p. 171-184, 2017.

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.

ZHANG, Y.; JIANG, Y.; TAI, A. P. K.; FENG, J.; LI, A.; ZHU, X.; CHEN, J.; ZHANG, J.; SONG, Z.; DENG, A.; LAL, R.; ZHANG, W. Contribution of rice variety renewal and agronomic innovations to yield improvement and greenhouse gas mitigation in China. **Environmental Research Letters**, v. 14, 114020, 2019.

ZSCHORNACK, T. **Emissões de metano e de óxido nitroso em sistemas de produ  o de arroz irrigado no Sul do Brasil e potencial de mitigac  o por práticas de manejo**. 2011. 87 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Gradua  o 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 CH₄ e N₂O sob cultivo de arroz irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1163-1171, 2016.

Exemplares desta publica  o
podem ser adquiridos na:

Embrapa Clima Temperado
BR-392, km-78, Caixa Postal 403
96010-971, Pelotas, RS
Fone: (53) 3275-8100
www.embrapa.br/clima-temperado
www.embrapa.br/fale-conosco

1   edic  o
Publica  o digital (2023): PDF



MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA E
PECUÁRIA



Comit   Local de Publica  es

Presidente

Luís Ant  nio Su  ta de Castro

Secretária-Executiva

Bárbara Chevallier Cosenza

Membros

Ana Luíza B. Viegas, Fernando Jackson,

Marilaine Schaun Peluf  , Sonia Desimon

Revisão de texto

Bárbara Chevallier Cosenza

Normaliza  o bibliográfica

Marilaine Schaun Peluf   (CRB-10/1274)

Editora  o eletr  nica

Nathália Santos Fick

Projeto gráfico

Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Foto da capa

Walkyria Bueno Scivittaro

CGPE 018307