

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel”
Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água



Tese

**Potencial da irrigação por inundação intermitente em mitigar as emissões de
gases de efeito estufa de cultivares de arroz**

Giovana Tavares Silva

Pelotas, 2024

Giovana Tavares Silva

Potencial da irrigação por inundação intermitente em mitigar as emissões de gases de efeito estufa de cultivares de arroz

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água da Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel” da Universidade Federal de Pelotas, como requisito à obtenção do título de Doutor em Ciências.

Orientadora: Dra. Walkyria Bueno Scivittaro

Co-orientador: Dr. Rogério Oliveira de Sousa

Pelotas, 2024

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação da Publicação

S586p Silva, Giovana Tavares

Potencial da irrigação por inundação intermitente em mitigar as emissões de gases de efeito estufa de cultivares de arroz [recurso eletrônico] / Giovana Tavares Silva ; Walkyria Bueno Scivittaro, orientador ; Rogério Oliveira de Sousa, coorientador. — Pelotas, 2024.
79 f.

Tese (Doutorado) — Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2024.

1. Arroz irrigado. 2. Genótipo. 3. Irrigação por inundação intermitente. 4. Metano. 5. Intensidade de emissão. I. Scivittaro, Walkyria Bueno, orient. II. Sousa, Rogério Oliveira de, coorient. III. Título.

CDD 633.1887

Giovana Tavares Silva

Potencial da irrigação por inundação intermitente em mitigar as emissões de gases de efeito estufa de cultivares de arroz

Tese aprovada, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutora em Ciências, Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel”, Universidade Federal de Pelotas.

Data da defesa: 25 de outubro de 2024 às 8 horas e 30 minutos

Banca examinadora:

Pesq. Dra. Walkyria Bueno Scivittaro (Orientadora)
Doutora em Ciências pelo Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo (CENA-USP)

Pesq. Dra. Thaís Antolini Voçozzi
Doutora em Ciências pelo Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água da Universidade Federal de Pelotas (UFPeI)

Pesq. Dr. Paulo Ricardo Reis Fagundes
Doutor em Fitomelhoramento pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

Prof. Dr. Filipe Selau Carlos
Doutor em Ciência do Solo pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

**Dedico este trabalho a meus pais, minha
família, meu noivo e meus amigos**

Agradecimentos

Aos meus pais, pela minha existência e ajuda.

Ao meu noivo, pelo intenso apoio, paciência e compreensão.

À minha família, pelo incentivo.

Ao Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, seu corpo docente, direção e administração, que oportunizaram a realização do curso de Doutorado Acadêmico.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Clima Temperado, pelo financiamento da pesquisa e fornecimento de infraestrutura física e pessoal para a realização do trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES), pela disponibilização da bolsa de doutorado.

A todos meus professores, pela contribuição para meu crescimento intelectual e, também, para a formação de meu caráter e afetividade pela educação ao longo de minha formação profissional.

Aos colegas e amigos que, direta ou indiretamente, fizeram parte de minha caminhada no curso de pós-graduação, em nível de doutorado.

Aos alunos e bolsistas de iniciação científica, principalmente à minha irmã Vitória Tavares Silva, que participaram e contribuíram para a execução deste trabalho.

À Sanitec Tecnologia Ambiental, empresa na qual trabalho, em especial ao Wolney Aliodes Nunes e Osvaldo Luis Vieira Faria, pelo apoio para eu realizar meu trabalho.

Ao meu coorientador, Prof. Dr. Rogério Oliveira de Sousa, e à minha orientadora, Pesq. Dra. Walkyria Bueno Scivittaro, por acreditarem no meu potencial e tornarem possível este trabalho.

Obrigada.

*“Se quer viver uma vida feliz, amarre-se a uma meta, não às
pessoas nem às coisas”*

(Albert Einstein)

Resumo

SILVA, Giovana Tavares. **Potencial da irrigação por inundação intermitente em mitigar as emissões de gases de efeito estufa de cultivares de arroz**. 2024. 79f. Tese (Doutorado em Ciências) – Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel”, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2024.

O cultivo de arroz irrigado é responsável por emissões significativas de gases de efeito estufa (GEE), principalmente metano (CH_4). Isso ocorre principalmente nas lavouras que utilizam o sistema irrigado por inundação contínua, que mantém o solo saturado durante quase todo o ciclo de cultivo do arroz. A inundação do solo cria condições ideais para a atividade de microrganismos metanogênicos, que decompõem a matéria orgânica no solo, liberando CH_4 . As lavouras de arroz também contribuem para a emissão de outros GEE, como o dióxido de carbono (CO_2) e o óxido nitroso (N_2O), mas em menor quantidade. O sistema de irrigação por inundação intermitente, que alterna períodos de solo inundado e drenado durante o ciclo de cultivo do arroz, pode constituir-se em estratégia para mitigar as emissões de GEE da lavoura de arroz, particularmente CH_4 . Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar potencial e a intensidade de emissão de GEE de cultivares de arroz sob irrigação por inundação contínua e intermitente. O estudo foi realizado nas safras agrícolas 2019/2020 a 2021/2022, em Planossolo, na Estação Experimental Terras Baixas da Embrapa Clima Temperado, em Capão do Leão, RS. Ao longo das três safras, avaliaram-se quatro cultivares convencionais de arroz irrigado (BRS Pampa CL, BRS A705, BRS Pampeira e BRS 358) e duas cultivares híbridas (XP 113 e XP 117). As emissões de GEE foram medidas pelo método da câmara estática fechada. Avaliaram-se os fluxos e emissões sazonais de CH_4 e N_2O e o desempenho produtivo do arroz irrigado. Calcularam-se, ainda, o potencial de aquecimento global parcial (PAGp) da cultura, considerando-se potenciais de aquecimento global do CH_4 e N_2O em relação ao CO_2 , respectivamente de 28 e 265, e a intensidade de emissão da cultura (PAGp/RG), que relaciona o PAGp ao rendimento de grãos (RG). As principais diferenças nas emissões de CH_4 estiveram associadas ao sistema de irrigação do arroz, sendo maiores sob inundação contínua, relativamente à inundação intermitente. Picos maiores de emissão de CH_4 ocorreram no período compreendido entre o emborrachamento e início da floração do arroz. As emissões sazonais de CH_4 e o PAGp 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_2O . As cultivares de arroz irrigado diferiram quanto ao potencial de emissão de CH_4 e ao 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 apresentaram maior potencial mitigador de emissão de GEE e do PAGp. O sistema de irrigação por inundação intermitente mostra-se uma alternativa promissora para reduzir as emissões de GEE e o potencial de aquecimento global da lavoura de arroz nas condições de cultivo das terras baixas do Rio Grande do Sul. Contudo, a adoção dessa técnica requer um manejo criterioso, considerando a interação entre o manejo da água e a adubação nitrogenada, evitando incrementos substanciais nas emissões de N_2O e estresses por déficit hídrico e garantindo a sustentabilidade da produção.

Palavras-chave: Arroz irrigado, Genótipo, Irrigação por inundação intermitente, Metano, Óxido nitroso, Intensidade de emissão.

Abstract

SILVA, Giovana Tavares. **Potential of Intermittent Flood Transparency in Mitigating Greenhouse Gas Emissions from Rice Cultivars**. 2024. 79f. Thesis (Master of Science) – Faculty of Agronomy “Eliseu Maciel”, Federal University of Pelotas, Pelotas, 2024.

Irrigated rice cultivation is responsible for significant greenhouse gas (GHG) emissions, mainly methane (CH_4). This occurs mainly in crops that use the continuous flooding system, which keeps the soil saturated throughout almost the entire rice growing cycle. Flooding the soil creates ideal conditions for the activity of methanogenic microorganisms, which decompose organic matter in the soil, releasing CH_4 . Rice crops also contribute to the emission of other GHGs, such as carbon dioxide (CO_2) and nitrous oxide (N_2O), but in smaller quantities. The intermittent flood irrigation system, which alternates periods of flooded and drained soil during the rice growing cycle, can constitute a strategy to mitigate GHG emissions from rice crops, particularly CH_4 . This study was developed with the objective of evaluating the potential and intensity of GHG emissions from rice cultivars under continuous and intermittent flood irrigation. The study was carried out in the 2019/2020 to 2021/2022 agricultural harvests, in Planossolo, at the Terras Baixas Experimental Station of Embrapa Clima Temperado, in Capão do Leão, RS. Over the three harvests, four conventional irrigated rice cultivars (BRS Pampa CL, BRS A705, BRS Pampeira and BRS 358) and two hybrid cultivars (XP 113, XP 117) were evaluated. GHG emissions were measured by the closed static chamber method. Seasonal CH_4 and N_2O fluxes and emissions and the productive performance of irrigated rice were evaluated. The partial global warming potential (GWP) of the crop was also calculated, considering the global warming potentials of CH_4 and N_2O in relation to CO_2 , respectively 28 and 265, as well as the crop's emission intensity (GWP/RG), which relates GWP to grain yield (RG). The main differences in CH_4 emissions were associated with the rice irrigation system, being higher under continuous flooding compared to intermittent flooding. The highest emission peaks occurred in the period between the booting and the beginning of rice flowering. Seasonal CH_4 emissions and GWP were higher under continuous flooding irrigation compared to intermittent flooding, with no effect of the irrigation system on total N_2O emissions. Irrigated rice cultivars differed in terms of CH_4 and GWP emission potential, as well as in tolerance to water stress caused by intermittent irrigation. In general, cultivars that combine an early biological cycle and high production potential have a greater potential to mitigate GHG emissions and GWP. The intermittent flood irrigation system is a promising alternative to reduce GHG emissions and the global warming potential of rice crops in the lowlands of Rio Grande do Sul. However, the adoption of this technique requires careful management, considering the interaction between water management and nitrogen fertilization, avoiding substantial increases in N_2O emissions and stress due to water deficit and ensuring the sustainability of production.

Key words: Irrigated rice, Genotype, Alternating wetting and drying (AWD) irrigation, Methane, Nitrous oxide, Emission intensity.

Lista de Figuras

Figura 1 – Precipitação pluviométrica e temperatura média do ar registradas durante o período experimental nas safras 2019/2020 (a), 2020/2021 (b) e 2021/2022 (c).	27
Figura 2 - Fluxos diários de CH ₄ associados a cultivares de arroz sob irrigação por inundação contínua (a), (b) e (c) e intermitente (d), (e) e (f) nas safras agrícolas 2019/2020, 2020/2021 e 2021/2022, respectivamente. N1: primeira adubação nitrogenada; N2: segunda adubação nitrogenada.....	34
Figura 3 - Fluxos diários de N ₂ O associados a cultivares de arroz sob irrigação por inundação contínua (a), (b) e (c) e intermitente (d), (e) e (f) nas safras agrícolas 2019/2020, 2020/2021 e 2021/2022, respectivamente. N1: primeira adubação nitrogenada; N2: segunda adubação nitrogenada.....	37
Figura 4 - Potencial de aquecimento global parcial (PAGp) de cultivares de arroz sob irrigação por inundação contínua (a), (b) e (c) e intermitente (d), (e) e (f) nas safras agrícolas 2019/2020, 2020/2021 e 2021/2022, respectivamente.	42

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Características gerais das cultivares de arroz irrigado avaliadas ao longo de três safras agrícolas.	25
Tabela 2 - Produtividade em função do sistema de irrigação. Embrapa Clima Temperado. Capão do Leão, RS. Safra 2019/2020.	32
Tabela 3 - Produtividade em função do sistema de irrigação. Embrapa Clima Temperado. Capão do Leão, RS. Safra 2020/2021.	32
Tabela 4 - Produtividade em função do sistema de irrigação. Embrapa Clima Temperado. Capão do Leão, RS. Safra 2021/2022.	33
Tabela 5 - Emissões sazonais de CH ₄ de cultivares de arroz sob irrigação por inundação contínua e intermitente na safra agrícola 2019/2020. Embrapa Clima Temperado. Capão do Leão, RS.	38
Tabela 6 - Emissões sazonais de CH ₄ de cultivares de arroz sob irrigação por inundação contínua e intermitente na safra agrícola 2020/2021. Embrapa Clima Temperado. Capão do Leão, RS.	38
Tabela 7 - Emissões sazonais de CH ₄ associadas ao cultivo de arroz sob irrigação por inundação contínua e intermitente. Embrapa Clima Temperado. Capão do Leão, RS. Safra 2021/2022.	39
Tabela 8 - Emissões sazonais de N ₂ O de cultivares de arroz sob irrigação por inundação contínua e intermitente. Embrapa Clima Temperado. Capão do Leão, RS. Safra 2019/2020.	39
Tabela 9 - Emissões sazonais de N ₂ O de cultivares de arroz sob irrigação por inundação contínua e intermitente. Embrapa Clima Temperado. Capão do Leão, RS. Safra 2020/2021.	40
Tabela 10 - Emissões sazonais de N ₂ O de cultivares de arroz sob irrigação por inundação contínua e intermitente. Embrapa Clima Temperado. Capão do Leão, RS. Safra 2021/2022.	41
Tabela 11 – Potencial de aquecimento global parcial (PAGp) de cultivares de arroz sob irrigação por inundação contínua e intermitente. Embrapa Clima Temperado. Capão do Leão, RS. Safra 2019/2020.	44
Tabela 12 - Potencial de aquecimento global parcial (PAGp) de cultivares de arroz sob irrigação por inundação contínua e intermitente. Embrapa Clima Temperado. Capão do Leão, RS. Safra 2020/2021.	44
Tabela 13 - Potencial de aquecimento global parcial (PAGp) de cultivares de arroz sob irrigação por inundação contínua e intermitente. Embrapa Clima Temperado. Capão do Leão, RS. Safra 2021/2022.	44
Tabela 14 - Potencial de aquecimento global parcial em escala de rendimento de grãos (PAGp/RG) de cultivares de arroz sob irrigação por inundação contínua e intermitente. Embrapa Clima Temperado. Capão do Leão, RS. Safra 2019/2020.	46
Tabela 15 - Potencial de aquecimento global parcial em escala de rendimento de grãos (PAGp/RG) de cultivares de arroz sob irrigação por inundação contínua e intermitente. Embrapa Clima Temperado. Capão do Leão, RS. Safra 2020/2021.	46
Tabela 16 - Potencial de aquecimento global parcial em escala de rendimento de grãos (PAGp/RG) de cultivares de arroz sob irrigação por inundação contínua e intermitente. Embrapa Clima Temperado. Capão do Leão, RS. Safra 2021/2022.	46

Sumário

1. Introdução	12
2. Revisão de Literatura	14
2.1. Atividade agrícola e gases de efeito estufa	14
2.3. Manejo da irrigação e produção de gases de efeito estufa em lavouras de arroz	20
2.4. Potencial de emissão de gases de efeito estufa de cultivares de arroz	22
3. Hipóteses	23
4. Objetivos	23
4.1. Objetivo Geral	23
4.2. Objetivos Específicos	24
5. Materiais e Métodos	24
5.1. Emissões de GEE de genótipos de arroz em cultivo irrigado por inundação contínua e intermitente	24
5.1.2. Implantação e condução da cultura do arroz	26
5.1.3. Coleta de amostras e avaliação das emissões de GEE	28
5.1.4. Desempenho produtivo	30
5.1.5. Análise estatística	30
6. Resultados	31
6.1. Desempenho produtivo das cultivares de arroz	31
6.2. Fluxos de CH ₄ de cultivares de arroz sob irrigação por inundação contínua e intermitente	33
6.2. Fluxos de N ₂ O de cultivares de arroz sob irrigação por inundação contínua e intermitente	36
6.3. Emissões sazonais de CH ₄ de cultivares de arroz sob irrigação por inundação contínua e intermitente	37
6.4. Emissões sazonais de N ₂ O de cultivares de arroz sob irrigação por inundação contínua e intermitente	39
6.5. Potencial de aquecimento global parcial (PAG _p) do arroz sob irrigação por inundação contínua e intermitente	41
6.6. Potencial de aquecimento global parcial em escala de rendimento de grãos (PAG _p /RG)	45
8. Discussão	47
9. Conclusões	52

10. Referências54
ANEXOS64

1. Introdução

O efeito estufa é um fenômeno natural, que está associado à distribuição de energia solar no planeta. Os principais gases de efeito estufa (GEE) são o vapor de água, dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), ozônio (O₃) e o clorofluorcarbono (CFC). Esses gases, que ocorrem naturalmente em baixas concentrações na atmosfera, garantem condições climáticas favoráveis aos seres humanos, pois mantêm a temperatura média da Terra em torno de 15°C. Entretanto, devido às atividades antrópicas, a concentração de GEE na atmosfera vem aumentando, principalmente de CO₂, CH₄ e N₂O. Dentre essas atividades inclui-se a atividade agrícola (IPCC, 2014; Khapre *et al.*, 2019).

A agricultura desempenha papel determinante na concentração de GEE na atmosfera, contribuindo com 10-14% do total das emissões globais, dos quais 50-60% provêm de N₂O e CH₄. Esses gases (N₂O e CH₄) estão diretamente ligados aos solos agrícolas, sistema de irrigação e insumos, principalmente à adubação nitrogenada (Shakoor *et al.*, 2020).

Na produção agrícola, a lavoura de arroz se destaca não apenas como um dos principais cultivos alimentares globais, mas também como uma importante fonte de emissões de gases de efeito estufa (GEE), especialmente o metano (CH₄), devido às condições alagadas que predominam no sistema irrigado por inundação contínua. Essas emissões contribuem significativamente para o aquecimento global e representam um desafio para a sustentabilidade da agricultura.

O Brasil é um importante produtor de arroz (*Oryza sativa* L.); sua produção está concentrada na região Sul. No Rio Grande do Sul, principal estado produtor de arroz brasileiro, o arroz é cultivado predominantemente no sistema irrigado por inundação do solo, utilizando, em decorrência, grande quantidade de água (Ávila *et al.*, 2015). A produção de arroz irrigado no Estado é considerada uma atividade com impacto ambiental negativo, particularmente em razão da elevada demanda hídrica e da manutenção de extensas áreas inundadas, propiciando potencial elevado de emissão de GEE.

Uma alternativa bastante promissora para a mitigação de emissões de GEE da lavoura de arroz, principalmente de CH₄, é a adoção de sistema de irrigação por inundação intermitente, que alterna períodos de solo inundado e drenado. Esse

sistema de irrigação pode promover economia da água e, se bem manejado, pode proporcionar produções próximas ou mesmo semelhantes à irrigação por inundação contínua. Por outro lado, como consequência de períodos sem a presença de lâmina da água, pode aumentar a incidência de plantas daninhas, assim como a diversidade de espécies presentes nas áreas, exigindo a adoção de medidas eficientes de controle das plantas daninhas (Stone, 2005; Watanabe, 2007), entre outras práticas de manejo para evitar perdas em produtividade.

A intermitência na irrigação tem efeito distinto sobre as cultivares de arroz irrigado, seja na tolerância ao estresse hídrico e, consequente produtividade, ou no potencial de emissão de GEE. Cultivares com maior eficiência na absorção de nutrientes e com características morfofisiológicas que favorecem a adaptação a períodos de solo drenado podem demonstrar menores emissões de GEE, contribuindo para uma produção de arroz mais sustentável. Resultados de pesquisa mostram que as diferenças nas taxas de emissões de CH₄ podem estar relacionadas ao crescimento das plantas e a características morfológicas e fisiológicas das cultivares de arroz (Simmonds *et al.*, 2015; Xu *et al.*, 2018).

A exsudação radicular e o mecanismo de transporte de gases das cultivares de arroz também influenciam seu potencial de emissão de CH₄ para a atmosfera (Mitra *et al.*, 1999). Isto porque os exsudatos radiculares das plantas de arroz servem como substratos para a produção de CH₄. Ladha *et al.* (1986) observaram que as cultivares de arroz apresentam padrão de exsudação radicular distinto e liberam diferentes quantidades de carboidratos no meio de cultivo. Kludze *et al.* (1995), por sua vez, determinaram dependência entre a taxa de exsudação radicular e características morfológicas e fisiológicas das plantas de arroz, especialmente a massa, tipo e estágio fisiológico da planta.

Portanto, conhecer o impacto da irrigação por inundação intermitente e a resposta de diferentes cultivares de arroz a esse sistema de irrigação, assim como sua influência sobre as emissões de GEE é essencial para a indicação de práticas de manejo para a cultura que conciliem produtividade elevada a menor impacto ambiental negativo.

O presente trabalho busca atender à demanda de conferir sustentabilidade à lavoura de arroz do sul do Brasil, avaliando alternativas que promovam a sustentabilidade da produção de arroz, aliando elevado potencial produtivo à redução

de emissões de GEE, alinhando-se ao objetivo global de mitigação das mudanças climáticas.

Nesse sentido, este estudo foi desenvolvido com o intuito de avaliar o impacto da adoção da irrigação por inundação intermitente, comparativamente à inundação contínua, sobre o desempenho produtivo e potencial de emissão de gases de efeito estufa de cultivares de arroz.

2. Revisão de Literatura

2.1. Atividade agrícola e gases de efeito estufa

Nas últimas décadas a concentração de GEE na atmosfera terrestre aumentou, principalmente de CO₂, CH₄ e N₂O (IPCC, 2014), o que vem causando grande preocupação às autoridades e à população em geral. O efeito estufa é um fenômeno natural, que está associado à distribuição da energia solar no planeta e ocorre devido à presença de GEE na atmosfera terrestre (Braga, 2005). Parte da energia que incide sob o planeta é absorvida pela superfície terrestre e pelos oceanos e parte é refletida para o espaço por corpos refletantes. A energia que é refletida para o espaço pode ser absorvida pelos GEE, sendo re-emitida para a superfície terrestre. A presença de GEE na atmosfera permite que a Terra se mantenha aquecida, a uma temperatura média em torno de 15°C, proporcionando condições ideais para a vida terrestre (Carvalho *et al.*, 2010). O aumento da concentração de GEE na atmosfera terrestre deve-se, principalmente, a atividades antropogênicas, como a queima de combustíveis fósseis, a atividade industrial e as queimadas, bem como pela atividade agrícola (Piva, 2012). Em decorrência, cientistas têm atribuído o aumento na concentração de GEE na atmosfera como principal causa do aquecimento global (Signor; Cerri, 2013).

Os principais GEE presentes na atmosfera terrestre são CO₂, CH₄ e N₂O, devido à elevada concentração atmosférica e por apresentarem maior capacidade de reter radiação. Os clorofluorcarbonos (CFC's), hidroclorofluorcarbonos (HCFC's), perfluorcarbonos (PFC's), hexafluoreto de enxofre (SF_x) e o vapor de água (H₂O), também são considerados GEE (Barde *et al.*, 2001; Wmo, 2013; IPCC, 2014). O aumento das concentrações de GEE impacta as propriedades da superfície da Terra

e o balanço de radiação solar, o que tende a alterar o equilíbrio energético do sistema climático (Kettunen, 2007; IPCC, 2007).

O CH₄ e o N₂O possuem potencial de aquecimento global (PAG) 28 e 265 vezes maior que o CO₂, respectivamente, considerando 100 anos de permanência (IPCC, 2014). O conceito do PAG foi desenvolvido pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas – IPCC da sigla em inglês, como uma forma de comparar a capacidade dos gases de reter calor na atmosfera.

Vários são os setores que contribuem para as emissões de GEE, sendo classificados em: energia; mudança no uso da terra; processos industriais; resíduos e agropecuária (SEEG, 2022). No Brasil, em 2021, o setor que mais contribuiu para as emissões totais de GEE foi o de mudança no uso da terra, respondendo por 49% do total, seguido pelo setor agropecuário, que emitiu mais de 600 Tg CO₂ equiv., representando 25% de todas as emissões. As emissões de CH₄ e N₂O da agropecuária em 2021 representaram 70,6% e 81% do total nacional, respectivamente.

Em nível regional, o Rio Grande do Sul contribuiu com 83% das emissões de CH₄ e 93% das emissões de N₂O da agropecuária (SEEG, 2022). Dentre as diversas atividades agropecuárias, o subsetor cultivo do arroz contribui com 1,76% das emissões totais de GEE do país (SEEG, 2022).

Devido à significativa contribuição da lavoura de arroz para o efeito estufa em termos globais, é necessário buscar alternativas para mitigar as emissões de GEE dessa atividade produtiva (Carvalho *et al.*, 2010). O manejo do solo, da adubação e da água de irrigação, bem como a escolha de cultivares, são alternativas que podem contribuir para a redução das emissões de GEE da lavoura de arroz, tanto de CH₄ quanto de N₂O e CO₂ (Ahlschwede, 2013).

2.2. Lavoura de arroz e a produção e emissão de gases de efeito estufa

O Brasil é o maior produtor e consumidor de arroz entre os países não asiáticos (USDA, 2018). Na safra agrícola 2023/2024, a produção brasileira de arroz foi superior a 10 milhões de toneladas. No país, a cultura é produzida sob dois sistemas de cultivo: irrigado e de terras altas (sequeiro), sendo que o primeiro responde por cerca de 79% da produção. Os estados do Rio Grande do Sul (RS), Santa Catarina (SC) e Tocantins

(TO) são os principais produtores nacionais de arroz, com destaque para o Rio Grande do Sul, que responde por mais de 75% do total. Na safra 2023/2024, a produção gaúcha de arroz totalizou 7,1 milhões de toneladas, enquanto que as produções de Santa Catarina e do Tocantins corresponderam, respectivamente, a 1,1 e 0,75 milhões de toneladas (CONAB, 2024).

Na região sul do Brasil predomina o cultivo de arroz irrigado, a qual responde, em média, por mais de 80% da produção brasileira (Coltro *et al.*, 2017; CONAB, 2022). De acordo com a CONAB (2024), o Rio Grande do Sul é o principal produtor nacional de arroz irrigado, destacando-se, ainda, pela produtividade elevada, atingindo média superior a 7,5 toneladas por hectare na última safra (CONAB, 2024). Na safra 2022/2023, a produtividade foi um pouco maior que a atual (2023/2024), apesar dos níveis dos reservatórios terem se mantido baixos em períodos críticos do desenvolvimento da cultura, mas ainda considerado satisfatório diante das adversidades climáticas. Em algumas regiões, as altas temperaturas durante a floração, período crítico para a cultura, também prejudicaram o potencial produtivo das lavouras. Além disso, houve regiões em que a finalização da colheita atrasou devido ao excesso de chuvas (CONAB, 2022).

Apesar das frustrações ao longo do tempo e das regiões produtoras, afetando a produção e produtividade do arroz, o cultivo do cereal está se expandindo gradualmente em todo mundo e tem-se a expectativa de que continue aumentando, acompanhando a demanda crescente da população mundial. No entanto, o arroz, quando cultivado sob o sistema irrigado por inundação do solo contribui significativamente para as emissões de GEE, particularmente o CH₄, mas também de N₂O (Carlson *et al.*, 2017; Yuan; Dai; Wang, 2019; Zhang *et al.*, 2014).

A produção e a emissão de CH₄ no cultivo de arroz irrigado estão associadas ao alagamento, que promove a diminuição da concentração de oxigênio no solo. Em ambientes anaeróbios, há o favorecimento do desenvolvimento de microrganismos anaeróbios facultativos e obrigatórios (Le Mer; Roger, 2001; Tang *et al.*, 2018; Zschornack, 2011). Esses microrganismos obtêm energia através da oxidação do carbono dos compostos orgânicos, por meio de reações redox, ou seja, de oxidação e redução. Os microrganismos anaeróbios utilizam compostos inorgânicos oxidados do solo, como o nitrato (NO₃⁻), manganês (Mn⁺⁴), ferro (Fe⁺³), sulfato (SO₄⁻²) e CO₂, como aceptores de elétrons, que são reduzidos a amônio (NH₄⁺), Mn⁺², Fe⁺², ácido

sulfídrico (H₂S) e CH₄, respectivamente (Kögel-Knabner *et al.*, 2010). A Reação 1 representa a formação de CH₄ a partir do CO₂. Com a diminuição da disponibilidade dos aceptores de elétrons inorgânicos, os microrganismos anaeróbios passam a utilizar aceptores de origem orgânica, caracterizando um processo conhecido como fermentação, que tem como produtos o etanol, acetato, H₂, N₂, CO₂ e CH₄ (Silva *et al.*, 2008). O acetato, CO₂ e o H₂ são os principais substratos utilizado pelos microrganismos metanogênicos na produção de CH₄ (Ponnamperuma, 1972; Kögel-Knabner *et al.*, 2010). Nessa via, o CH₄ é resultado da transmetilação do ácido acético (CH₃COOH), representada na Reação 2 (Zhang *et al.*, 2013).



O CH₄ é produzido por um grupo de bactérias pertencente aos gêneros *Methanobacterium*, *Methanobrevibacter*, *Methanococcus* e *Methanosarcina* (Dubey, 2005). Especificamente em cultivos de arroz irrigado, o CH₄ é produzido principalmente em áreas úmidas terrestres anóxicas (Laakso; Schrag, 2019; Sampaio; Nääs; Salgado, 2006) pelos gêneros *Methanobacterium* e *Methanosarcina*, que compreendem bactérias estritamente anaeróbias as quais requerem potencial redox (Eh) próximo a -200 mV para reduzir os compostos contendo carbono e produzir CH₄. O potencial redox é uma medida quantitativa da tendência de um determinado sistema ser oxidado ou reduzido. Se o Eh for positivo, o sistema é altamente oxidado e quando esse é negativo significa que o sistema é fortemente reduzido. Os solos cultivados com arroz irrigado são reduzidos praticamente em sua totalidade (Dubey, 2005).

A associação de dois fatores, disponibilidade de substrato e condição favorável para à atividade de microrganismos metanogênicos, possibilita a produção de CH₄ no cultivo de arroz irrigado. A quantidade de matéria orgânica facilmente biodegradável (substrato) e a magnitude do sistema redox após a redução do Fe⁺³ e do SO₄⁻² são os fatores que dão início à produção de CH₄ em solos inundados (Moterle, 2011; Moscôso, 2018).

O potencial de redução de ambientes alagados apresenta estratificação vertical, de forma que as condições de redução aumentam com a profundidade. A

criação desse gradiente é resultado do balanço entre o influxo de O_2 da atmosfera pela água e o consumo de O_2 pela microflora do solo. Assim, a condição de solo oxidado ocorre nos primeiros milímetros superficiais do solo abaixo da lâmina de água, havendo diminuição da concentração de O_2 com a profundidade do solo. Por essa razão, a ocorrência de condições adequadas à metanogênese aumenta com a profundidade do solo, onde a produção de CH_4 é maior (Johnson-Beebout *et al.*, 2009).

A quantidade de CH_4 emitida em solos cultivados com arroz irrigado por inundação resulta do balanço de dois processos: a produção de metano por bactérias metanogênicas e a oxidação desse GEE, mediada por bactérias metanotróficas nas zonas oxidadas (interface água-solo e na rizosfera da cultura do arroz) (Aulakh; Wassmann; Rennenberg, 2001). Portanto nem todo o CH_4 produzido tem como destino final a atmosfera, pois os metanotróficos oxidam parte do CH_4 produzido sob condições de solo oxidado. Considerando que duas zonas permanecem oxidadas nos solos cultivados com arroz irrigado, a camada superficial, onde a atividade microbiana realiza processos típicos de zonas aeróbias, e a rizosfera, que é oxidada devido à presença de aerênquima das plantas de arroz (canais presentes no interior dos colmos e raízes que permitem trocas gasosas entre o solo e a atmosfera e vice-versa), parte do CH_4 produzido é oxidado nessas regiões, evitando emissões para a atmosfera (Smith *et al.*, 2003; Sousa *et al.*, 2009).

O aerênquima das plantas de arroz constitui-se na principal via de liberação do CH_4 produzido em cultivos de arroz irrigado, transportando aproximadamente 90% do CH_4 produzido em zonas anaeróbias (Conrad, 2002; Schutz *et al.*, 1989). O CH_4 também pode ser transportado para a atmosfera pelos mecanismos de ebulição e difusão (Lima *et al.*, 2008).

Embora o metano seja o principal gás emitido nas lavouras de arroz, a irrigação intermitente pode influenciar também as emissões de CO_2 . Durante os períodos de drenagem, pode haver maior mineralização da matéria orgânica, liberando dióxido de carbono para a atmosfera. No entanto, essa emissão geralmente é menos significativa em termos de impacto climático quando comparada ao metano e ao óxido nitroso.

Outro GEE que é emitido em solos cultivados com arroz é o N_2O . Este é produto de processos naturais, intermediado por microrganismos (Seinfeld; Pandis, 2006).

Além das emissões naturais de N_2O , as adubações nitrogenadas constituem-se em importante fonte de N_2O para a atmosfera (O'mara, 2012; Reddy; Delaune, 2008).

Os processos de mineralização, nitrificação e desnitrificação estão associados à emissão de N_2O do solo. A mineralização consiste na transformação do N na forma orgânica para inorgânica, amônio (NH_4^+), sendo realizada por microrganismos heterotróficos presentes no solo, que utilizam os compostos da matéria orgânica do solo (MOS) como fonte de energia, resultando, geralmente, em aumento do pH do meio devido ao consumo de prótons (Paul; Clark, 1996; Sousa Neto, 2008; Robertson; Groffman, 2015). O processo de nitrificação é a oxidação biológica de formas reduzidas do nitrogênio. Neste processo, bactérias quimioautotróficas oxidam o NH_4^+ a nitrito (NO_2^-) e, posteriormente, a NO_3^- (Matson *et al.*, 2002; Towprayoon *et al.*, 2005; Seinfeld; Pandis, 2006; Snyder *et al.*, 2009). A desnitrificação ocorre em condições de anaerobiose, caracterizando-se pelo processo de redução do NO_3^- a N_2 , gerando também produtos intermediários, como monóxido de nitrogênio (NO) e o N_2O , que são perdidos para atmosfera (Sousa Neto, 2008; Vahl; Souza, 2004; Zanatta, 2009; Robertson; Groffman, 2015). Esses processos estão intimamente relacionados, visto que a desnitrificação requer a presença de NO_3^- e NO_2^- , produzidos por nitrificação, e a nitrificação necessita de NH_4^+ , que é produto da mineralização da MOS (Kettunen, 2007). O N_2O é gerado quando a conversão de NH_4^+ a N_2 não é completa, gerando esse GEE que é liberado para a atmosfera (Snyder *et al.*, 2009).

Em condições aeróbias, o processo de nitrificação é favorecido, visto que sua reação requer O_2 comoceptor final de elétrons; já em condições anaeróbias, a desnitrificação prevalece, dado que as bactérias que realizam o processo são anaeróbias facultativas, capazes de utilizar NO_3^- comoceptor de elétrons para a respiração, sob níveis baixos ou na ausência de O_2 (Bateman; Baggs, 2005).

A emissão de N_2O é estimulada pela alternância dos processos de umedecimento e secagem do solo proporcionados pela intermitência da irrigação (Xiong; Xing; Zhu, 2007). Portanto, os fluxos de N_2O no cultivo de arroz irrigado são estimulados, principalmente, pela aplicação de fertilizantes orgânicos e minerais contendo N e pela intermitência ou desuniformidade da irrigação e/ou inundação do solo.

A emissão de N_2O em cultivo de arroz irrigado por inundação contínua é pouco representativa, devido à estabilidade na condição de anaerobiose do solo. Por outro

lado, a intermitência da irrigação ou a drenagem da lavoura promovem alternância nas condições de oxirredução do solo, favorecendo os processos produtores de N_2O (Liu *et al.*, 2010).

2.3. Manejo da irrigação e produção de gases de efeito estufa em lavouras de arroz

O aumento da produção de alimentos devido à demanda crescente da população mundial exige o desenvolvimento de tecnologias e práticas de manejo que promovam a redução de emissões de GEE da atividade agrícola, proporcionando uma produção mais sustentável (Hussain *et al.*, 2015). É importante e necessário, porém, que as alternativas de manejo desenvolvidas para esse fim não afetem a produtividade dos cultivos, ou seja, conciliem a mitigação de emissões de GEE ao aumento ou pelo menos a manutenção da produtividade.

A irrigação por inundação contínua do solo, que predomina no estado do Rio Grande do Sul, contribui para o bom desempenho da lavoura de arroz, facilitando o manejo da água (Stone, 2005) e proporcionando controle físico de plantas daninhas (Correa *et al.*, 1997), efeito termoregulador (Reunião..., 2018) e aumento do pH e da disponibilidade de nutrientes no solo (Ponnamperuma, 1972). Esse método de irrigação pressupõe a manutenção de lâmina de água sobre a superfície do solo durante grande parte do ciclo da cultura, proporcionando ao solo condições anaeróbias e favorecendo a ocorrência de microrganismos que não necessitam de O_2 para desenvolverem suas atividades e de condições favoráveis à metanogênese, devido ao elevado conteúdo de carbono e à baixa taxa de decomposição da fitomassa (Agostinetto *et al.*, 2002; Reddy, 2015). Condições prolongadas de solo inundado podem restringir as emissões de N_2O , dado que esse GEE pode ser biologicamente reduzido a N_2 , minimizando sua emissão (Reddy; Delaune, 2008; Towprayoon; Smakgahn; Poonkaew, 2005). Por outro lado, a irrigação por inundação contínua, além de favorecer a emissão de CH_4 , também resulta na utilização de grande quantidade de recursos hídricos, podendo causar problemas ambientais, como poluição difusa e eutrofização de mananciais hídricos (Huang *et al.*, 2011; Jiao *et al.*, 2018; Li *et al.*, 2018).

Uma forma eficaz para diminuir a produção e emissão de CH₄ em solos cultivados com arroz é a adoção da irrigação por inundação intermitente, que alterna ciclos de solo inundado e drenado (Lahue *et al.*, 2016). Esse sistema também proporciona o uso mais eficiente da água, diminuindo as perdas por escoamento superficial e percolação, viabiliza o melhor aproveitamento da água da chuva e controla a toxidez por ferro, quando presente (Moterle, 2011; Stone, 2005; Tyagi; Kumari; Singh, 2010). Estudos mostram economia média de 23% da água pelo uso da irrigação por inundação intermitente, relativamente à inundação contínua (Bouman; Tuong, 2001).

Quanto à mitigação das emissões de CH₄, Zhang *et al.* (2012) verificaram redução de 45% nas emissões do GEE pelo uso de irrigação por inundação intermitente, em comparação com a inundação contínua. Isto porque a irrigação por inundação intermitente proporciona aumento mais lento da produção de CH₄ e picos de emissão de CH₄ menores que a inundação contínua. O percentual de redução de emissões de CH₄ varia com a severidade da restrição de água à cultura e com as condições climáticas vigentes durante o cultivo do arroz. Em estudo realizado em Cachoeirinha, RS, Zschornack (2011) verificou mitigação de 41% nas emissões de CH₄ do cultivo de arroz decorrente da adoção de irrigação por inundação intermitente, caracterizada pela drenagem do solo entre os estádios vegetativos V6 e V8, em relação à irrigação por inundação contínua. Por sua vez, pesquisa desenvolvida por Wesz (2012) na região de Pelotas, RS, obteve resultado de maior magnitude, ou seja, redução de 77% nas emissões de CH₄ do cultivo do arroz pelo uso de irrigação por inundação intermitente ao longo do ciclo da cultura, em substituição à inundação contínua.

Pelo fato de o sistema de irrigação por inundação intermitente favorecer a alternância dos processos de nitrificação do NH₄⁺ a NO₃⁻, quando o solo se encontra oxidado, e a desnitrificação do NO₃⁻ a NH₄⁺, quando este encontra-se inundado, as emissões de N₂O são favorecidas, dado que esse GEE é produto intermediário desses processos (Johnson-Beebout *et al.*, 2009; Liu *et al.*, 2010).

Estudos relatam que o sistema de irrigação por inundação intermitente apresenta elevado potencial de mitigação das emissões de GEE da lavoura de arroz, mas também pode afetar a produtividade da cultura, em função da época e severidade do regime de intermitência da irrigação procedido (Lahue *et al.*, 2016; Carrijo *et al.*,

2017; Norton *et al.*, 2017). Assim, drenagens realizadas em momentos específicos do ciclo da cultura, onde a suscetibilidade ao estresse hídrico é menor, como o final da fase de perfilhamento, início da fase reprodutiva e após o completo enchimento dos grãos, podem contribuir para a redução das emissões de CH₄, sem prejudicar o desempenho produtivo do arroz (Feng *et al.*, 2013; Lu *et al.*, 2000), contribuindo, ainda, para a redução no uso da água pela cultura (Nelson *et al.*, 2015).

2.4. Potencial de emissão de gases de efeito estufa de cultivares de arroz

As cultivares de arroz também podem influenciar as emissões de GEE, principalmente de CH₄. Por meio dos exsudatos radiculares, da decomposição de raízes e da ciclagem de material vegetal, as plantas de arroz fornecem carbono ao solo, que é substrato para os metanogênicos produzirem CH₄ (Lima *et al.*, 2013; Mitra *et al.*, 1999; Moscôso, 2018).

O potencial de emissão de CH₄ de cultivares de arroz está associado, também, à variação na estrutura da planta, tamanho, número de perfilhos, atividade metabólica, entre outros fatores (Aulakh; Wassmann; Rennenberg, 2001; Islam *et al.*, 2018a). Emissões menores geralmente ocorrem em plantas de porte baixo, de ciclo curto e com elevada produtividade de grãos (Grohs *et al.*, 2020). Cultivares de arroz com menor quantidade de aerênquima também apresentam potencial reduzido de emissão de CH₄ do solo para a atmosfera. Além disso, a associação entre o número de perfilhos e a proporção de espaço poroso desempenha papel crucial na moderação do transporte e emissão do GEE para a atmosfera (Bhattacharyya *et al.*, 2019). As cultivares híbridas de arroz, de forma geral, apresentam maior biomassa, quando comparadas às cultivares convencionais e, por essa razão, aportam ao meio de cultivo maior quantidade de carbono lábil, que é o substrato para a produção de CH₄; de outra forma apresentam maior volume de parte aérea e superfície radicular, podendo transportar maior quantidade de O₂ ao solo, favorecendo a atividade de metanotróficos, promovendo a oxidação do CH₄ (Bhattacharyya *et al.*, 2019; MA; QIU; Lu, 2010; Ma *et al.*, 2012) e oxidação do solo.

A maior exsudação das plantas de arroz ocorre, normalmente, na fase de florescimento, devido à alta taxa fotossintética. Em decorrência, a liberação de carbono aumenta, resultando em maior produção de CH₄ no solo (Zhang *et al.*, 2011).

Os microrganismos presentes em solos inundados, onde ocorre ambiente anóxico, principalmente bactérias metanogênicas, usam o carbono dos exsudatos radiculares como receptores finais de elétrons, resultando na formação de CH₄. Com a liberação de carbono via exsudatos radiculares, as cultivares de arroz apresentam potencial distinto de fornecimento de substrato à metanogênese.

A crescente demanda por arroz levou à seleção de cultivares com alto potencial de produtividade, eficientes na utilização de nitrogênio do solo e resistente a pragas e doenças (Le Mer; Roger, 2001). Entretanto, o melhoramento vegetal visou, preponderantemente, o aumento no potencial produtivo, a qualidade de grãos e a incorporação de tolerância a estresses bióticos e abióticos. Paralelamente, conferiu características morfológicas e fisiológicas distintas às cultivares de arroz, que exercem influência na produção de CH₄ no solo e em seu transporte até a atmosfera (Wassmann *et al.*, 1998). A identificação destas características é importante a fim de verificar os atributos que se relacionam com o efluxo de CH₄, podendo ser utilizadas em programas de melhoramento genético, como estratégia mitigadora de emissão desse GEE pela cultura do arroz.

3. Hipóteses

O potencial de emissão de GEE e de aquecimento global de cultivares de arroz é menor sob irrigação por inundação intermitente relativamente à inundação contínua.

Cultivares de arroz irrigado de ciclo precoce e elevado potencial produtivo proporcionam menores emissão e intensidade de emissão de gases de efeito estufa.

Cultivares híbridas de arroz irrigado apresentam menor intensidade de emissão de gases de efeito estufa que as cultivares convencionais, em razão dos caracteres morfofisiológicos e maior potencial produtivo.

4. Objetivos

4.1. Objetivo Geral

Estabelecer o potencial e a intensidade de emissão de gases de efeito estufa de cultivares de arroz em cultivo irrigado por inundação contínua e intermitente.

4.2. Objetivos Específicos

Avaliar o potencial de emissão dos gases de efeito estufa metano e óxido nítrico de cultivares de arroz sob irrigação por inundação contínua e intermitente.

Determinar o potencial produtivo de cultivares de arroz irrigado sob irrigação por inundação contínua e intermitente.

Estabelecer o potencial de aquecimento global parcial e a intensidade de emissão de cultivares de arroz sob irrigação por inundação contínua e intermitente.

5. Materiais e Métodos

5.1. Emissões de GEE de genótipos de arroz em cultivo irrigado por inundação contínua e intermitente

O experimento foi realizado sob condições de campo, na Estação Experimental Terras Baixas (ETB) da Embrapa Clima Temperado, localizada no município do Capão do Leão, RS. O solo da área experimental é classificado como Planossolo Háplico (Streck *et al.*, 2018). Os experimentos foram realizados durante as safras agrícolas 2019/2020, 2020/2021 e 2021/2022.

5.1.1. Tratamentos, delineamento experimental

Os tratamentos incluíram as combinações de três cultivares comerciais de arroz irrigado na safra 2019/2020 (XP 113, BRS Pampa CL e BRS 358), quatro cultivares na safra 2020/2021 (XP 117, BRS Pampeira, BRS Pampa CL e BRS A705) e cinco cultivares na safra 2021/2022 (XP 113, XP 117, BRS Pampeira, BRS Pampa CL e BRS A705), caracterizadas na Tabela 1, e dois sistemas de irrigação (inundação contínua e intermitente). As cultivares XP 113 e XP 117 são híbridos pertencentes a empresa RiceTec Sementes LTDA e as demais cultivares são convencionais, tendo sido geradas pelo Programa de Melhoramento de Arroz da Embrapa.

Tabela 1 - Características gerais das cultivares de arroz irrigado avaliadas ao longo de três safras agrícolas.

Cultivar	Tipo	Perfilhamento	Ciclo	Floração
			dias	dias
BRS 358	Japônica	Alto	Médio / 125	81
BRS Pampa CL	Índica	Alto	Precoce / 118	88
BRS Pampeira	Índica	Alto	Médio / 133	100
BRS A705	Índica	Alto	Precoce / 120	90
XP 117	Índica	Alto	Médio / 125	ND
XP 113	Índica	Alto	Precoce / 120	ND

ND: informação não disponível.

Nas três safras agrícolas, utilizou-se o sistema de semeadura em solo seco. Independentemente do sistema de irrigação, esta foi procedida quando as plantas atingiram o estágio de três a quatro folhas (V3/V4) segundo a escala de Counce *et al.*, (2000). No sistema irrigado por inundação contínua, as parcelas experimentais foram mantidas com uma lâmina de água de cerca de 7 cm altura a partir do início da irrigação até a maturação de colheita (estádio R9). Por sua vez no sistema irrigado por inundação intermitente, promoveram-se fases aeradas ao longo do ciclo da cultura, limitadas à tensão de água no solo de 20 kPa, limite a partir do qual retornava-se à irrigação das parcelas experimentais, mantendo-se uma lâmina de água média de 7 cm de altura por três dias. Visando avaliar a adaptação das cultivares de arroz à intermitência da irrigação, bem como o potencial de mitigação de emissões de GEE desse sistema de irrigação, os ciclos de intermitência de irrigação foram iniciados mediante a drenagem das parcelas experimentais. Este procedimento sempre foi iniciado ao se completarem 3 dias da reposição completa da lâmina de água (7 cm de altura) nas parcelas experimentais. O intervalo para a reposição da água entre os ciclos de secagem variou, porém, em função das condições climáticas e fase de desenvolvimento da cultura, que influenciavam a evapotranspiração e, portanto, o tempo necessário para atingir o limite de tensão no solo pré-estabelecido, de 20 kPa.

As fases aeradas foram implementadas nas fases vegetativa (entre os estádios V4+10 dias e a iniciação da panícula (R0)) e reprodutiva (entre os estádios R1+5 dias e R9), estabelecidas para evitar que os ciclos de umedecimento e secagem do solo interferissem na eficiência das adubações nitrogenadas em cobertura.

Os tratamentos foram 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 e nas subparcelas, os níveis do fator cultivar de arroz.

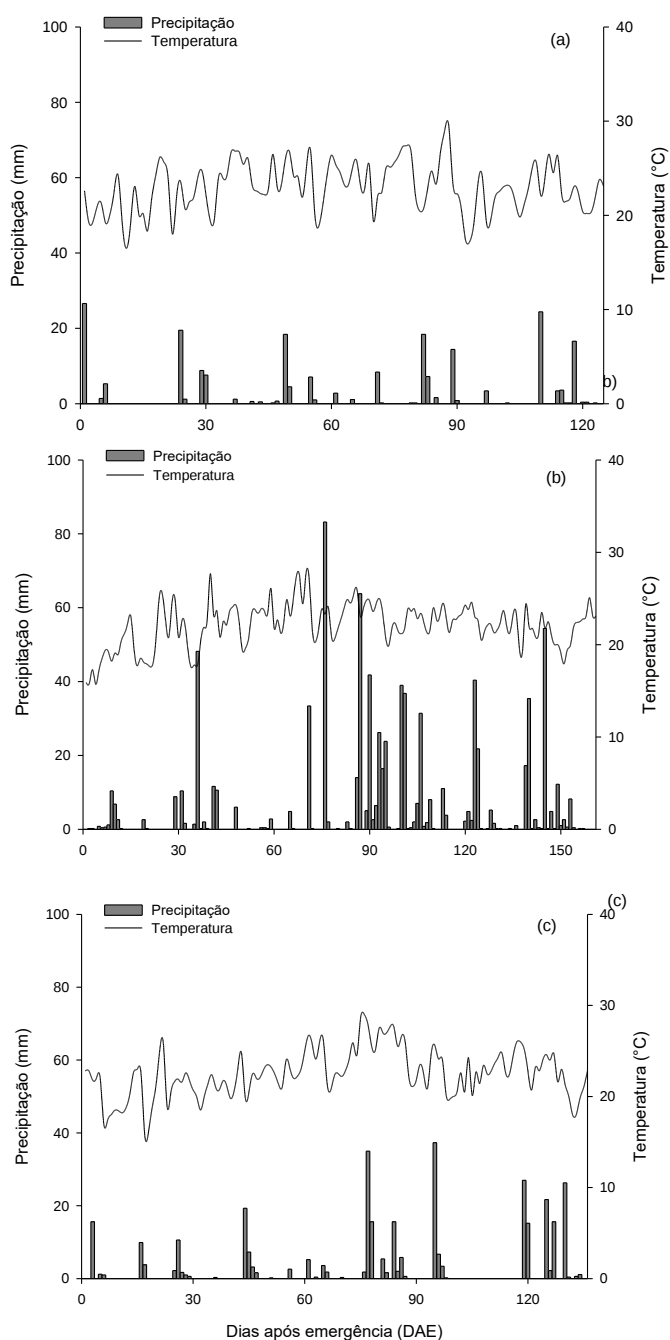
5.1.2. Implantação e condução da cultura do arroz

Em todas as três safras, anteriormente à instalação dos experimentos, foi realizada a amostragem e análise química do solo da área experimental para avaliação da fertilidade. A cultura do arroz foi implantada em sistema convencional de preparo do solo. A recomendação de adubação para o arroz foi estabelecida de acordo com os resultados da análise química do solo e considerando uma expectativa de resposta alta da cultura à adubação (Reunião..., 2018). A dose integral dos fertilizantes fosfatado e potássico e cerca de 15% da dose recomendada de nitrogênio para a cultura foram aplicados de forma localizada no sulco de semeadura. A quantidade restante de nitrogênio foi aplicada de forma parcelada em cobertura, nos estádios de três a quatro folhas (V3-V4) e iniciação da panícula (R0). A primeira cobertura com nitrogênio foi realizada em solo seco, imediatamente antes do início da irrigação por inundação do solo, e a segunda, sobre uma lâmina de água não circulante.

A estimativa dos estádios de desenvolvimento das cultivares de arroz foi realizada utilizando-se o método de graus-dia (Steinmetz *et al.*, 2013). A partir dessa informação foram planejadas e aplicadas as práticas de manejo da cultura.

O controle de plantas daninhas e demais tratos culturais seguiram as indicações técnicas da pesquisa para a cultura de arroz irrigado na região Sul (Reunião..., 2018).

Figura 1 – Precipitação pluviométrica e temperatura média do ar registradas durante o período experimental nas safras 2019/2020 (a), 2020/2021 (b) e 2021/2022 (c).



Ao longo do ciclo do arroz, foi realizado o levantamento diário das variáveis ambientais (precipitação e temperatura média do ar) (Figura 1) e a medição periódica da altura da lâmina de água presente nas parcelas experimentais. Os dados das variáveis climáticas das safras 2019/2020, 2020/2021 e 2021/2022 foram utilizados

como variáveis auxiliares para a interpretação dos resultados de emissões de gases de efeito estufa das cultivares de arroz irrigado.

5.1.3. Coleta de amostras e avaliação das emissões de GEE

Em cada parcela experimental foi instalado um sistema coletor de GEE, do tipo câmara estática fechada (Mosier, 1989). Trata-se de um sistema fechado, que impede a substituição do ar dentro da câmara durante o período de coleta e a concentração de gases é continuamente alterada (Denmead; Raupach, 1993).

A coleta de amostras de ar foi realizada a partir da semeadura do arroz, estendendo-se até uma semana após a colheita da cultura. A periodicidade de amostragem foi semanal até a implementação dos ciclos de intermitência da irrigação, a partir desse momento, essa passou a ser realizada duas vezes por semana, sempre no horário das 9 às 11 h da manhã, por ser o período que melhor representa as emissões diárias de GEE na região Sul do Brasil (Costa *et al.*, 2008). Na semana de realização das coberturas nitrogenadas para o arroz, a frequência de amostragem foi aumentada para a cada dois dias.

Os sistemas coletores são constituídos por câmaras de alumínio opaco com dimensões de 60 cm x 60 cm, que são dispostas sobre as bases (64 cm x 64 cm), formando um sistema hermeticamente fechado por meio da colocação de água em canaleta disposta na parte superior das bases onde as câmaras de coleta são apoiadas (Gomes *et al.*, 2009). Por ocasião do crescimento das plantas de arroz, foram utilizados um ou dois extensores (64 cm x 64 cm), de acordo com a estatura das plantas, os quais foram inseridos entre o topo e a base do sistema coletor. Os extensores utilizados também dispunham de canetas para permitir a vedação com água e manutenção do sistema de coleta hermeticamente fechado.

As amostras de ar do interior das câmaras foram tomadas manualmente com auxílio de seringas de polipropileno (20 mL), equipadas com válvulas do tipo *Luer Lock*, nos tempos 0; 5; 10; e 20 minutos após seu fechamento. O ar no interior das câmaras era homogeneizado durante 30 segundos antes de cada amostragem, por meio de três ventiladores dispostos na parte superior das câmaras, e a temperatura do ar no interior do coletor monitorada com auxílio de termômetro digital de haste com visor externo. Imediatamente após cada tempo de coleta, as seringas com amostras

de ar eram acondicionadas em caixas térmicas e mantidas em baixa temperatura, para subsequente transferência para frascos evacuados, que possuem tampa de borracha que impede a dispersão da amostra para o ambiente.

Posteriormente, as amostras de ar foram encaminhadas para o Laboratório de Biogeoquímica Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), em Porto Alegre, RS, para a determinação das concentrações de CH₄ e N₂O por cromatografia gasosa em cromatógrafo Shimadzu 2014 (modelo “Greenhouse”).

Para a determinação dos fluxos de N₂O e de CH₄, foi utilizado a seguinte equação, conforme Bayer *et al.* (2014):

$$f = \left(\frac{\Delta Q}{\Delta t} \right) \times \left(\frac{PV}{RT} \right) \times \left(\frac{M}{A} \right) \quad \text{Equação 1}$$

onde: F corresponde ao fluxo de N₂O e de CH₄ (μg m⁻² h⁻¹); Q é a quantidade do gás no interior da câmara no momento da coleta (μmol mol⁻¹); t é o tempo da amostragem (min); P é a pressão atmosférica no interior da câmara (atm), assumida como 1 atm; V é o volume da câmara (L); R é a constante dos gases ideais (0,08205 atm L mol⁻¹ K⁻¹); T é a temperatura dentro da câmara no momento da amostragem (K); M é a massa molar do gás (μg mol⁻¹) e A é a área da base da câmara (m²).

A emissão acumulada no período foi calculada pela integração da área sob a curva obtida pela interpolação dos valores diários de emissão de N₂O e de CH₄ do solo (Gomes *et al.*, 2009).

Com base nas concentrações medidas de CH₄ e N₂O nas amostras de ar, foi calculado o Potencial de Aquecimento Global parcial (PAG_p) de cada tratamento, que considera o PAG desses gases em relação ao CO₂, onde o CH₄ e o N₂O apresentam, respectivamente, 28 e 265 vezes o potencial de aquecimento do CO₂, como descrito na Equação 4.

$$\text{PAG}_p = (\text{CH}_4 \times 28) + (\text{N}_2\text{O} \times 265) \quad \text{Equação 2}$$

onde: CH₄ e N₂O correspondem às emissões de cada gás (kg ha⁻¹) e os valores de 28 e 265 são os valores do potencial de aquecimento global do CH₄ e N₂O,

respectivamente, para um tempo de permanência na atmosfera de 100 anos (IPCC, 2014).

A intensidade de emissão, que relaciona o PAG_p ao rendimento de grãos, também foi calculada (Equação 5), representando o PAG_p por unidade de grãos de arroz produzidos.

$$\text{PAG}_p/\text{RG} = \frac{\text{PAG}_p}{\text{RG}} \quad \text{Equação 3}$$

onde: PAG_p/RG é o potencial de aquecimento global parcial em escala de rendimento de grãos (kg CO₂ eq. kg⁻¹ de grãos), PAG_p é o potencial de aquecimento global parcial (kg ha⁻¹) e RG é o rendimento de grãos do arroz (Bayer *et al.*, 2014).

5.1.4. Desempenho produtivo

Anualmente, a colheita do arroz foi realizada de forma escalonada para as cultivares, quando o teor médio de umidade dos grãos atingiu 22%. As parcelas úteis para avaliação do rendimento de grãos foram constituídas pelas plantas presentes nas 5 linhas centrais com 4 m de comprimento de cada unidade experimental. O material colhido foi trilhado, seco e pesado para determinação da produtividade de grãos, sendo os dados corrigidos para 13% de umidade. Subamostras de grãos foram utilizadas para a avaliação do rendimento de engenho, determinando-se os percentuais de grãos inteiros e quebrados.

5.1.5. Análise estatística

Os dados de fluxos de CH₄ e N₂O foram determinados por estatística descritiva (média ± desvio padrão). As emissões sazonais de CH₄ e N₂O, o PAG_p e as variáveis de planta foram submetidos à análise de variância (ANOVA), comparando-se as médias pelo teste de Tukey com o nível de significância de 5% e pelo teste *t* também com o nível de significância de 5%.

6. Resultados

6.1. Desempenho produtivo das cultivares de arroz

O sistema de irrigação por inundação contínua, em comparação com o sistema de irrigação intermitente, promoveu maiores produtividades para todas as cultivares nas safras 2020/2021 e 2021/2022 (Tabela 3 Tabela 4). Na safra 2019/2020, a maior produtividade para esse sistema de irrigação (irrigação contínua), foi na cultivar híbrida XP 113, nas demais cultivares não houve diferença significativa (Tabela 2).

Este resultado revela uma certa sensibilidade das cultivares avaliadas ao estresse hídrico causado pelos ciclos de umedecimento e secagem estabelecidos pelo sistema de irrigação intermitente. No entanto, apesar desse efeito, é importante destacar o elevado potencial produtivo alcançado pela cultura em ambos os sistemas de irrigação. Esse desempenho pode ser atribuído à adequação dos demais fatores determinantes da produtividade, especialmente as condições climáticas extremamente favoráveis observadas na região de cultivo durante as safras agrícolas em questão.

Ao compararmos a produtividade entre as cultivares, no sistema de irrigação por inundação contínua, nota-se que, tanto na safra 2020/2021 (Tabela 3) quanto na safra 2021/2022 (Tabela 4), os híbridos foram os que obtiveram maior produtividade, com valores de 12.808,8 kg ha⁻¹ para o híbrido XP 117 (safra 2020/2021) e 14.126,7 e 14.131,2 kg ha⁻¹, respectivamente para o híbrido XP 113 e XP 117 (safra 2021/2022). O mesmo comportamento é identificado para o sistema de irrigação por inundação intermitente, na qual as maiores produtividades foram observadas nas cultivares híbridas. Entretanto, na safra 2020/2021, a 'BRS Pampeira' obteve resultados de produtividade semelhantes estatisticamente à 'XP 117' (Tabela 3). Já na safra 2021/2022, a maior produtividade foi para cultivar híbrida XP 113, alcançando 11.739 kg ha⁻¹, as cultivares BRS Pampa CL, XP 117 e BRS Pampeira, não diferiram estatisticamente entre si e, a 'BRS A705', foi a que obteve menor produtividade, com 7.796,7 kg ha⁻¹ (Tabela 4).

Na safra 2019/2020, as cultivares não apresentaram diferença significativa para o fator produtividade em ambos os sistemas de irrigação (Tabela 2).

O sistema de irrigação por inundação intermitente, quando comparado ao sistema de irrigação por inundação contínua, pode apresentar uma redução percentual na produtividade de arroz que varia conforme fatores como a variedade cultivada, o manejo agrônômico e as condições climáticas locais. Durante as três safras analisadas a redução não ultrapassou 30%.

Na safra 2019/2020, o percentual de redução de produtividade foi de 7,73% para a cultivar BRS Pampa CL, 8,18% para a BRS 358 e 14,7% para o híbrido 'XP 113' (Tabela 2). A safra 2020/2021, o híbrido 'XP 117' foi o que apresentou menor perda de produtividade, com 13,4% de redução e a cultivar BRS Pampa CL com 22,7% de redução (Tabela 3). A última safra, 2021/2022, a perda de produtividade variou de 6,8-27,0%, crescendo na seguinte ordem: BRS Pampeira<BRS Pampa CL<XP113<XP 117<BRS A705 (Tabela 4).

Tabela 2 - Produtividade em função do sistema de irrigação. Embrapa Clima Temperado. Capão do Leão, RS. Safra 2019/2020.

Cultivares	Sistema de irrigação		Percentual de redução
	Inundação Contínua	Inundação Intermitente	
	----- kg ha ⁻¹ -----		%
XP 113	12.008,7 aA	10.242,6 aB	14,7
BRS Pampa CL	11.362,2 aA	10.484,3 aA	7,73
BRS 358	10.100,6 aA	9.274,1 aA	8,18

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

Tabela 3 - Produtividade em função do sistema de irrigação. Embrapa Clima Temperado. Capão do Leão, RS. Safra 2020/2021.

Cultivares	Sistema de irrigação		Percentual de redução
	Inundação Contínua	Inundação Intermitente	
	----- kg ha ⁻¹ -----		%
BRS Pampa CL	11.094,2 bA	8.579,7 bB	22,7
BRS A705	10.721,5 bA	8.228,8 bB	23,2
XP 117	12.808,8 aA	11.099,2 aB	13,4
BRS Pampeira	12.801,2 aA	11.036,3 aB	13,8

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

Tabela 4 - Produtividade em função do sistema de irrigação. Embrapa Clima Temperado. Capão do Leão, RS. Safra 2021/2022.

Cultivares	Sistema de irrigação		Percentual de redução
	Inundação Contínua	Inundação Intermitente	
	----- kg ha ⁻¹ -----		%
XP 113	14.126,7 aA	11.739,0 aB	16,9
BRS A705	10.683,3 bA	7.796,7 cB	27,0
BRS Pampa CL	11.782,7 bA	10.347,8 bB	12,2
XP117	14.131,2 aA	10.690,8 bB	24,3
BRS Pampeira	11.314,8 bA	10.547,8 bB	6,8

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

6.2. Fluxos de CH₄ de cultivares de arroz sob irrigação por inundação contínua e intermitente

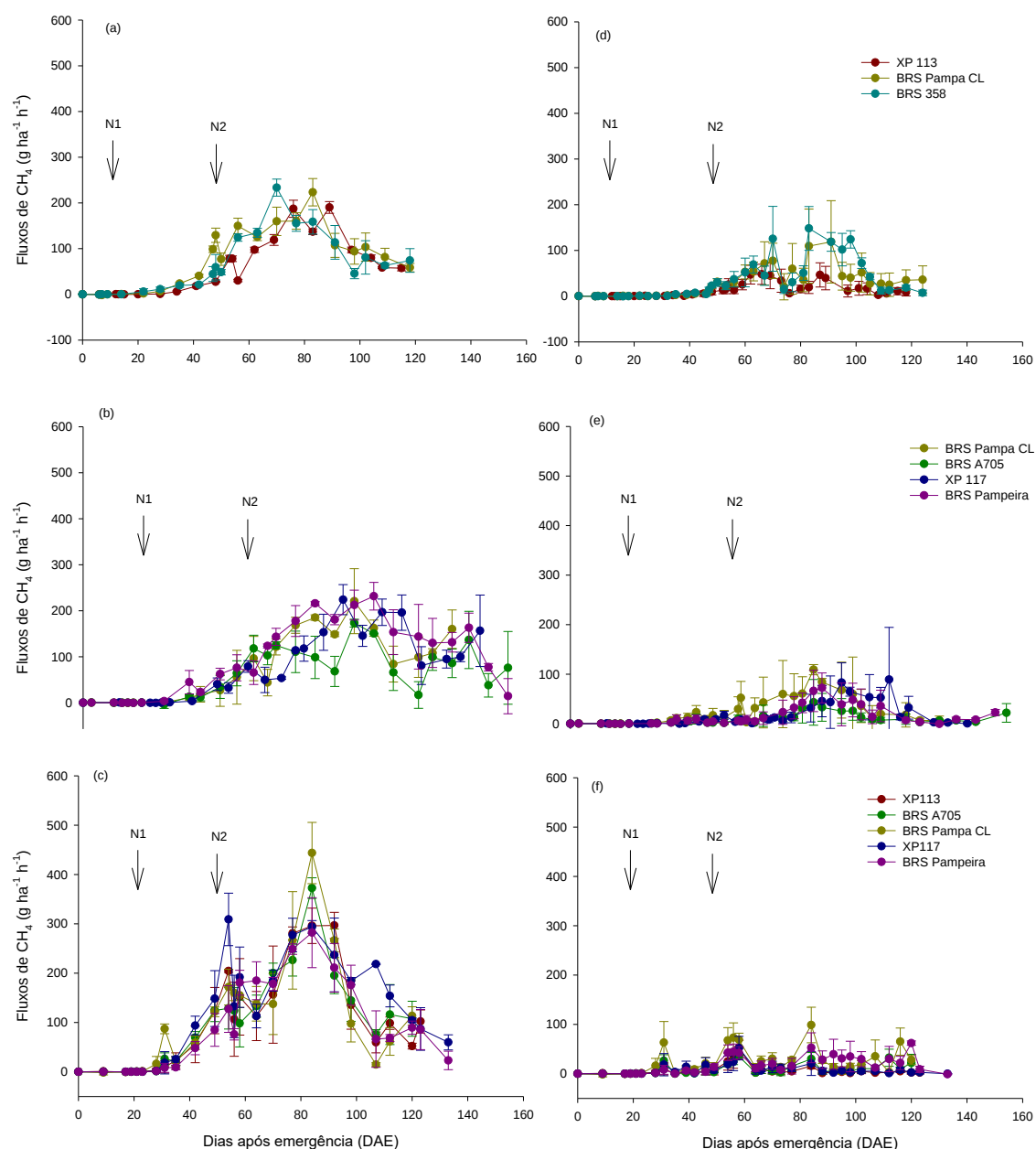
Em todas as safras analisadas (2019/2020, 2020/2021 e 2021/2022), as principais variações nos padrões temporais de emissão de CH₄ estiveram fortemente associadas ao sistema de irrigação adotado para o cultivo do arroz, seja ele de inundação contínua ou intermitente. De maneira geral, o comportamento das cultivares de arroz foi semelhante dentro de cada sistema de irrigação (Figura 2).

No período entre a emergência das plântulas e o início da irrigação, praticamente não houve detecção de emissão de CH₄, uma vez que o solo permanecia drenado e, portanto, em condição oxidada, o que não favorece a produção de metano. Esse padrão de baixa emissão persistiu por cerca de 20 dias após o início da irrigação nos tratamentos sob inundação contínua. A partir desse ponto, os fluxos de CH₄ começaram a aumentar gradualmente, com uma elevação lenta nos primeiros 25 dias, seguida de uma intensificação mais acentuada. Os fluxos máximos de CH₄ ocorreram entre 70 e 100 dias após a emergência (DAE), coincidindo com o final da fase de emborrachamento (R2) e o início da floração (R4).

Posteriormente, os fluxos de CH₄ começaram a declinar progressivamente até a drenagem da área para a colheita, mantendo-se em queda até a última avaliação, realizada uma semana após a colheita (Figura 2). De modo geral, as cultivares híbridas, XP 113 e XP 117, apresentaram picos máximos de emissão de CH₄ menores que as cultivares convencionais (BRS 358, BRS Pampa CL, BRS Pampeira e BRS A705).

Na safra 2019/2020, os maiores picos de emissão de CH_4 sob o sistema de irrigação por inundação contínua foram de $223,4 \text{ g CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ para a cultivar BRS Pampa CL, $233,5 \text{ g CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ para a BRS 358, e de $187,1 \text{ g CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ para o híbrido XP 113 (Figura 2a). Já na safra 2020/2021, esses picos foram de 220,70, 173,08, 224,18 e 231,65 $\text{g CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ para as cultivares BRS Pampa CL, BRS A705, XP 117 e BRS Pampeira, respectivamente (Figura 2b).

Figura 2 - Fluxos diários de CH_4 associados a cultivares de arroz sob irrigação por inundação contínua (a), (b) e (c) e intermitente (d), (e) e (f) nas safras agrícolas 2019/2020, 2020/2021 e 2021/2022, respectivamente. N1: primeira adubação nitrogenada; N2: segunda adubação nitrogenada.



Na última safra (2021/2022), as maiores emissões foram observadas nos híbridos XP 113 e XP 117, com valores de 296,76 e 293,68 g CH₄ ha⁻¹ h⁻¹, respectivamente. Para as cultivares convencionais BRS A705, BRS Pampa CL e BRS Pampeira, os picos máximos atingiram 372,45, 443,53 e 282,09 g CH₄ ha⁻¹ h⁻¹, respectivamente (Figura 2c).

Observa-se que os fluxos e a magnitude das emissões de CH₄ variaram entre as safras, o que pode ser atribuído a fatores ambientais, como temperatura e precipitação, além de outros fatores de manejos da cultura. Nas safras 2020/2021 e 2021/2022, houve uma precipitação mais elevada durante o período de cultivo do arroz e análise dos dados (Figura 1), resultando em uma maior lâmina de água nos tratamentos, o que pode ter influenciado o aumento das emissões de CH₄.

No sistema de irrigação por inundação intermitente, o padrão de emissão de CH₄ das cultivares de arroz diferiu significativamente daquele observado sob inundação contínua. Esse comportamento foi marcado por períodos de incremento e redução nos fluxos, resultantes da alternância nas condições de oxirredução do solo, causadas pelos ciclos de umedecimento e secagem (Figura 2).

Esse sistema de irrigação apresentou um efeito característico sobre a magnitude dos fluxos de emissão de CH₄, que se manteve consistentemente menor ao longo de todo o ciclo biológico do arroz em comparação à irrigação por inundação contínua. Esse resultado reflete a maior frequência e prevalência de condições de solo oxidado.

Na safra 2019/2020, os maiores picos de emissão de CH₄ sob o sistema de irrigação por inundação intermitente do solo foram de 118,8 g CH₄ ha⁻¹ h⁻¹ para a cultivar BRS Pampa CL, 148,2 g CH₄ ha⁻¹ h⁻¹ para a BRS 358, e de 47,8 g CH₄ ha⁻¹ h⁻¹ para o híbrido XP 113 (Figura 2d). Já na safra 2020/2021, esses picos de emissões foram de 109,16, 43,22, 89,18 e 66,17 g CH₄ ha⁻¹ h⁻¹ para as cultivares BRS Pampa CL, BRS A705, XP 117 e BRS Pampeira, respectivamente (Figura 2e).

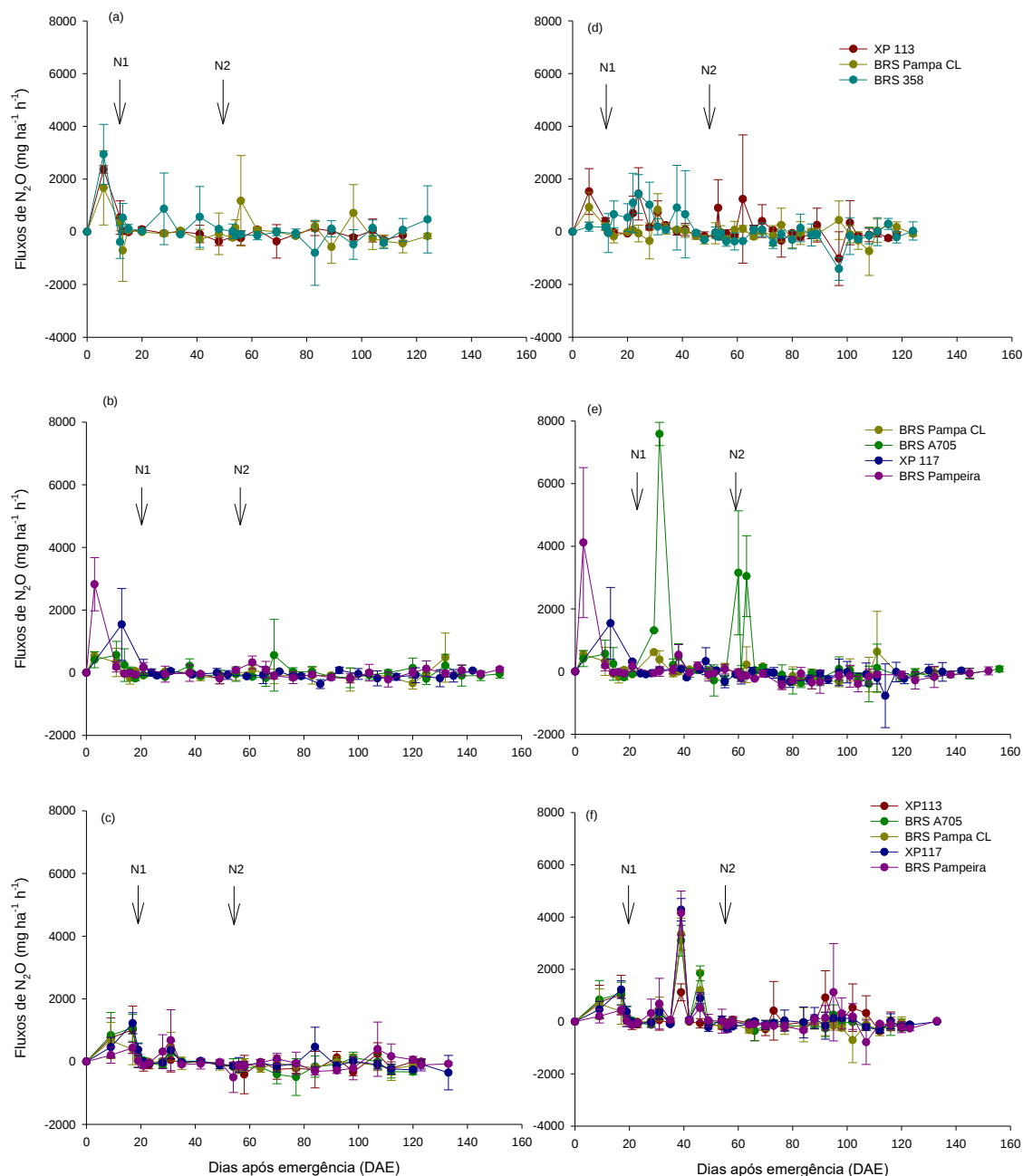
Na última safra (2021/2022), as maiores emissões foram observadas nos híbridos XP 113 e XP 117, com valores de 52,40 e 51,92 g CH₄ ha⁻¹ h⁻¹, respectivamente. Para as cultivares convencionais BRS A705, BRS Pampa CL e BRS Pampeira, os picos máximos atingiram 35,27, 98,75 e 62,00 g CH₄ ha⁻¹ h⁻¹, respectivamente (Figura 2f).

A partir de 80 dias após a emergência (DAE), observou-se um pequeno aumento nas emissões de CH_4 no sistema de irrigação intermitente. Esse incremento pode estar relacionado ao maior volume de precipitação registrado nesse período, que possivelmente contribuiu para o aumento das emissões desse gás.

6.2. Fluxos de N_2O de cultivares de arroz sob irrigação por inundação contínua e intermitente

Não se observou um padrão característico de fluxos de N_2O para ambos os sistemas de irrigação e em todas as três safras (Figuras 3). Independentemente do sistema de irrigação e da cultivar de arroz, determinaram-se fluxos de N_2O de baixa magnitude intercalados a influxos (fluxos negativos) de N_2O ao longo de todo o ciclo do arroz nas três safras acompanhadas. Poucos foram os momentos em que se verificaram picos de emissão de N_2O elevados. Mas, de forma geral, os picos de emissão elevados estiveram relacionados, preponderantemente, às variações nas condições de oxirredução do solo, proporcionadas por eventuais alterações na umidade do solo ao longo do período de cultivo do arroz, favorecendo a ocorrência dos processos de nitrificação e desnitrificação, que têm o N_2O como produto intermediário. Adicionalmente, o aporte de nitrogênio mineral ao solo, via adubação, também contribuiu para emissões medidas de N_2O do solo.

Figura 3 - Fluxos diários de N_2O associados a cultivares de arroz sob irrigação por inundação contínua (a), (b) e (c) e intermitente (d), (e) e (f) nas safras agrícolas 2019/2020, 2020/2021 e 2021/2022, respectivamente. N1: primeira adubação nitrogenada; N2: segunda adubação nitrogenada.



6.3. Emissões sazonais de CH_4 de cultivares de arroz sob irrigação por inundação contínua e intermitente

Em todas as três safras (2019/2020, 2020/2021 e 2021/2022), o sistema de irrigação por inundação intermitente promoveu menores emissões de CH_4 em relação à inundação contínua para todas as cultivares de arroz (Tabelas 5, 6 e 7).

Na safra 2019/2020, diferença nas emissões de CH₄ das cultivares de arroz foi determinada, apenas, sob irrigação por inundação contínua, no qual o híbrido XP 113, apresentou emissão total de CH₄ inferior a ambas as cultivares convencionais avaliadas, BRS Pampa CL e BRS 358 (Tabela 5). Este comportamento se repetiu na safra 2020/2021, quando diferenças nas emissões das cultivares de arroz também só ocorreram sob irrigação por inundação contínua. Neste, a cultivar BRS Pampeira foi a que apresentou maior valor de emissão de CH₄, 363,3 kg ha⁻¹, que as cultivares BRS Pampa CL, BRS A705 e XP 117, cujas emissões não diferiram entre si (Tabela 6).

Por sua vez, na safra 2021/2022, as diferenças nas emissões de CH₄ das cultivares de arroz irrigado restringiram-se ao sistema irrigado por inundação intermitente, para o qual destacou-se, também, o desempenho dos híbrido XP 113 e XP 117 e da cultivar convencional BRS A705, que apresentou menor emissão sazonal de CH₄; as emissões destas duas últimas cultivares equiparou-se, também, à daquela medida para a ‘BRS Pampeira’, que apresentou emissão de CH₄ intermediária, semelhante à da cultivar BRS Pampa CL, com maior emissão total de CH₄.

Tabela 5 - Emissões sazonais de CH₄ de cultivares de arroz sob irrigação por inundação contínua e intermitente na safra agrícola 2019/2020. Embrapa Clima Temperado. Capão do Leão, RS.

Cultivares	Sistema de irrigação	
	Inundação Contínua	Inundação Intermitente
	----- kg ha ⁻¹ -----	
XP 113	164,8 bA	36,8 aB
BRS Pampa CL	231,4 aA	86,7 aB
BRS 358	208,4 abA	105,1 aB

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

Tabela 6 - Emissões sazonais de CH₄ de cultivares de arroz sob irrigação por inundação contínua e intermitente na safra agrícola 2020/2021. Embrapa Clima Temperado. Capão do Leão, RS.

Cultivares	Sistema de irrigação	
	Inundação Contínua	Inundação Intermitente
	----- kg ha ⁻¹ -----	
BRS Pampa CL	258,60 bA	77,77 aB
BRS A705	236,07 bA	33,57 aB
XP 117	275,89 bA	60,17 aB
BRS Pampeira	363,29 aA	54,34 aB

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

Tabela 7 - Emissões sazonais de CH₄ associadas ao cultivo de arroz sob irrigação por inundação contínua e intermitente. Embrapa Clima Temperado. Capão do Leão, RS. Safra 2021/2022.

Cultivares	Sistema de irrigação	
	Inundação Contínua	Inundação Intermitente
	----- kg ha ⁻¹ -----	
XP 113	319,68 aA	18,43 cB
BRS A705	316,40 aA	26,72 bcB
BRS Pampa CL	327,14 aA	70,31 aB
XP117	405,65 aA	24,93 bcB
BRS Pampeira	317,73 aA	54,17 abB

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

6.4. Emissões sazonais de N₂O de cultivares de arroz sob irrigação por inundação contínua e intermitente

Com relação às emissões sazonais de N₂O, destaca-se o fato dessas terem sido extremamente baixas, indistintamente para todos os tratamentos avaliados, incluindo ambos os sistemas de irrigação e cultivares de arroz. Para alguns dos tratamentos, os resultados indicaram, inclusive, absorção desse gás de efeito estufa.

Na safra 2019/2020, não foi verificado diferença significativa entre os sistemas de irrigação (inundação contínua e intermitente), nem entre as cultivares de arroz (XP 113, BRS Pampa CL e BRS 358) quanto às emissões sazonais de N₂O (Tabela 8).

Tabela 8 - Emissões sazonais de N₂O de cultivares de arroz sob irrigação por inundação contínua e intermitente. Embrapa Clima Temperado. Capão do Leão, RS. Safra 2019/2020.

Cultivares	Sistema de irrigação	
	Inundação Contínua	Inundação Intermitente
	----- kg ha ⁻¹ -----	
XP 113	-0,009 ^{ns}	0,263 ^{ns}
BRS Pampa CL	0,027	0,140
BRS 358	0,244	0,624

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula nas linhas e minúscula nas colunas, não diferem significativamente entre si, pelo teste *t* e pelo teste de Tukey (*P*<0,05). O símbolo ns indica que não houve diferença significativa.

Na safra 2020/2021, apesar das baixas emissões totais de N₂O, determinou-se efeito da interação entre os fatores sistema de irrigação e cultivar de arroz. A variação entre os sistemas de irrigação limitou-se à cultivar BRS A705, onde maior emissão de N₂O ocorreu sob inundação intermitente relativamente à inundação contínua. Ainda

no sistema intermitente, a ‘BRS A705’ apresentou maior emissão total de N₂O, que as demais cultivares de arroz, que não diferiram entre si (Tabela 9). Quanto aos resultados, destaca-se, ainda, que no sistema de irrigação por inundação contínua, as cultivares BRS Pampa CL e XP 117 apresentaram pequena absorção de N₂O. Sob irrigação por inundação intermitente, absorção de N₂O foi determinada, apenas, para a cultivar híbrida XP 117 (Tabela 9).

Tabela 9 - Emissões sazonais de N₂O de cultivares de arroz sob irrigação por inundação contínua e intermitente. Embrapa Clima Temperado. Capão do Leão, RS. Safra 2020/2021.

Cultivares	Sistema de irrigação	
	Inundação Contínua	Inundação Intermitente
	----- kg ha ⁻¹ -----	
BRS Pampa CL	-0,101 aA	0,070 bA
BRS A705	0,042 aB	0,986 aA
XP 117	-0,063 aA	-0,093 bA
BRS Pampeira	0,338 aA	0,087 bA

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

Assim como nas demais safras, as emissões de N₂O determinadas na safra 2021/2022 foram bastante baixas, indistintamente para todos os tratamentos, incluindo sistemas de irrigação e cultivares de arroz. Exclusivamente para o sistema irrigado por inundação contínua, foi determinada, inclusive, pequena absorção de N₂O para as cultivares BRS Pampeira, XP 113, BRS A705 e BRS Pampa CL, correspondentes, respectivamente, a -0,003; 0,041; 0,092 e 0,075 kg ha⁻¹ de N₂O (Tabela 10)

Para três das cinco cultivares de arroz sob avaliação, BRS A705, BRS Pampeira e XP 117, maiores emissões de N₂O foram determinadas sob irrigação por inundação intermitente, relativamente à inundação contínua. Para ambos os sistemas de irrigação, não se determinou diferença entre as cultivares de arroz quanto às emissões sazonais de N₂O (Tabela 10).

Tabela 10 - Emissões sazonais de N₂O de cultivares de arroz sob irrigação por inundação contínua e intermitente. Embrapa Clima Temperado. Capão do Leão, RS. Safra 2021/2022.

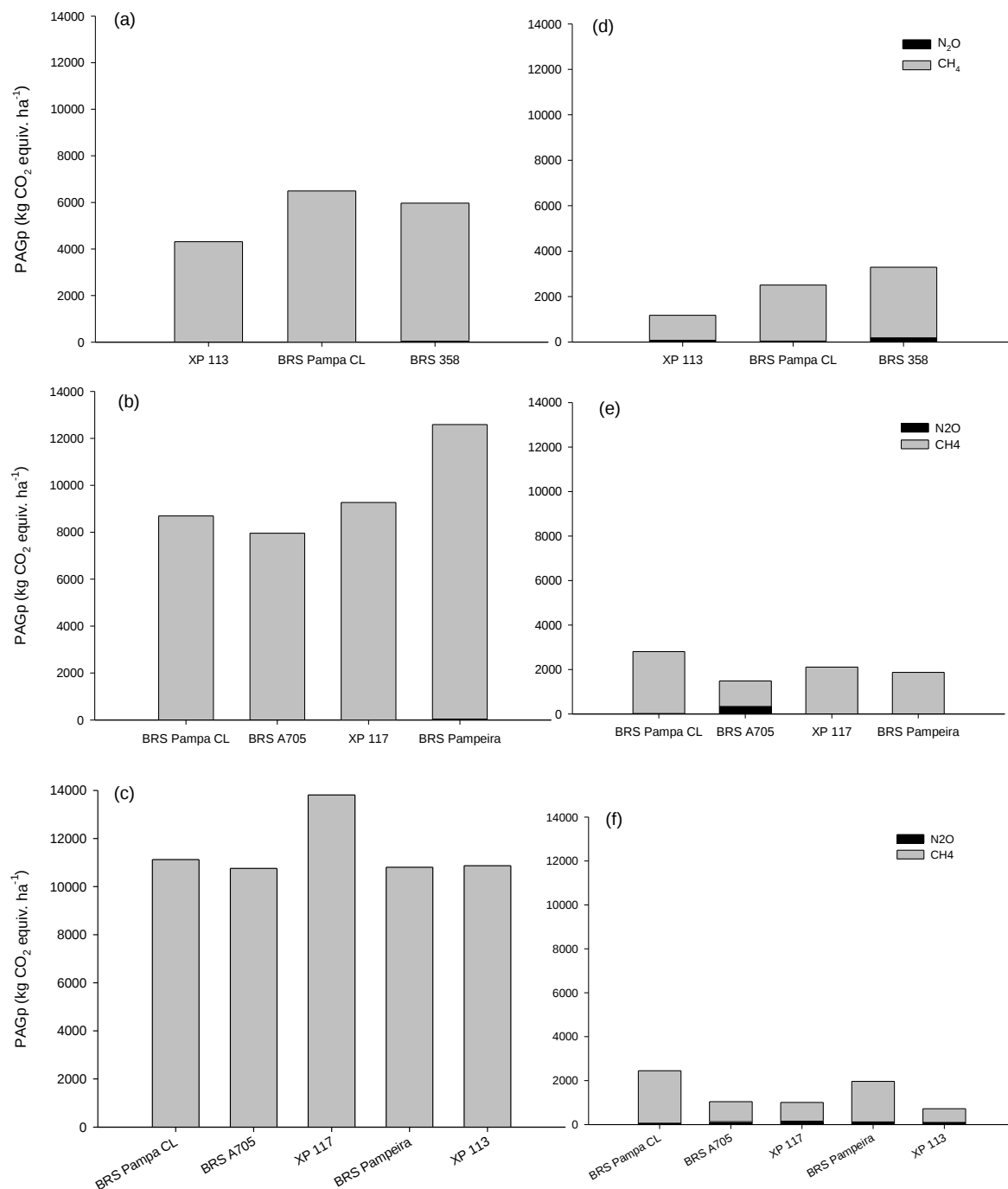
Cultivares	Sistema de irrigação	
	Inundação Contínua	Inundação Intermitente
	----- kg ha ⁻¹ -----	
XP 113	-0,041 aA	0,323 aA
BRS A705	-0,092 aB	0,442 aA
BRS Pampa CL	-0,075 aA	0,206 aA
XP117	0,068 aB	0,529 aA
BRS Pampeira	-0,003 aB	0,411 aA

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

6.5. Potencial de aquecimento global parcial (PAG_p) do arroz sob irrigação por inundação contínua e intermitente

Independentemente do sistema de irrigação e da cultivar, o CH₄ contribuiu com praticamente a totalidade do PAG_p da cultura do arroz nas três safras avaliadas (Figuras 6). Em alguns tratamentos específicos, a pequena absorção de N₂O contribuiu, inclusive, para ligeira redução no PAG_p do arroz. Considerando-se a média das cultivares, a contribuição do CH₄ para o PAG_p do arroz foi de 99,6 e 95,9%, na safra agrícola 2019/2020; 94,2 e 99,9%, na safra agrícola 2020/2021, e 100 e 89,9%, na safra agrícola 2021/2022, para os sistemas irrigado por inundação contínua e intermitente, respectivamente.

Figura 4 - Potencial de aquecimento global parcial (PAGp) de cultivares de arroz sob irrigação por inundação contínua (a), (b) e (c) e intermitente (d), (e) e (f) nas safras agrícolas 2019/2020, 2020/2021 e 2021/2022, respectivamente.



O comportamento observado acompanhou as variações nas emissões sazonais de CH₄ medidas (Tabelas 2, 3 e 4), ou seja, sob irrigação por inundação contínua, o PAGp médio das cultivares de arroz, que correspondeu, respectivamente,

a 5.900,5; 9.653,8 e 11.454,4 kg CO₂ eq. ha⁻¹, nas safras 2019/2020; 2020/2021 e 2021/2022, foi superior ao proporcionado pelo sistema de irrigação por inundação intermitente, com PAG_p médio de 2.225,0; 1.997,9 e 1437,0 kg CO₂ eq. ha⁻¹ nessas mesmas safras. Portanto, a intermitência na irrigação proporcionou redução média de 62,3; 79,3 e 87,4% no PAG_p da cultura do arroz em relação à inundação contínua (Tabelas 11, 12 e 13), demonstrando a efetividade da intermitência da irrigação na mitigação do PAG_p do arroz irrigado.

Na safra 2019/2020, especificamente para o sistema irrigado por inundação contínua, a cultivar híbrida XP 113 apresentou PAG_p inferior ao da 'BRS Pampa CL'; a cultivar japônica BRS 358 apresentou desempenho intermediário, equiparando-se às duas anteriores (Tabela 11). Por sua vez no sistema irrigado por inundação intermitente, as cultivares não diferiram entre si quanto ao PAG_p (Tabela 11). Este último efeito repetiu-se na safra 2020/2021, quando novamente não houve diferença entre as quatro cultivares avaliadas quanto ao PAG_p sob regime intermitente de irrigação (Tabela 12). Já sob inundação contínua, a cultivar de ciclo médio BRS Pampeira apresentou PAG_p (12.452,4 kg CO₂ eq. ha⁻¹) superior ao das demais cultivares (BRS A705, BRS Pampa CL e o híbrido XP 117), cujo PAG_p foi semelhante, variando de 8.038,8 a 9.361,7 kg CO₂ eq. ha⁻¹ (Tabela 12).

Na safra 2021/2022, contrariamente às duas safras anteriores, diferença no PAG_p entre as cultivares de arroz foi determinada, apenas, para o sistema irrigado por inundação intermitente, no qual a cultivares BRS Pampa CL proporcionou PAG_p mais elevado, superando aquele determinado para ambas as cultivares híbridas testadas XP 113 e XP 117 e pela 'BRS A705'; a cultivar BRS Pampeira apresentou PAG_p intermediário, equiparando-se a ambos os grupos anteriores (Tabela 13).

Considerando o sistema de irrigação por inundação contínua, os maiores PAG_p para a safra 2019/2020, 2020/2021 e 2021/2022 foi de 6.485,3; 12.452,4 e 13.812,1 kg CO₂ eq. ha⁻¹, respectivamente para as cultivares BRS Pampa CL, BRS Pampeira e XP 117 (Tabelas 11, 12 e 13). Para o sistema de irrigação por inundação intermitente, as maiores magnitudes de PAG_p foram para as cultivares BRS 358, na safra 2019/2020 e BRS Pampa CL, para as safras 2020/2021 e 2021/2022, atingindo valores de 3.109,2. 2.664,8 e 2.452 kg CO₂ eq. ha⁻¹.

Outro fator observado foi o aumento dos valores de PAG_p de uma safra para outra no sistema de irrigação por inundação contínua. No entanto, esse crescimento

não foi tão evidente no sistema de irrigação com ciclos de umedecimento e secagem do solo.

Tabela 11 – Potencial de aquecimento global parcial (PAG_p) de cultivares de arroz sob irrigação por inundação contínua e intermitente. Embrapa Clima Temperado. Capão do Leão, RS. Safra 2019/2020.

Cultivares	Sistema de irrigação	
	Inundação Contínua	Inundação Intermitente
	----- kg CO ₂ eq. ha ⁻¹ -----	
XP 113	4.613,2 bA	1.100,7 aB
BRS Pampa CL	6.485,3 aA	2.465,1 aB
BRS 358	5.900,0 abA	3.109,2 aB

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

Tabela 12 - Potencial de aquecimento global parcial (PAG_p) de cultivares de arroz sob irrigação por inundação contínua e intermitente. Embrapa Clima Temperado. Capão do Leão, RS. Safra 2020/2021.

Cultivares	Sistema de irrigação	
	Inundação Contínua	Inundação Intermitente
	----- kg CO ₂ eq. ha ⁻¹ -----	
BRS Pampa CL	8.762,4 bA	2.664,8 aB
BRS A705	8.038,8 bA	1.435,2 aB
XP 117	9.361,7 bA	2.018,2 aB
BRS Pampeira	12.452,4 aA	1.873,5 aB

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

Tabela 13 - Potencial de aquecimento global parcial (PAG_p) de cultivares de arroz sob irrigação por inundação contínua e intermitente. Embrapa Clima Temperado. Capão do Leão, RS. Safra 2021/2022.

Cultivares	Sistema de irrigação	
	Inundação Contínua	Inundação Intermitente
	----- kg CO ₂ eq. ha ⁻¹ -----	
XP 113	10.827,1 aA	723,1 bB
BRS A705	10.730,1 aA	1.040,3 bB
BRS Pampa CL	11.100,4 aA	2.452,0 aB
XP117	13.812,1 aA	1.005,2 bB
BRS Pampeira	10.801,8 aA	1.964,4 abB

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

6.6. Potencial de aquecimento global parcial em escala de rendimento de grãos (PAG_p/RG)

Com relação ao índice estabelecido entre o potencial de aquecimento global parcial e o rendimento de grãos (PAG_p/RG), verifica-se que, para as safras 2019/2020 e 2021/2022 indistintamente entre cultivares de arroz, o sistema de irrigação por inundação intermitente apresentou desempenho superior quanto à mitigação do PAG_p do arroz, relativamente à inundação contínua, demonstrando que as perdas de produtividade (Tabelas 14, 15 e 16), proporcionadas pelo estresse hídrico decorrente relativo dos ciclos de umedecimento e secagem do solo, foram compensadas pela redução em emissões, resultando em saldo positivo quanto à redução do PAG_p/RG. Na safra 2020/2021, não se determinou diferença no índice PAG_p/RG entre os sistemas de irrigação. Apesar da igualdade estatística, é evidente a tendência de redução no índice PAG_p/RG nesta safra (Tabelas 15).

Diferenças entre as cultivares de arroz ocorreram indistintamente em todas as safras e nos dois sistemas de irrigação. Assim, na safra 2019/2020, o híbrido XP 113 destacou-se positivamente, proporcionando menor índice PAG_p/RG que as cultivares BRS Pampa CL e BRS 358 em ambos os sistemas de irrigação. Estas cultivares convencionais apresentaram índice semelhante sob irrigação contínua, mas sob inundação intermitente a BRS Pampa CL apresentou desempenho intermediário entre as demais (Tabela 14). Já na segunda safra agrícola, no sistema irrigado por inundação contínua, as três cultivares de ciclo precoce (híbrido XP 117 e as cultivares convencionais BRS A705 e BRS Pampa CL) foram superiores à 'BRS Pampeira', de ciclo médio, que apresentou maior índice PAG_p em escala de rendimento de grãos. Comportamento distinto foi observado no sistema irrigado por inundação intermitente, onde a 'BRS Pampa CL' apresentou maior índice PAG_p/RG que as demais, que não diferiram entre si (Tabela 15).

Na safra 2021/2022, a comparação das cultivares de arroz mostra que, sob irrigação por inundação contínua, o híbrido XP 113 destacou-se pelo maior potencial de mitigação do índice PAG_p/RG, apresentando desempenho superior ao das cultivares BRS Pampa CL, BRS Pampeira e XP 117 (Tabela 16). Por outro lado, no sistema irrigado por inundação intermitente, o desempenho das cinco cultivares avaliadas foi distinto, decrescendo na seguinte ordem: BRS Pampa CL > BRS

Pampeira < BRS A705 > XP 117 > XP 113, indicando que as cultivares híbridas foram mais efetivas na redução do PAGp/RG, relativamente às convencionais.

Tabela 14 - Potencial de aquecimento global parcial em escala de rendimento de grãos (PAGp/RG) de cultivares de arroz sob irrigação por inundação contínua e intermitente. Embrapa Clima Temperado. Capão do Leão, RS. Safra 2019/2020.

Cultivares	Sistema de irrigação	
	Inundação Contínua	Inundação Intermitente
	----- kg CO ₂ eq. kg ⁻¹ grãos -----	
XP 113	0,47 bA	0,13 cB
BRS Pampa CL	0,69 aA	0,27 bB
BRS 358	0,71 abA	0,41 aB

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

Tabela 15 - Potencial de aquecimento global parcial em escala de rendimento de grãos (PAGp/RG) de cultivares de arroz sob irrigação por inundação contínua e intermitente. Embrapa Clima Temperado. Capão do Leão, RS. Safra 2020/2021.

Cultivares	Sistema de irrigação	
	Inundação Contínua	Inundação Intermitente
	----- kg CO ₂ eq. kg ⁻¹ grãos -----	
BRS Pampa CL	0,79 bA	0,31 aA
BRS A705	0,75 bA	0,17 bA
XP 117	0,73 bA	0,18 bA
BRS Pampeira	0,98 aA	0,17 bA

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

Tabela 16 - Potencial de aquecimento global parcial em escala de rendimento de grãos (PAGp/RG) de cultivares de arroz sob irrigação por inundação contínua e intermitente. Embrapa Clima Temperado. Capão do Leão, RS. Safra 2021/2022.

Cultivares	Sistema de irrigação	
	Inundação Contínua	Inundação Intermitente
	----- kg CO ₂ eq. kg ⁻¹ grãos -----	
XP 113	0,77 bA	0,06 eB
BRS A705	1,01 aA	0,13 cB
BRS Pampa CL	0,95 aA	0,24 aB
XP117	0,98 aA	0,09 dB
BRS Pampeira	0,96 aA	0,19 bB

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

8. Discussão

O manejo da água é um dos principais fatores determinantes do potencial de emissão de GEE em arrozais, particularmente as de CH_4 (Win *et al.*, 2020) e N_2O (Song *et al.*, 2021). A irrigação por inundação intermitente proporciona ganho importante na mitigação das emissões de CH_4 (Islam, *et al.*, 2022), aumentando o período de solo oxidado e, portanto, de processos aeróbicos no solo, reduzindo a produção de metano (Islam, *et al.*, 2022; Yang *et al.*, 2012).

Nos resultados observados, o sistema de irrigação por inundação contínua resultou em maiores emissões de gases de efeito estufa (GEE), especialmente metano (CH_4). Isso ocorre porque, nesse sistema, a lâmina de água é mantida durante todo ou grande parte do ciclo de cultivo do arroz, criando condições anaeróbicas no solo que favorecem a produção de CH_4 (Buendia *et al.*, 1997). Em contrapartida, os ciclos de umedecimento e secagem proporcionados pela irrigação intermitente retardam o desenvolvimento das condições de oxirredução necessárias para a produção de CH_4 , o que minimiza o potencial de emissão desse gás. Isso se deve ao fato de que a redução de material orgânico (carbono lábil) a CH_4 só ocorre após a redução de outros aceptores de elétrons, como NO_3^- , Fe^{3+} , Mn^{4+} e SO_4^{2-} , que são convertidos, respectivamente, a NH_4^+ , Fe^{2+} , Mn^{2+} e S^{2-} (Yu *et al.*, 2007). Somente após essa sequência de redução é que os compostos orgânicos (Leon *et al.*, 2021) são utilizados pelos microrganismos metanogênicos, gerando CH_4 como produto final da degradação em condições anaeróbicas (Silva *et al.*, 2011). Isso também explica os baixos fluxos de CH_4 logo após a inundação do solo.

Em um estudo realizado em Cachoeirinha, RS, Zschornack (2011) observou uma redução de 41% nas emissões de CH_4 no cultivo de arroz com a adoção da irrigação por inundação intermitente, caracterizada pela drenagem do solo na fase vegetativa (V6 a V8), em comparação com a irrigação por inundação contínua. De forma semelhante, a pesquisa de Wesz (2012) na região de Pelotas, RS, encontrou potencial de mitigação ainda maior, correspondente a 77% das emissões de CH_4 ao substituir a inundação contínua pela intermitente. No entanto, estudo realizado por Buss (2012) na mesma região apresentou resultados menores, indicando uma diminuição de apenas 22% nas emissões sazonais de CH_4 com o uso da irrigação intermitente. Buss (2012) atribuiu essa diferença em relação ao estudo de Wesz

(2012) a variações no manejo da água, como o número de ciclos de intermitência da irrigação, além das diferenças nas condições climáticas entre as safras. Por fim, Moterle *et al.* (2013), em estudo realizado na região de Santa Maria, RS, concluíram que tanto a irrigação por inundação intermitente quanto a irrigação por banhos são alternativas eficientes para reduzir as emissões de CH₄ de lavouras de arroz. Segundo esses autores, a magnitude desse efeito varia de acordo com o clima vigente durante o período de cultivo, que influencia o estabelecimento dos períodos de solo drenado.

A redução de produtividade observada entre os sistemas de irrigação por inundação contínua e inundação intermitente ocorre devido à menor disponibilidade de água para a planta em momentos críticos do desenvolvimento, como a fase de enchimento de grãos. No entanto, essa diminuição pode ser compensada por benefícios ambientais, como a redução de emissões de metano e o uso mais eficiente dos recursos hídricos, reforçando a importância de considerar a sustentabilidade no manejo dos cultivos agrícolas (Nunes, 2019).

Considerando-se os fluxos diários de GEE, os maiores picos de emissão de CH₄ normalmente ocorreram por ocasião da floração do arroz. Nessa fase ocorre elevada liberação de exsudatos radiculares e o potencial de oxirredução do solo é baixo, condições que favorecem a atividade dos metanogênicos responsáveis pela produção de CH₄ na rizosfera das plantas de arroz, aumentando a emissão desse GEE (Moterle, 2011). Ao final do ciclo da cultura, as emissões de CH₄ tendem a ser menores possivelmente devido à redução da atividade fotossintética das plantas de arroz (Wassmann *et al.*, 2000; Pittelkow *et al.*, 2013).

Estudos como os de Singh; Singh; Kashyap (1998), que avaliaram o padrão temporal de emissão de CH₄ do cultivo de arroz, mostram que os fluxos de CH₄ são elevados durante a floração, devido à alta taxa de exsudação de compostos orgânicos pelas raízes nessa fase do ciclo da cultura. Da mesma forma Aulakh *et al.* (2000), ao estudarem a capacidade de transporte de CH₄ de plantas de arroz, verificaram que o pico máximo de emissão desse GEE ocorre durante a fase reprodutiva, estando associado tanto à liberação de quantidades elevadas de exsudatos radiculares, quanto à maior capacidade de transporte de CH₄ pelas plantas de arroz, dado à presença de aerênquima completamente desenvolvido (Le Mer; Roger, 2001). De outra forma, ao compararem o potencial de emissão de CH₄ de cultivares de arroz irrigado, Islam *et al.* (2018a) verificaram dois momentos ao longo do ciclo da cultura,

perfilhamento pleno e floração, nos quais ocorrem fluxos elevados de CH₄, superiores àqueles medidos no início da fase vegetativa e por ocasião da fase de maturação de grãos.

Zhang *et al.* (2012) avaliaram a produção, oxidação e emissão de CH₄ em cultivos de arroz sob diferentes sistemas de irrigação e verificaram que o potencial de produção de CH₄ aumenta mais lentamente, apresentando pico menor sob irrigação por inundação intermitente, comparativamente à inundação contínua, corroborando com os resultados do presente estudo. Também Oo *et al.* (2018) estudaram as emissões de GEE em cultivo de arroz irrigado por inundação contínua, comparando-o à inundação intermitente, determinando menor emissão de CH₄ sob inundação intermitente. Segundo esses autores, a irrigação intermitente dificulta a ocorrência de condições de redução do solo adequadas à produção de CH₄, devido a aeração do solo, de forma que o Eh do solo demora mais para atingir valores suficientemente baixos para desencadear a atividade dos metanogênicos, reduzindo, conseqüentemente, a emissão de CH₄. Ademais, as plantas de arroz apresentam menor desenvolvimento do aerênquima (Kludze; Delaune; Patrick, 1993), reduzindo o transporte e emissão do CH₄ produzido no solo (Islam *et al.*, 2018b).

As emissões de N₂O associadas ao cultivo de arroz foram esporádicas e em momentos específicos. Os maiores picos de emissão foram observados após a aplicação das adubações nitrogenadas em cobertura sob irrigação por inundação intermitente. Esse sistema promove alternância nas condições de oxirredução do solo e, portanto, nos processos de nitrificação e desnitrificação, tendo como fonte de nitrogênio o nutriente nativo do solo e aportado ao sistema via adubação na semeadura. O aumento da umidade do solo cria sítios de anaerobiose favoráveis à desnitrificação, principal processo relacionado à emissão de N₂O do solo (Bateman; Baggs, 2005; Xu-Ri *et al.*, 2012). Poucas foram as situações em que se verificaram outros picos de emissão elevados de N₂O, os quais não foram uniformes e simultâneos para as cultivares de arroz.

De acordo com Guo e Zhou (2007), as condições de umidade do solo e práticas de manejo da adubação são os principais fatores determinantes das emissões de N₂O em solos cultivados com arroz irrigado. Isso porque a água contém O₂ dissolvido, favorecendo a nitrificação, com a conseqüente produção de N₂O (Majumdar, 2005). Adicionalmente, a presença de formas minerais de N liberadas pelos fertilizantes

minerais, associada à redução do solo devido ao alagamento, condiciona a produção de N_2O , como produto da desnitrificação (Dublely; Mailapalli, 2018).

Em síntese, a estabilidade na manutenção de lâmina de água sob o sistema de irrigação por inundação contínua proporciona fluxos muito baixos e, mesmo, influxos (absorção) de N_2O do solo, devido à prevalência de condições estritamente anaeróbias, que limitam sua produção e emissão (Towproyoon *et al.*, 2005; Johnson-Beebout *et al.*, 2009; Kögel-Knabner *et al.*, 2010; Wesz, 2012).

Considerando as diferentes cultivares utilizadas no presente estudo, observa-se que cada uma apresenta distintas capacidades de emissão de gases de efeito estufa (GEE). De modo geral, as cultivares híbridas demonstraram menor potencial de emissão de CH_4 , possivelmente por possuírem maior biomassa radicular e um número superior de perfilhos em comparação às cultivares convencionais. Essas características podem facilitar o transporte de oxigênio para a rizosfera, promovendo o crescimento de populações de bactérias metanotróficas e, conseqüentemente, a oxidação do metano (CH_4), reduzindo assim sua emissão (Bhattacharyya *et al.*, 2019). Esse efeito concorda com resultados de Liao *et al.* (2019), que observaram uma população de metanotróficos 93,4% maior na rizosfera de cultivares híbridas de arroz em relação às convencionais, resultando em uma redução de 18,6% nas emissões de CH_4 .

As plantas de arroz controlam as emissões de CH_4 por meio de dois mecanismos principais, cujo equilíbrio é determinante para as diferenças nas emissões entre variedades, ressaltando o potencial de mitigação ao selecionarem-se cultivares específicas. O primeiro mecanismo envolve o fornecimento de substratos para metanogênicos por meio da rizodeposição, que contribui com 40-60% do carbono orgânico utilizado como substrato para a produção de CH_4 , a partir do estágio de emborrachamento. A qualidade dos exsudatos radiculares também exerce influência significativa: raízes e exsudatos ricos em carboidratos, por exemplo, podem aumentar a expressão de genes relacionados à produção de CH_4 na comunidade microbiana do solo. O segundo mecanismo é a capacidade das plantas de arroz de estimular a oxidação de CH_4 , facilitada pela difusão de O_2 atmosférico através do aerênquima para a rizosfera. Nessas condições, as taxas de oxidação de CH_4 podem atingir até 94%, frequentemente aumentando com o incremento na liberação radial de O_2 pelas raízes (Haoyu *et al.*, 2023).

Assim, variedades de arroz com alta rizodeposição podem aumentar a produção de CH₄, enquanto grandes sistemas radiculares podem promover a oxidação de CH₄. No entanto, o aerênquima também atua como um canal de CH₄ da rizosfera para a atmosfera (Haoyu *et al*, 2023).

A seleção de cultivares de arroz com alto índice de colheita ou elevada biomassa vegetal pode contribuir para a mitigação das emissões de metano (CH₄) em sistemas de cultivo irrigado. Cultivares com alto índice de colheita direcionam uma maior proporção de fotossintatos para os grãos, reduzindo a quantidade de carbono disponível na rizosfera que serve como substrato para microrganismos metanogênicos. Essa redução na disponibilidade de substratos limita a produção de CH₄, resultando em menores emissões. Além disso, a seleção de cultivares com características específicas, como menor número de aerênquimas e menor produção de fitomassa, pode influenciar positivamente na redução das emissões de metano, mantendo o potencial de rendimento da cultura (Agostinetto *et al*, 2022).

A cultivar de arroz pode desempenhar um papel importante na regulação das emissões de CH₄ da lavoura arrozeira. Segundo Oo *et al.* (2018), existe grande variabilidade nas emissões de GEE entre cultivares de arroz. Os resultados obtidos por esses autores corroboram aqueles encontrados por Oo *et al.* (2016); Kumar; Vijol (2009) e Koga; Tajima (2011), que também identificaram variações substanciais nas taxas de emissão de CH₄ entre diferentes cultivares de arroz. Oo *et al.* (2015); Cai *et al.* (2000) e Yang *et al.* (2010) apontaram que o fluxo de CH₄ é maior em variedades de arroz de maturação tardia em comparação com as de maturação precoce. No presente estudo, as cultivares XP 117 e BRS Pampeira, de forma geral, foram as que apresentaram maior emissão de CH₄, concordando com o comportamento descrito, dado que apresentam ciclo médio. Com base nessa constatação, o uso de cultivares de arroz de ciclo precoce e elevado potencial produtivo constitui-se em estratégia eficaz para reduzir as emissões de CH₄ da lavoura de arroz.

Com os resultados obtidos neste trabalho e com ajuda de demais pesquisas, é possível perceber que o manejo da água e a seleção de cultivares de arroz desempenham papéis fundamentais na redução das emissões de gases de efeito estufa, particularmente o metano. Estratégias como a irrigação intermitente, que alterna períodos de inundação e drenagem, têm reduzido significativamente as emissões de CH₄ ao limitar as condições anaeróbicas no solo, essenciais para a

atividade metanogênica. Simultaneamente, a escolha de cultivares pode otimizar a alocação de carbono para os grãos, minimizando o aporte de substratos para microrganismos metanogênicos. No entanto, para garantir a sustentabilidade da produção de arroz frente às mudanças climáticas e às demandas alimentares globais, estudos futuros devem explorar a interação entre práticas de manejo hídrico, características genéticas das cultivares e condições edafoclimáticas. Pesquisas que integrem ferramentas de modelagem, experimentação em larga escala e análises de ciclo de vida podem fornecer dados mais robustos para o desenvolvimento de sistemas de cultivo de baixo carbono e alta produtividade.

Os efeitos positivos do sistema de irrigação intermitente quando comparado com a irrigação contínua são variáveis, dependendo das condições edafoclimáticas, como tipo de solo, topografia e precipitação, e das condições de manejo. Dessa forma, torna-se necessário estudar manejo de irrigação para o arroz em diferentes regiões, pois a irrigação intermitente pode ser uma alternativa de manejo para reduzir o uso de água, mas não deve comprometer a produtividade de grãos.

9. Conclusões

As cultivares de arroz proporcionam maior emissão sazonal de CH₄ e potencial de aquecimento global sob irrigação por inundação contínua, comparativamente à inundação intermitente.

As emissões sazonais de N₂O das cultivares de arroz são semelhantes sob irrigação por inundação contínua e intermitente.

As cultivares de arroz diferem quanto ao potencial de emissão de GEE e potencial de aquecimento global em ambos os sistemas de irrigação (inundação contínua e intermitente). De forma geral, as cultivares que associam ciclo biológico precoce, elevado potencial produtivo e desenvolvidas para as condições de cultivo do Sul do Brasil apresentam maior potencial mitigador de emissões de GEE do potencial de aquecimento global da lavoura de arroz.

A cultivar híbrida XP 113 destaca-se em relação às demais, pela menor intensidade de emissão.

O sistema de irrigação por inundação intermitente mostra-se alternativa promissora para reduzir as emissões de gases de efeito estufa, particularmente CH₄, da lavoura de arroz nas condições de cultivo do Rio Grande do Sul. Contudo, a adoção

dessa técnica requer um manejo criterioso, considerando a interação entre o sistema de irrigação e a adubação nitrogenada, evitando incrementos substanciais nas emissões de N_2O e estresses por déficit hídrico, e garantindo a sustentabilidade da produção. A integração de práticas agrícolas sustentáveis com foco na gestão hídrica, na fertilização e na escolha de cultivares de arroz adaptados pode contribuir para minimizar impactos ambientais negativos da lavoura de arroz.

10. Referências

- AGOSTINETTO, D.; FLECK, N. G.; RIZZARDI, M. A.; BALBINOT JR, A. A. Potencial de emissão de metano em lavouras de arroz irrigado. **Ciência Rural**, v. 32, n. 6, p. 1073–1081, 2002.
- AHLSCHWEDE, C. M. **Microbial ecology, nitrogen, and nitrous oxide trends in marginal soils used for cellulosic biofuel production in Eastern Nebraska**. 2013, 121 f. Dissertação (Mestrado) - University of Nebraska, Lincoln.
- AHMED, Zeeshan *et al.* Greenhouse gas emissions and mitigation strategies in rice production systems. In: **Global Agricultural Production: Resilience to Climate Change**. Cham: Springer International Publishing, 2023. p. 237-265.
- 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, n. 2, p. 442-448, 2015.
- AULAKH, M. S.; WASSMANN, R.; BUENO, C.; RENNENBERG, H. Impact of root exudates of different cultivars and plant development stages of rice (*Oryza sativa* L.) on methane production in a paddy soil. **Plant and Soil**, v. 230, p. 77-86, 2001.
- AULAKH, M. S.; WASSMANN, R.; RENNENBERG, H. Methane emissions from rice fields - quantification, mechanisms, role of management, and mitigation options. **Advances in Agronomy**, v. 70, p. 193–260, 2001.
- BARDE, A. P. M.; AHLONSOU, E.; DING, Y.; SCHIMEL, D. **Climate Change 2001: The Scientific Basis**. Cambridge University Press: Cambridge, 2001.
- BATEMAN, E. J.; BAGGS, E. M. Contributions of nitrification and denitrification to N₂O emissions from soils at different water-filled pore space. **Biology and Fertility of Soils**, v. 41, p. 379–388, 2005.
- BELDER, P.; BOUMAN, B. A. M.; CABANGON, R.; GUOAN, L.; QUILANG, E. J. P.; YUANHUA, L.; SPIERTZ, J. H.; TUONG, T. P. Effect of water-saving irrigation on rice yield and water use in typical lowland conditions in Asia. **Agricultural Water Management**, v. 65, n. 3, p. 193-210, 2004.
- BAYER, C.; MARCOLIN, E.; CAMARGO, E. S.; COSTA, F. D. S.; PEDROSO, G. M.; GOMES, J.; DE LIMA, M. A.; FRIGHETO, R. T. S.; ZSCHORMACK, T.; 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. A. M.; TUONG, T. P. Field water management to save water and increase its productivity in irrigated lowland rice. **Agricultural Water Management**, v. 49, n. 1, p. 11-30, 2001.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L.; MIERZWA, J. C.; BARROS, M. T. L. de; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. **Introdução à engenharia ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável**. Pearson Prentice Hall, 2005.

CAI ZC, TSURUTA H, MINAMI K. Methane emission from rice fields in China: measurements and influencing factors. **J. Geophys. Res.** 2000; 105 (D13): 17231–17242.

CARLSON, K. M.; GERBER, J.S.; MUELLER, N. D.; HERRERO, M.; MACDONALD, G. K.; BRAUMAN, K. A.; HAVLIK, P.; O'CONNELL, C. S.; JOHNSON, J. A.; SAATCHI, S.; WEST, P. C. Greenhouse gas emissions intensity of global croplands. **Nature Climate Change**, v. 7, n. 1, p. 63–68, 2017.

CARRIJO, D. R.; LUNDY, M. E.; LINQUIST, B. A. Rice yields and water use under alternate wetting and drying irrigation: A meta-analysis. **Field Crops Research**, v. 203, p. 173–180, 2017.

CARVALHO, J. L. N.; AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N.; DE MELLO, C. R.; CERRI, C. E. P. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 34, n. 2, p. 277–289, 2010.

COLTRO, L.; MARTON, L. F. M.; PILECCO, F. P.; PILECCO, A. C.; MATTEI, L. F. Environmental profile of rice production in Southern Brazil: A comparison between irrigated and subsurface drip irrigated cropping systems. **Journal of Cleaner Production**, v. 153, p. 491–505, 2017.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos. Safra 2021/2022. 12º levantamento**, v. 9, n. 12, 2022.

CONRAD, Ralf. Control of microbial methane production in wetland rice fields. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 64, n. 1, p. 59-69, 2002.

CORRÊA, N. I.; CAICEDO, N. L.; FEDDES, R.; LOUZADA, J. A. S.; BELTRAME, L. F. Consumo de água na irrigação do arroz por inundação. **Lavoura Arrozeira**, v. 50, n. 432, p. 3-8, 1997.

COSTA, F. D. S.; BAYER, C.; DE LIMA, M. A.; FRIGHETTO, R. T. S.; MACEDO, V. R. M.; MARCOLIN, E. Variação diária da emissão de metano em solo cultivado com arroz irrigado no Sul do Brasil. **Ciencia Rural**, v. 38, n. 7, p. 2049–2053, 2008.

COUNCE, P. A.; KEISLING, T. C.; MITCHELL, A. J. A uniform, objective, and adaptive system for expressing rice development. **Crop Science**, v. 40, n. 2, p. 436-443, 2000.

DENMEAD, O. T.; RAUPACH, M. R. Methods for Measuring Atmospheric Gas Transport in Agricultural and Forest Systems. In: HARPER, L.A. *et al.* (ed). **Agricultural ecosystem effects on trace gases and global climate change**. Madison: ASA, CSSA e SSSA (ASA Spec. Publ. 55), p.19-43, 1993.

DUBEY, S. K. Microbial ecology of methane emission in rice agroecosystem: A review. **Applied Ecology and Environmental Research**, v. 3, n. 2, p. 1–27, 2005.

DUBLEY, A.; MAILAPALLI, D. R. Development of control release urea fertilizer model for water and nitrogen movement in flooded rice. **Paddy and Water Environment**, v. 16, p. 1-13, 2018.

FENG, J.; DENG, A.; CHEN, C.; ZHENG, C.; ZHANG, W.; ZHANG, Y.; SONG, Z. Impacts of cropping practices on yield-scaled greenhouse gas emissions from rice fields in China: A meta-analysis. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 164, p. 220–228, 2013.

FURLANI, A. M. C.; FURLANI, P. R. **Composição e pH de soluções nutritivas para estudos fisiológicos e seleção de plantas em condições nutricionais adversas**. Campinas, Instituto Agronômico, 1988. 34 p. (Boletim técnico, 121).

GE, H. X.; ZHANG, H. S.; ZHANG, H. CAI, X. H.; SONG, Y.; KANG, L. The characteristics of methane flux from an irrigated rice farm in East China measured using the eddy covariance method. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 249, p. 228–238, 2018.

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, n. 1, p. 36–44, 2009.

GROHS, M.; BAYER, C.; DA SILVA, L. S.; GIACOMINI, S. J. **A lavoura arrozeira, bem conduzida, contribui para reduzir a emissão de gases de efeito estufa**. Porto Alegre: Instituto Rio Grandense de Arroz. 2020. (Circular Técnica, 3).

GUO, J.; ZHOU, C. Greenhouse gas emissions and mitigation measure in Chinese agroecosystems. **Agriculture and Forest Meteorology**, v. 142, p. 270-277, 2007.

HUANG, J.; XU, J.; LIU, X.; LIU, J.; WANG, L. Spatial distribution pattern analysis of groundwater nitrate nitrogen pollution in Shandong intensive farming regions of China using neural network method. **Mathematical and Computer Modelling**, v. 54, n. 3-4, p. 995-1004, 2011.

HUSSAIN, S.; PENG, S.; FAHAD, S.; KHALIG, A.; HUANG, J.; CUI, K.; NIE, L. Rice management interventions to mitigate greenhouse gas emissions: a review. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, n. 5, p. 3342–3360, 2015.

IPCC. **Climate Change 2007: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007, 996 p.

IPCC. **Climate Change 2013: The Physical Science Basis**. Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report (AR5). Final Draft Underlying Scientific-Technical Assessment. Cambridge University Press, Cambridge, 2013, 2216 p.

IPCC. **Mitigation of Climate Change**, Working Group III Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. (eds) Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2014, 1435 p.

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. U.; VAN 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.

ISLAM, S. M.; GAIHRE, Y. K.; ISLAM, M. R.; AHMED, M. N.; AKTER, M.; SINGH, U.; SANDER, B. O. Mitigating greenhouse gas emissions from irrigated rice cultivation through improved fertilizer and water management. **Journal of Environmental Management**, v. 307, p. 114520, 2022.

JIAO, J.; SHI, K.; LI, P.; SUN, Z.; CHANG, D.; SHEN, X.; WU, D.; SONG, X.; LIU, M.; HU, F.; HU, F.; XU, L. Assessing of an irrigation and fertilization practice for improving rice production in the Taihu Lake region (China). **Agricultural Water Management**, v. 201, p. 91-98, 2018.

JOHNSON-BEEBOUT, S. E. J.; ANGELES, O.; ALBERTO, M. C. R.; BURESH, R. J. Simultaneous minimization of nitrous oxide and methane emission from rice paddy soils is improbable due to redox potential changes with depth in a greenhouse experiment without plants. **Geoderma**, v. 149, n. 1–2, p. 45–53, 2009.

KETTUNEN, R. **N₂O, CH₄ and CO₂ fluxes from agricultural organic and mineral soils grown with *Phleumpratense* and mixed *Trifoliumpratense*/P. pretense under elevated CO₂ concentration**. 2007. 32 f. Dissertação (Mestre em Biologia) - University of Joensuu, Joensuu, 2007.

KHAPRE, A.; JAISWAL, A.; RENA; KUMAR, S. Utilizing the Greenhouse Effect as a Source to Produce Renewable Energy. **Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials**, p. 1–9, 2019.

KLUDZE, H. K., DELAUNE, R. D., & PATRICK, W. H. Aerenchyma formation and methane and oxygen exchange in rice. **Soil Science Society of America Journal**, v. 57, n. 2, p. 386-391, 1993.

KOGA N.; TAJIMA R. Assessing energy efficiencies and greenhouse gas emissions under bioethanol-oriented paddy rice production in northern Japan. **Journal of Environmental Management**, 2011; 92(3): 967–973.

KÖGEL-KNABNER, I.; AMELUNG, W.; CAO, H.; FIEDLER, S.; FRENZEL, P.; JAHN, R.; KALBITZ, K.; KOLBL, A.; SCHOLTER, M. Geoderma Biogeochemistry of paddy soils. **Geoderma**, v. 157, n. 1–2, p. 1–14, 2010.

KUMAR JIN; VIYOL S. Short term diurnal and temporal measurement of methane emission in relation to organic carbon, phosphate and sulphate content of two rice fields of central Gujarat, India. **Journal of Environmental Biology**, 2009; 30(2): 241–246.

LAAKSO, T. A.; SCHRAG, D. P. Methane in the Precambrian atmosphere. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 522, p. 48–54, 2019.

LADHA, J.K., TRIOL, A.C., MA, L.G., DARBEY, G., CALDO, W., VENTURA, J., WATANABE, J. Plant associated Nitrogen fixation by five rice varieties and relationship with plant growth characteristics as affected by straw incorporation. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 32, p. 91-106, 1986.

LAHUE, G. T.; CHANEY, R. L.; BORBEC, M. A. A.; LINQUISTA, B. A. Alternate wetting and drying in high yielding direct-seeded rice systems accomplishes multiple environmental and agronomic objectives. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 229, p. 30–39, 2016.

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

LEON, A.; MINAMIKAWA, K.; IZUMI, T.; CHIEM, N. H. Estimating impacts of alternate wetting and drying on greenhouse gas emissions from early wet rice production in a full-dike system in An Giang Province, Vietnam, through life cycle assessment. **Journal of Cleaner Production**, v. 285, p. 125309, 2021.

LI, J.; WAN, Y.; WANG, B.; WAQAS, M. A.; CAI, W.; GUO, C.; ZHOU, S.; SU, R.; QIN, X.; GAO, Q.; WILKES, A. Combination of modified nitrogen fertilizers and water saving irrigation can reduce greenhouse gas emissions and increase rice yield. **Geoderma**, v. 315, p. 1-10, 2018.

LIMA, M. A. FRIGHETO, R. T. S.; PESSOA, M. A. P. Y.; LIGO, M. A. V. **Emissão de metano em sistemas de produção de arroz irrigado**: quantificação e análise. Ministério da Ciência e Tecnologia e EMBRAPA, Relatório técnico, 2008.

LIMA, M.A.; PESOA, M.C.P.Y.; VILELLA, O.V. **Emissão de metano em cultivo de arroz irrigado por inundação**. In: SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.93-140, 2013.

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.

LU, Y.; WASSMAN, R.; NEUE, H. U.; HUANG, C.; BUENO, C. S. Response of methanogenesis in anaerobic rice soils to exogenous substrates. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 32, p. 1683–1690, 2000.

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.

MAJUMDAR, D. Past, present and future of nitrous oxide emission from rice fields: a treatise. Cap. 3. In: LIVINGSTON, J. V (eds). **Trends in Air Pollution Research**. Nova Science Publishers, Inc, cap. 3, p. 53-130, 2005.

MATSON, P.; LOHSE, K. A.; HALL, S. J. The Globalization of Nitrogen Deposition: Consequences for Terrestrial Ecosystems. **Ambio**, v. 31, n. 2, p. 113-119, 2002.

MITRA, S.; JAIN, M. C.; KUMAR, S.; BANDYOPADYAY, S. K.; KALRA, N. Effect of rice cultivars on methane emission. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 73, n. 3, p. 177–183, 1999.

MOSCÔSO, J. S. C. **Efluxo de metano relacionado com ácidos orgânicos no solo e carbono de exsudados radiculares no cultivo do arroz irrigado**. 2018. 126f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

MOSIER, A. R. Chamber and isotope techniques. In: ANDREAE, M.O. & SCHIMEL, D.S., ed. **Exchange of trace gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere: report of the Dahlem Workshop**. Berlin, Wiley, p. 175-187, 1989.

MOTERLE, D. F. **Efluxo de metano em solo sob manejos de irrigação e cultivares de arroz irrigado**. 2011. 146f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

NELSON, A.; WASSMANN, R.; SANDER, B. O.; PALAO, L. K. Climate-Determined Suitability of the Water Saving Technology “alternate Wetting and Drying” in Rice Systems: A Scalable Methodology demonstrated for a Province in the Philippines. **Plos One**, v. 10, n. 12, p. 1–19, 2015.

NORTON, G.J., SHAFAEI, M., TRAVIS, A.J., DEACON, C.M., DANKU, J., POND, D., COCHRANE, N., LOCKHART, K., SALT, D., ZHANG, H., DODD, I., HOSSAIN, M., ISLAM, M., PRICE, A. Impact of alternate wetting and drying on rice physiology, grain production, and grain quality. **Field Crops Research**, v. 205, p. 1–13, 2017.

NUNES, João Ângelo Silva. **Emissão de gases de efeito estufa, características produtivas e morfológicas de cultivares de arroz sob manejos de irrigação**. 2019. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria.

O'MARA, F. P. The role of grasslands in food security and climate change. **Annals of Botany**, v. 110, n. 6, p. 1263–1270, 2012.

OO, A. Z.; SUDO, S.; INUBUSHI, K.; CHELLAPPAN, U.; YAMAMOTO, A.; ONO, K.; MANO, M.; HAYASHIDA, S.; KOOTHAN, V.; OSAWA, T.; TERAQ, Y.; PALANISAMY, J.; PALANISAMY, E.; VENKATACHALAM, R. Mitigation potential and yield-scaled global warming potential of early-season drainage from a rice paddy in Tamil Nadu, India. **Agronomy**, v. 8, n. 10, 2018.

OO, Aung Zaw; WIN, Khin Thuzar; BELLINGRATH-KIMURA, Sonoko Dorothea. Within field spatial variation in methane emissions from lowland rice in Myanmar. **SpringerPlus**, v. 4, p. 1-11, 2015.

Oo AZ, Win KT, Motobayashi T and Bellingrath-Kimura SD. Effect of cattle manure amendment and rice cultivars on methane emission from paddy rice soil under continuously flooded conditions. *J. Environmental Biology*, 2016; 37(5): 1029–1036.

QIAN, Haoyu *et al.* Greenhouse gas emissions and mitigation in rice agriculture. **Nature Reviews Earth & Environment**, v. 4, n. 10, p. 716-732, 2023.

PAUL, E. A.; CLARK, F. E. **Soil Microbiology and Biochemistry**. 2 ed. San Diego: Academic Press, 1996, 340 p.

PITTELKOW, C. M.; ADVIENTO-BORBE, M. A.; HILL, J. E.; SIX, J.; van KEASSEL, C.; LINQUIST, B. Yield-scaled global warming potential of annual nitrous oxide and methane emissions from continuously flooded rice in response to nitrogen input. **Agriculture Ecosystems and Environment**, v. 177, p. 10-20, 2013.

PIVA, J. T. **Fluxos de gases de efeito estufa e estoque de carbono do solo em sistemas integrados de produção no sub trópico brasileiro**. 2012. Tese (Doutorado em Agronomia) – Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal do Paraná.

PONNAMPERUMA, F. N. The chemistry of submerged soils. **Advances in Agronomy**, v. 24, p. 29–96, 1972.

REDDY, K. R.; DELAUNE, R. D. **Biogeochemistry of wetlands: science and applications**. CRC press, 2008.

REDDY, P. P. Causes of Climate Change. In: **Climate resilient agriculture for ensuring food security**. India: Springer, p. 17-26, 2015.

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.

ROBERTSON, G. P.; GROFFMAN, P. M. Nitrogen transformations. In: PAUL, E. A. **Soil microbiology, ecology and biochemistry**. 4. ed. Academic Press, Burlington, Massachusetts, USA, p. 421-446, 2015.

SAMPAIO, C. A. P.; NÄÄS, I. A.; SALGADO, D. D. Amônia, gás sulfídrico, metano e monóxido de carbono na produção de suínos. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 5, p. 156–164, 2006.

SEEG – **Sistema de estimativas de emissões de gases de efeito estufa**. 2022. Disponível em: < <http://seeg.eco.br/>>. Acesso em: 25 de julho de 2022.

SEINFELD, J. H.; PANDIS, S. N. **Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change**, 2ed, John Wiley & Sons, 2006, 1232 p.

SHAKOOR, A., ASHRAF, F., SHAKOOR, S., MUSTAFA, A., REHMAN, A., & ALTAF, M. M. iogeochemical transformation of greenhouse gas emissions from terrestrial to atmospheric environment and potential feedback to climate forcing. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 27, p. 38513-38536, 2020.

SIGNOR, D.; CERRI, C. E.P. Nitrous oxide emissions in agricultural soils: a review. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, n. 3, p. 322-338, 2013.

SILVA, L. S.; GRIEBELER, G.; MORTELE, D. F.; BAYER, C.; ZSCHORNACK, T. POCOJESKI, E. Dinâmica da emissão de metano em solos sob cultivo de arroz irrigado no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 35. p. 473-481. 2011.

SILVA, L. S.; SOUSA, R. O.; POCOJESKI, E. Dinâmica da matéria orgânica em ambientes alagados. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F.A.O. (Org.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008, v. 1, p. 525-543.

SIMMONDS, M. B.; ANDERS, M.; ADVIENTO-BORBE, M. A.; KESSEL, C. V.; MCCLUNG, A.; LINQUIST, B. A. Seasonal Methane and Nitrous Oxide Emissions of Several Rice Cultivars in Direct-Seeded Systems. **Journal of Environment Quality**, v. 44, n. 1, p. 103, 2015.

SINGH, S.; SINGH, J. S.; KASHYAP, A. K. Contrasting pattern of methane flux in rice agriculture. **Naturwissenschaften**, v. 85, p. 494–497, 1998.

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

SNYDER, C. S.; BRUULSEMA, T. W.; JENSEN, T. L.; FIXEN, P. E. Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 133, p. 247–266, 2009.

SONG, K.; ZHANG, G.; YU, H.; HUANG, Q.; ZHU, X.; WANG, T.; XU, H.; LV, S.; MA, J. Evaluation of methane and nitrous oxide emissions in a three-year case study on single rice and ratoon rice paddy fields. **Journal of Cleaner Production**, v. 297, p. 126650, 2021.

SOUSA NETO, E. R. **Perdas de nitrogênio pela emissão de óxido nitroso (N₂O) e sua relação com a decomposição da serapilheira e biomassa de raízes na floresta de Mata Atlântica**. 2008. 80 f. Dissertação (Mestrado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura. Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SOUSA, R. O.; VAHL, L. C.; OTERO, X. L. Química de Solos Alagados. In: MELLO, V.F.; ALLEONI, L.R.F. **Química e Mineralogia do Solo**. Parte II – Aplicações. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 485–528, 2009.

STEINMETZ, S.; PETRINI, J. A.; ALMEIDA, I. R. de; MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. de; FAGUNDES, P. R. R.; DEIBLER, A. N.; RADIN, B.; PRESTES, S. D.; SILVA, M. F. da; BERMUDEZ, D. A. **Uso do método de graus-dia para estimar a data de ocorrência dos principais estádios de desenvolvimento de subgrupos de cultivares de arroz irrigado no Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2013. Partes 1 e 2 (Embrapa Clima Temperado. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 205).

STONE, L. F. **Eficiência do uso da água na cultura do arroz irrigado**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2005.

STRECK, E.V. *et al.* **Solos do Rio Grande do Sul**. 3 ed. revista e ampliada. Porto Alegre: EMATER/RS-ASCAR. p. 251. 2018.

TANG, J.; WANG, J.; LI, Z.; WANG, S.; QU, Y. Effects of irrigation regime and nitrogen fertilizer management on CH₄, N₂O and CO₂ emissions from saline–alkaline paddy fields in Northeast China. **Sustainability (Switzerland)**, v. 10, n. 2, 2018.

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.

TYAGI, L.; KUMARI, B.; SINGH, S. N. Water management - A tool for methane mitigation from irrigated paddy fields. **Science of the Total Environment**, v. 408, n. 5, p. 1085–1090, 2010.

USDA – UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **This Report Contains Assessments of Commodity and Trade Issues Made by Usda Staff and Not Necessarily Statements of Official US Government Policy**. 2018. Disponível em: <<http://www.usdabrazil.org.br/pt-br/reports/grain-and-feed-annual-2018.pdf>>. Acesso em: 6 jun. 2020.

VAHL, L. C.; SOUSA, R. O. Aspectos físico-químicos de solos alagados. In: GOMES, A. S.; MAGALHÃES Jr., A. M. **Arroz Irrigado no Sul do Brasil**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. Cap.4, p. 97-118.

WASSMANN, R.; NEUE, H. U.; BUENO, C.; LANTIN, R. S.; ALBERTO, M. C. R.; BUENDIA, L. V.; BRONSON, K.; PAPEN, H.; RENNENBERG, H. Methane production capacities of different rice soils derived from inherent and exogenous substrates. **Plant and Soil**, v. 203, p. 227–237, 1998.

WASSMANN R., NEUE H.U., LANTIN R.S., MAKARIM K., CHAREONSILP N., BUENDIA L.V., RENNENBERG H. Characterization of methane emissions from rice fields in Asia II. Differences among irrigated, rainfed and deepwater ecosystems. **Nutrient Cycling Agroecosystems**, v. 58 p. 13–22, 2000.

WATANABE, H.; NGUYEN, M. H. T.; SOUPHASAY, K.; VU, S. H.; PHONG, T. K.; TOURNEBIZE, J.; ISHIHARA, S. Effect of water management practice on pesticide behavior in paddy water. **Agricultural Water Management**, v. 88, n. 1-3, p. 132-140, 2007.

WESZ, J. **Mitigação das emissões de metano e óxido nitroso no cultivo de arroz irrigado em Planossolo sob diferentes manejos da água**. 2012. 61 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Solos. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

WIN, E. P.; WIN, K. K.; BELLINGRATH-KIMURA, S. D.; & OO, A. Z. Greenhouse gas emissions, grain yield and water productivity: a paddy rice field case study based in Myanmar. **Greenhouse Gases: Science and Technology**, v. 10, n. 5, p. 884-897, 2020.

WORLD METEOROLOGICAL ASSOCIATION - WMO. **The Global Climate 2001-2010**. A decade of climate extremes. n. 1103, 112p., 2013.

XIONG, Z. Q.; XING, G. X.; ZHU, Z. L.. Nitrous oxide and methane emissions as affected by water, soil and nitrogen. **Pedosphere**, v. 17, n. 2, p. 146–155, 2007.

XU-RI, I.; PRENTICE, C.; SPAHNI, R.; NIU, H. S. Modelling terrestrial nitrous oxide emissions and implications for climate feedback. **New Phytologist**, v. 196, p. 472-488, 2012.

XU, G. W., Lu, D. K., Wang, H. Z., & Li, Y. Morphological and physiological traits of rice roots and their relationships to yield and nitrogen utilization as influenced by irrigation regime and nitrogen rate. **Agricultural Water Management**, v. 203, p. 385-394, 2018.

YANG X, SHANG Q, WU P, LIU J, SHEN Q, GUO S, *et al*. Methane emissions from double rice agriculture under long-term fertilizing systems in Hunan, China. **Agric. Ecosyst. Environ.** 2010; 137: 308–316.

YANG, Jian-chang; ZHANG, Hao; ZHANG, Jian-hua. Root morphology and physiology in relation to the yield formation of rice. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 11, n. 6, p. 920-926, 2012.

YUAN, Y. E.; DAI, X.; WANG, H. Fertilization effects on CH₄, N₂O and CO₂ fluxes from a subtropical double rice cropping system. **Plant, Soil and Environment**, v. 65, n. 4, p. 189–197, 2019.

ZANATTA, J. A. **Emissão de óxido nitroso afetada por sistemas de manejo do solo e fontes de nitrogênio**. 2009. 79f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

ZHANG, G.; JI, Y.; MA, J.; XU, H.; CAI, Z.; YAGI, K. Intermittent irrigation changes production, oxidation, and emission of CH₄ in paddy fields determined with stable carbon isotope technique. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 52, p. 108–116, 2012.

ZHANG, G.; LIU, G.; ZHANG, Y.; MA, J.; XU, H.; YAGI, K. Methanogenic Pathway and Fraction of CH₄ Oxidized in Paddy Fields: Seasonal Variation and Effect of Water Management in Winter Fallow Season. **PLoS ONE**, v. 8, n. 9, 2013.

ZHANG, X.; YIN, S.; LI, Y.; ZHUANG, H.; LI, C.; LIU, C. Comparison of greenhouse gas emissions from rice paddy fields under different nitrogen fertilization loads in Chongming Island, Eastern China. **Science of the Total Environment**, v. 472, p. 381–388, 2014.

ZHANG, G.; ZHANG, X.; MA, J.; XU, H.; CAI, Z. Effect of drainage in the fallow season on reduction of CH₄ production and emission from permanently flooded rice fields. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 89, n. 1, p. 81–91, 2011.

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

ANEXOS

Anexo 1 - Quadro da ANOVA da variável emissão sazonal de N₂O do cultivo de arroz para os fatores sistema de irrigação e cultivar. Safra 2019/2020.

Efeito	GL	SQ	QM	F calculado
Irrigação	1	0.29339654	0.29339654	0.2104
Cultivar	2	0.43792574	0.21896287	0.3059
Irrigação x Cultivar	2	0.05417597	0.02708798	0.8499
Repetição	2	0.20059580	0.10029790	0.5612
Resíduo	10	1.63805437	0.16380544	
Total	17	2.62414841		
CV (%)	188.4312			
R ²	0.375777			

Anexo 2 - Quadro da ANOVA da variável emissão sazonal de CH₄ do cultivo de arroz para os fatores sistema de irrigação e cultivar. Safra 2019/2020.

Efeito	GL	SQ	QM	F calculado
Irrigação	1	70666.79809	70666.79809	<.0001*
Cultivar	2	13043.17299	6521.58649	0.0153*
Irrigação x Cultivar	2	1300.31764	650.15882	0.5417
Repetição	2	237.54037	118.77018	0.8889
Resíduo	10	9968.12492	996.81249	
Total	17	95215.95400		
CV (%)	22.73336			
R ²	0.895310			

Anexo 3 - Quadro da ANOVA da variável potencial de aquecimento global parcial (PAGp) do cultivo de arroz para os fatores sistema de irrigação e cultivar. Safra 2019/2020.

Efeito	GL	SQ	QM	F calculado
Irrigação	1	53286547.76	53286547.76	<.0001
Cultivar	2	10668459.41	5334229.71	0.0170
Irrigação x Cultivar	2	1144795.93	572397.97	0.5310
Repetição	2	135336.69	67668.34	0.9239
Resíduo	10	8481586.48	848158.65	
Total	17	73716726.27		
CV (%)	23.34139			
R ²	0.884944			

Anexo 4 - Quadro da ANOVA da variável emissão sazonal de N₂O do cultivo de arroz para os fatores sistema de irrigação e cultivar. Safra 2020/2021.

Efeito	GL	SQ	QM	F calculado
Irrigação	1	0.26038669	0,26038669	0.0199*
Cultivar	3	1.29241385	0,43080462	0.0005*
Irrigação x Cultivar	3	1.21695428	0,40565143	0.0006*
Repetição	2	0,05888229	0,02944115	0,4770
Resíduo	14	0.52790418	0,03770744	
Total	23	3.35654129		
CV (%)	122.7415			
R ²	0,842724			

Anexo 5 - Quadro da ANOVA da variável emissão sazonal de CH₄ do cultivo de arroz para os fatores sistema de irrigação, cultivar e população de planta. Safra 2020/2021.

Efeito	GL	SQ	QM	F calculado
Irrigação	1	309172.1050	309172.1050	<0.0001*
Cultivar	3	16508.1777	5502.7259	0.0092*
Irrigação x Cultivar	3	14359.7874	4786.5958	0.0150*
Repetição	2	3701.0554	1850.5277	0.1837
Resíduo	14	13516.0263	965.4305	
Total	23	357257.1518		
CV (%)	18.28125			
R ²	0,962167			

Anexo 6 - Quadro da ANOVA da variável potencial de aquecimento global parcial (PAGp) do cultivo de arroz para os fatores sistema de irrigação, cultivar e população de planta. Safra 2020/2021.

Efeito	GL	SQ	QM	F calculado
Irrigação	1	351676515.3	351676515.3	<0.0001*
Cultivar	3	18026432.9	6008811.0	0.0110*
Irrigação x Cultivar	3	18265303.1	6088434.4	0.0105*
Repetição	2	4280998.5	2140499.2	0.1816
Resíduo	14	15512834.9	1108059.6	
Total	23	407762084.6		
CV (%)	18.06838			
R ²	0,961956			

Anexo 7 - Quadro da ANOVA da variável emissão sazonal de N₂O do cultivo de arroz para os fatores sistema de irrigação e cultivar. Safra 2021/2022.

Efeito	GL	SQ	QM	F calculado
Irrigação	1	1.26760193	1.26760193	<0,0001*
Cultivar	4	0.17494510	0.04373628	0.5032
Irrigação x Cultivar	4	0.05493843	0.01373461	0.8922
Repetição	2	0.02387165	0.01193582	0,7919
Resíduo	18	0.90915200	0.05050844	
Total	29	2.43050911		
CV (%)	127.1848			
R ²	0.625942			

Anexo 8 - Quadro da ANOVA da variável emissão sazonal de CH₄ do cultivo de arroz para os fatores sistema de irrigação e cultivar. Safra 2021/2022.

Efeito	GL	SQ	QM	F calculado
Irrigação	1	667846.7537	667846.7537	<0.0001*
Cultivar	4	8956.9531	2239.2383	0.0842
Irrigação x Cultivar	4	14702.7541	3675.6885	0.0170
Repetição	2	313.2417	156.6208	0.8443
Resíduo	18	16505.3709	916.9650	
Total	29	708325.0734		
CV (%)	18.28125			
R ²	0,962167			

Anexo 9 - Quadro da ANOVA da variável potencial de aquecimento global parcial (PAGp) do cultivo de arroz para os fatores sistema de irrigação e cultivar. Safra 2021/2022.

Efeito	GL	SQ	QM	F calculado
Irrigação	1	753498731.3	753498731.3	<0.0001*
Cultivar	4	10705872.0	2676468.0	0,0779
Irrigação x Cultivar	4	16752600.9	4188150.2	0.0182
Repetição	2	394042.0	197021.0	0.8326
Resíduo	18	19166409.0	1064800.5	
Total	29	800517655.3		
CV (%)	16.00167			
R ²	0.976057			

Anexo 10 - Quadro da ANOVA da variável potencial de aquecimento global parcial em escala de rendimento de grãos (PAGpR) do cultivo de arroz para os fatores sistema de irrigação e cultivar. Safra 2019/2020.

Efeito	GL	SQ	QM	F calculado
Irrigação	1	0.93722565	0.93722565	<.0001*
Cultivar	2	0.35935919	0.17967959	<.0001*
Irrigação x Cultivar	2	0.01851142	0.00925571	0.0002*
Repetição	4	0.00233096	0.00058274	0.5121
Resíduo	20	0.01376243	0.00068812	
Total	29	1.33118965		
CV (%)	5.867812			
R ²	0.989662			

Anexo 11 - Quadro da ANOVA da variável potencial de aquecimento global parcial em escala de rendimento de grãos (PAGpR) do cultivo de arroz para os fatores sistema de irrigação e cultivar. Safra 2020/2021.

Efeito	GL	SQ	QM	F calculado
Irrigação	1	4.37534369	4.37534369	<.0001*
Cultivar	3	0.13678530	0.04559510	<.0001*
Irrigação x Cultivar	3	0.19097831	0.06365944	<.0001*
Repetição	5	0.00912758	0.00182552	0.5459
Resíduo	35	0.07821674	0.00223476	
Total	47	4.79045162		
CV (%)	9.225959			
R ²	0.983672			

Anexo 12 - Quadro da ANOVA da variável potencial de aquecimento global parcial em escala de rendimento de grãos (PAGpR) do cultivo de arroz para os fatores sistema de irrigação e cultura. Safra 2019/2020.

Efeito	GL	SQ	QM	F calculado
Irrigação	1	9.35213149	9.35213149	<.0001*
Cultivar	4	0.23964450	0.05991113	<.0001*
Irrigação x Cultivar	4	0.09093216	0.02273304	<.0001*
Repetição	5	0.00581896	0.00116379	0.6434
Resíduo	45	0.07740423	0.00172009	
Total	59	9.76593134		
CV (%)	7.716587			
R ²	0.992074			

Anexo 13 - Quadro da ANOVA da variável produtividade do cultivo de arroz para os fatores sistema de irrigação e cultivar. Safra 2019/2020.

Efeito	GL	SQ	QM	F calculado
Irrigação	1	10036820.62	10036820.62	0.0092
Cultivar	2	12123652.13	6061826.06	0.0171*
Irrigação x Cultivar	2	1395144.99	697572.49	0.5702
Repetição	4	3474358.80	868589.70	0.5887
Resíduo	20	24146309.68	1207315.48	
Total	29	51176286.22		
CV (%)	10.38665			
R ²	0.528174			

Anexo 14 - Quadro da ANOVA da variável produtividade do cultivo de arroz para os fatores sistema de irrigação e cultivar. Safra 2020/2021.

Efeito	GL	SQ	QM	F calculado
Irrigação	1	53954002.08	53954002.08	<.0001
Cultivar	4	63191675.08	21063891.69	<.0001
Irrigação x Cultivar	3	1767080.42	589026.81	0.4481
Repetição	5	2413657.92	482731.58	0.5971
Resíduo	35	22760408.4	650297.4	
Total	47	144086823.9		
CV (%)	7.469383			
R ²	0.842037			

Anexo 15 - Quadro da ANOVA da variável produtividade do cultivo de arroz para os fatores sistema de irrigação e cultivar. Safra 2021/2022.

Efeito	GL	SQ	QM	F calculado
Irrigação	1	71501983.3	71501983.3	<.0001
Cultivar	4	100005540.0	25001385.0	<.0001
Irrigação x Cultivar	4	14048193.7	3512048.4	<.0001
Repetição	5	2068187.3	413637.5	0.3154
Resíduo	45	15257720.2	339060.4	
Total	59	202881624.6		
CV (%)	5.145676			
R ²	0.924795			