

EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA E ESTRATÉGIAS DE MITIGAÇÃO PARA UMA EMPRESA PRODUTORA E BENEFICIADORA DE ARROZ NO RIO GRANDE DO SUL

Caroline Moro

Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil
morocaroline836@gmail.com

Márcio Viera

Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Politécnico da UFSM, Santa Maria, RS, Brasil
marcio.viera@uol.com.br

RESUMO

Objetivou-se com este estudo quantificar as emissões de gases de efeito estufa (GEE) e propor medidas mitigadoras para uma empresa produtora e beneficiadora de arroz no Rio Grande do Sul. A quantificação das emissões foi realizada com base em fatores de emissão por tipo de atividade, abrangendo as emissões diretas (escopo 1), indiretas por consumo de eletricidade (escopo 2) e indiretas associadas às atividades da organização (escopo 3). A emissão total de GEE da empresa foi de 1.257,05 tCO₂e, sendo 63,3% do escopo 1, 0,4% do escopo 2 e 36,3% do escopo 3. As principais fontes de emissão estão relacionadas ao cultivo e transporte após o beneficiamento. A intensidade de emissão foi de 13,5 t CO₂e por hectare cultivado ou 1,8 t CO₂e por tonelada de arroz produzido; para o beneficiamento, foi de 3,2 kg CO₂e por tonelada beneficiada. A redução das emissões ocorrerá principalmente com preparo do solo antecipado, inundação intermitente no cultivo e a diminuição no uso de fertilizantes nitrogenados. Essas estratégias são essenciais para que a empresa contribua para uma economia de baixo carbono, auxilie na redução das emissões de GEE e atenda as metas do Acordo de Paris.

Palavras-chave: Mudança do clima. Medidas mitigadoras. Desenvolvimento sustentável.

GREENHOUSE GAS EMISSION AND MITIGATION STRATEGIES FOR A RICE PRODUCING AND PROCESSING COMPANY IN RIO GRANDE DO SUL

ABSTRACT

This study aimed to quantify greenhouse gas (GHG) emissions and propose mitigating measures for a rice-producing and processing company in Rio Grande do Sul, Brazil. Emissions were quantified based on emission factors by type of activity, encompassing direct emissions (Scope 1), indirect emissions from electricity consumption (Scope 2), and indirect emissions associated with the company's activities (Scope 3). The total GHG emissions of the company amounted to 1,257.05 tCO₂e, of which 63.3% were Scope 1, 0.4% were Scope 2, and 36.3% were Scope 3. The primary sources of emissions are related to cultivation and transportation after processing. The emission intensity was 13.5 tCO₂e per cultivated hectare or 1.8 tCO₂e per ton of rice produced. For processing, the carbon footprint was 3.2 kg CO₂e per ton processed. The reduction in emissions will occur primarily with anticipation of soil tillage, flooding in cultivation and a decrease in the use of nitrogen fertilizers. These strategies are essential for the company to contribute to a low-carbon footprint, help reduce GHG emissions, and meet the goals of the Paris Agreement.

Keywords: Climate change. Mitigating measures. Sustainable development.

INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas antropogênicas, decorrentes das emissões de gases causadores do efeito estufa (GEE), têm se tornado cada vez mais impactantes no planeta, gerando a necessidade de adoção de estratégias para mitigar seus impactos sobre a população e a biodiversidade. As principais fontes de GEE estão relacionadas à matriz energética mundial, cuja principal fonte de matérias-primas é de origem fóssil

(carvão mineral, petróleo e gás natural), além de abranger atividades agropecuárias, processos industriais, geração de resíduos e supressão de vegetação natural para uso alternativo do solo (Climate Watch, 2024).

O aumento da concentração de determinados gases na atmosfera (principalmente CO₂, CH₄ e N₂O) provoca mudanças nos padrões climáticos e perturba o equilíbrio da natureza devido ao aquecimento global (ONU, 2024). Em 2023, a temperatura média global foi 1,55 °C superior à do período pré-revolução industrial (média entre 1850 e 1900), tornando-se o ano mais quente da era moderna (WMO, 2025). Esse aquecimento provoca alterações no equilíbrio climático do planeta, resultando em eventos extremos mais intensos e frequentes. Além de tempestades mais severas, como inundações e deslizamentos, essas alterações provocam temperaturas mais altas, ondas de calor extremas, maior frequência e duração das secas, aquecimento das águas, elevação do nível dos oceanos, perda de biodiversidade, desregulação térmica (diminuição ou aumento drástico de temperatura), vendavais com rajadas mais intensas e frequentes e ciclones, entre outros.

É importante destacar que as mudanças climáticas consistem em desequilíbrios nos padrões climáticos, e não apenas no aumento da temperatura. Essas mudanças, que vêm ocorrendo fora do padrão, trazem impactos negativos. Um exemplo são as inundações que ocorreram em abril e maio de 2024 no Rio Grande do Sul. Elas ocasionaram mortes, deslocamento de pessoas, danos à saúde da população, perda da biodiversidade da fauna e da flora, erosão e degradação do solo, assoreamento dos recursos hídricos e danos materiais (EMATER/RS-ASCAR, 2024).

Dessa forma, o aquecimento global, que se intensificou durante a Revolução Industrial, tornou-se foco de discussão em diferentes fóruns mundiais. A discussão ganhou dimensões técnico-científicas com a criação, em 1988, do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), e com a criação, durante a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (ECO 92), da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC) (IPCC, 2024; UNFCCC, 2024). A UNFCCC é responsável pelas Conferências das Partes (COP), organizadas anualmente desde 1995. Durante a COP 3 (1997), as partes aprovaram o Protocolo de Quioto, que entrou em vigor apenas em 2005, após a ratificação pela maioria dos membros da UNFCCC.

Esse acordo estabeleceu que os países industrializados deveriam reduzir suas emissões de gases de efeito estufa com base em metas individuais. Os compromissos assumidos pelas partes em relação ao Protocolo de Quioto foram válidos até 2020. Em 2015, durante a COP21, foi firmado o Acordo de Paris, no qual todas as partes se comprometeram a contribuir para manter o aumento da temperatura média global bem abaixo de 2 °C acima dos níveis pré-industriais, buscando limitar o aumento da temperatura a 1,5 °C (UNFCCC, 2024). Ele entrou em vigor em 2016 e foi acordado por 196 países. Esse acordo é fundamental, pois é o primeiro a estabelecer que todos os países adotem medidas para diminuir as emissões de GEE de acordo com a necessidade de cada um (Balduino, 2020).

Desse modo, a identificação e a quantificação das fontes de emissão de GEE são essenciais para a proposição de medidas de mitigação das mudanças climáticas, atenuando o agravamento dos extremos climáticos, que causam problemas de ordem ambiental, econômica e social. Nesse cenário, é necessário quantificar os GEE em diferentes atividades e estabelecer estratégias de redução de emissão para atenuar a mudança do clima. No Brasil, mais de 70% das emissões de GEE estão relacionadas à mudança no uso da terra (desmatamento) e à atividade agropecuária (Brasil, 2022). Na agropecuária, o cultivo do arroz contribui significativamente para as emissões, principalmente devido ao manejo da cultura (Bayer et al., 2014). Diversos estudos foram conduzidos para avaliar o impacto do cultivo do arroz na emissão de metano em relação ao manejo da cultura (Bayer et al., 2015; Camargo, 2015; Scivittaro et al., 2019; Basavalingaiah et al., 2020; Islam et al., 2021; Lunga et al., 2024). Entretanto, a estimativa de emissão da cadeia agroindustrial do arroz é incipiente, pois se desconsidera as operações de beneficiamento, armazenagem e comercialização de grãos. Por isso, o presente estudo tem por objetivo quantificar as emissões de GEE de uma organização localizada no município de São João do Polêsine-RS, que atua no plantio, beneficiamento e comercialização de arroz. Além disso, busca-se identificar quais são as fontes de emissões e propor medidas, sejam elas voltadas à redução ou à compensação do impacto climático da organização.

METODOLOGIA

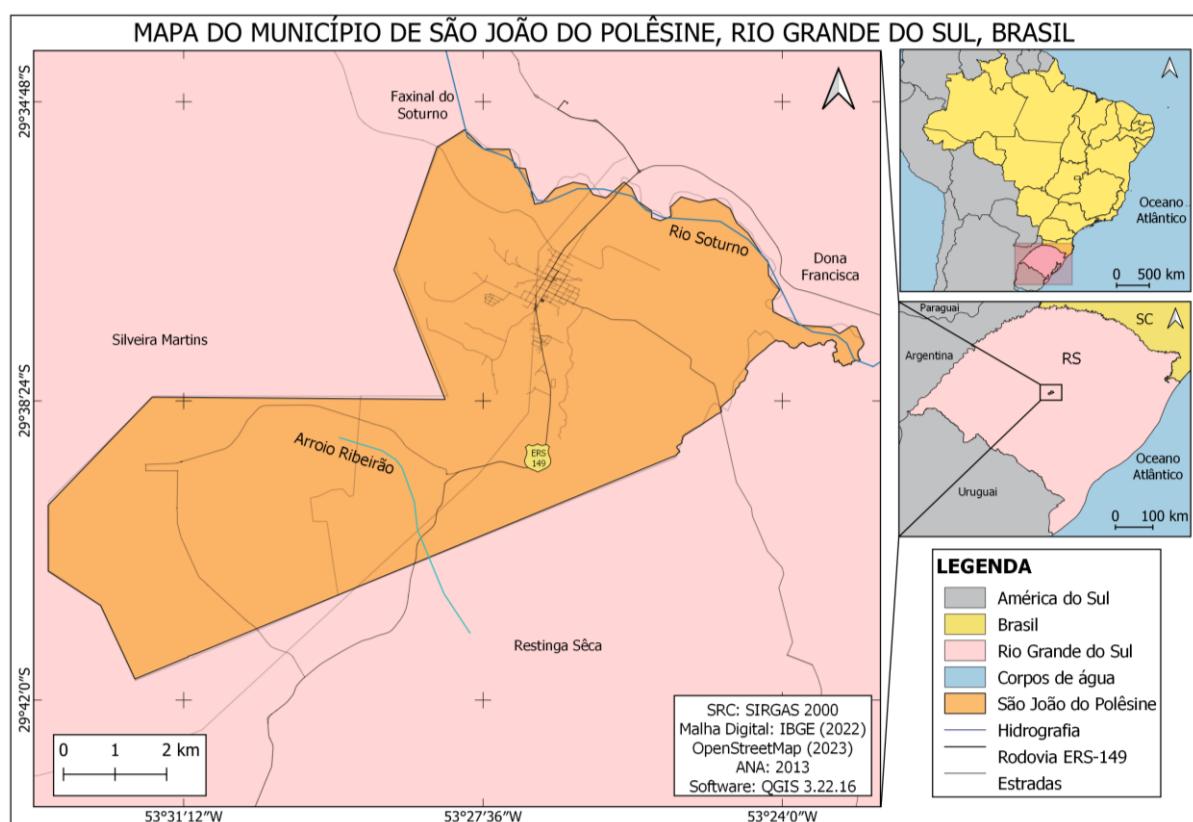
Caracterização da área de estudo

A estimativa de emissões de GEE foi realizada em uma organização cerealista localizada no município de São João do Polêsine (RS) (Figura 1). O município possui população de 2.649 habitantes e área territorial

de 78,320 km² (IBGE, 2022). São João do Polêsine faz parte da Quarta Colônia de Imigração Italiana e atualmente integra o Geoparque Quarta Colônia. De acordo com dados do IBGE (2022), a principal atividade econômica do município é a agricultura, sendo o cultivo de arroz o mais dominante, com uma área de 2.033 hectares e uma produção de 13.125 toneladas.

O período escolhido para a quantificação das emissões de GEE considerou o ciclo operacional completo da cerealista, abrangendo o beneficiamento do arroz de 1º de janeiro a 31 de dezembro de 2023 e o cultivo do arroz (safra 2023/2024) de setembro de 2023 a abril de 2024, garantindo a representatividade das emissões em ambas as atividades da organização. A delimitação espacial abrangeu as operações diretas e indiretas da cerealista, incluindo as áreas de cultivo, a instalação industrial de beneficiamento e atividades correlatas. Para fins de inventário, estabeleceu-se a seguinte delimitação organizacional: cultivo do arroz e beneficiamento. Dessa maneira, as emissões foram contabilizadas separadamente para cada setor organizacional da cerealista.

Figura 1 - Município de São João do Polêsine (RS) – Mapa de localização – 2024



Fontes: IBGE, 2022; ANA, 2013; OpenStreetMap, 2023. Elaboração: Os autores, 2024.

Coleta de dados

As atividades analisadas correspondem às de cultivo e beneficiamento do arroz. O cultivo de arroz foi realizado em uma área de 58 hectares, com nivelamento e revolvimento do solo em setembro, semeadura em outubro de 2023 e colheita em abril de 2024. A lâmina de água manteve-se em aproximadamente 10 cm durante todo o período de cultivo. Em novembro de 2023, foi realizada a fertilização com 200 kg de ureia e 200 kg de nitrogênio sintético por hectare (N do composto NPK). A frota agrícola utilizada no cultivo do arroz foi composta por quatro tratores, duas colheitadeiras e uma motocicleta para o deslocamento de um funcionário.

O setor de beneficiamento da organização é composto por oito colaboradores. Lá, é realizado o beneficiamento da própria produção de arroz e de outros produtores da região. Na empresa, o grão é armazenado em um silo industrial e, posteriormente, passa por uma limpeza, quando ocorre a peneiração para a retirada das impurezas. Em seguida, o arroz é encaminhado para o descascador, onde a casca é

removida. Em seguida, os equipamentos separadores, o brunidor (rebolo) e o polidor a água operam em conjunto, dando acabamento ao grão. Nessa fase, ocorre a retirada total do farelo. Depois, o arroz passa pelo processo de separação e seleção. Por fim, o arroz é embalado, ficando pronto para a comercialização. Os equipamentos elétricos presentes na empresa são: descascador, brunidor, elevador, peneiras, selecionadoras eletrônicas, polidor, roscas transportadoras e compressor.

Os dados foram obtidos por meio de coleta de campo, que incluiu entrevistas com o proprietário da organização e levantamento de informações nos arquivos administrativos, como registros de abastecimento de veículos, aquisição de combustível, notas fiscais de compra e venda e cálculo das distâncias percorridas com os veículos.

Para a elaboração do inventário de emissões, foram utilizadas a definição do Greenhouse Gas Protocol (WRI; WBCSD, 2004), as adaptações ao contexto brasileiro realizadas pelo Programa Brasileiro GHG Protocol (FGV/GVces; WRI, 2008) e as orientações da norma técnica NBR ISO 14064-1 (ABNT, 2007). Dessa forma, as emissões foram contabilizadas dentro de três escopos. O escopo 1 abrange emissões associadas diretamente às operações da organização e sob seu controle. Os escopos 2 e 3 referem-se a emissões associadas indiretamente às operações da organização e controladas por terceiros.

Para a organização cerealista, a combustão móvel e as atividades agrícolas enquadram-se como categorias de escopo 1; o consumo de energia elétrica, como categoria de escopo 2; e, como categoria de escopo 3, as seguintes: combustão não inclusa nos escopos 1 e 2; emissões casa-trabalho dos colaboradores; e transporte e distribuição, este realizado após o beneficiamento do arroz. Conforme as orientações do Programa Brasileiro GHG Protocol (FGV/GVces; WRI, 2008), todas as emissões dos escopos 1 e 2 devem ser identificadas e inventariadas obrigatoriamente; entretanto, as do escopo 3 são opcionais. Para o presente estudo, foi possível contabilizar as principais categorias do escopo 3.

Estimativa de emissão

A quantificação das emissões de gases de efeito estufa seguiu as orientações metodológicas do IPCC (2006; 2013) e foi realizada com base em fatores de emissão por tipo de atividade, com o auxílio de ferramentas de cálculo de emissões de GEE para organizações do Programa Brasileiro GHG Protocol (FGV/GVces, 2024) e para o setor agropecuário da WRI Brasil (2020).

As emissões móveis foram estimadas multiplicando-se a quantidade de combustível consumida por cada veículo da frota da organização (tratores, colheitadeiras, caminhões, camionetas flex e a gasolina) por fatores de emissão de CO₂, CH₄ e N₂O (IPCC, 2006; Brasil, 2023).

A emissão de GEE para o cultivo de arroz foi estimada multiplicando-se a área cultivada pelo fator de emissão de 417 kg de CH₄ por hectare por safra, considerando-se o preparo convencional do solo (realizado na primavera) e a inundação contínua (Bayer et al., 2015). Para a fertilização nitrogenada, foram utilizados os seguintes fatores de emissão: 0,733 kg de CO₂ e 0,0088 kg de N₂O por kg de ureia, e 0,0113 kg de N₂O por kg de nitrogênio aplicado (IPCC, 2006; Brasil, 2015a). Esses fatores foram multiplicados pela quantidade de fertilizante sintético utilizada no cultivo. O uso de fertilizantes nitrogenados também resulta na emissão de N₂O por volatilização/deposição atmosférica e lixiviação/escoamento superficial. Para esses casos, foram utilizados os seguintes fatores de emissão: 0,01 e 0,0025 kg N₂O/kg N aplicado, respectivamente (IPCC, 1997 e 2006). Os resíduos do cultivo (palhada) permanecem sobre o solo e, durante sua decomposição, considera-se a emissão de 0,000115 kg de N₂O por kg de arroz produzido (Brasil, 2015a).

Em função do beneficiamento do arroz, a organização gera 1.100 toneladas de resíduos (cascas) por ano. Esse resíduo é comercializado para ser utilizado como fonte de energia em uma olaria. Para a estimativa de emissão de GEE, foram considerados os fatores de emissão para a geração de energia estacionária a partir da combustão de resíduos vegetais: 1.161 kg para o CO₂, 0,348 kg para o CH₄ e 0,0464 kg para o N₂O por tonelada de biomassa (FGV/GVces, 2024).

A estimativa de emissão de GEE pelo consumo de energia elétrica adquirida foi obtida multiplicando-se o consumo mensal em MWh pelo fator de emissão do Sistema Integrado Nacional (SIN), em tCO₂/MWh (Brasil, 2024a).

Em seguida, a emissão de cada gás de efeito estufa nas diferentes atividades foi convertida em equivalência de potencial de aquecimento global (PAG) do CO₂ para um horizonte de 100 anos de impacto de cada gás na absorção de energia (CO₂e — gás carbônico equivalente). Os valores de PAG utilizados foram os estabelecidos no quinto relatório de avaliação do IPCC (AR5), que considera 1 para o gás carbônico (valor de referência), 28 para o metano e 265 para o óxido nitroso.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Emissões gerais

A emissão do escopo 1 da organização produtora e beneficiadora de arroz foi de 795,53 tCO₂e (toneladas de gás carbônico equivalente), sendo que o gás metano representou 85,1%, o óxido nitroso, 9,4%, e o gás carbônico, 5,5% (Tabela 1). A emissão do escopo 2, relativa ao consumo de energia elétrica, foi a menor entre os três escopos. Apesar do consumo significativo de energia elétrica no processo de beneficiamento do arroz (135,4 MWh no ano inventariado), a emissão foi de aproximadamente cinco toneladas de CO₂. Isso ocorre porque a matriz elétrica nacional é composta principalmente por geração a partir de fontes renováveis. Em 2023, mais de 90% da geração de energia elétrica no Brasil veio de fontes renováveis, sendo 60,2% hidráulica, 13,5% eólica, 7,6% de biomassa e 7,2% solar (Brasil, 2024b). Por esse motivo, a emissão de CO₂ na geração de energia elétrica no Brasil, em 2023, foi de apenas 46,7 kg por MWh gerado e disponibilizado no sistema interligado nacional (Brasil, 2024a).

As emissões de escopo 3 estão vinculadas à cadeia de valor da atividade e, por isso, sua quantificação se torna mais complexa devido à disponibilidade de dados para a realização de estimativas (STENZEL; WAICHMAN, 2023). A quantificação dessas emissões é voluntária, mas, quando possível, deve ser realizada para as categorias com dados disponíveis (FGV/GVces, 2023). Com base nos dados disponíveis, o escopo 3 representou 36,4% do total de emissões de GEE, sendo composto principalmente por emissões de CO₂ (93%). A contribuição significativa do escopo 3 em relação às emissões totais evidencia a importância da análise de atividades inseridas na cadeia de valor da organização, mas que não estão sob seu controle.

Tabela 1 - Emissões gerais para cada tipo de gás de efeito estufa e por escopo de uma cerealista

Tipo de GEE	Toneladas de gás			Toneladas de CO ₂ e		
	Escopo 1	Escopo 2 - Abordagem localização	Escopo 3	Escopo 1	Escopo 2 - Abordagem localização	Escopo 3
CO ₂	43,51	5,35	424,93	43,51 (5,5) *	5,35	424,93 (93,2)
CH ₄	24,19	-	0,41	677,29 (85,1)	-	11,61 (2,5)
N ₂ O	0,28	-	0,07	74,73 (9,4)	-	19,63 (4,3)
Total	-	-	-	795,53 (100)	5,35	456,17 (100)

* Valores entre parênteses correspondem à porcentagem de contribuição de cada GEE em relação a emissão total dos escopos 1 e 3.

Fonte: Os autores, 2024.

A principal categoria de emissão da Cerealista foi a atividade agrícola (cultivo de arroz irrigado), responsável por 60,5% das emissões totais da empresa. O manejo do cultivo do arroz libera gases, como o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O), para a atmosfera. Esses poluentes são emitidos principalmente em cultivos realizados em regiões subtropicais e tropicais (Scivittaro et al., 2019). A liberação de metano (CH₄) no cultivo irrigado sob inundação decorre da decomposição anaeróbica da matriz orgânica do solo (Brasil, 2020).

A segunda categoria que mais contribuiu para as emissões foi a de transporte e distribuição do arroz beneficiado, representando 34,3% das emissões totais. O transporte do arroz beneficiado é de responsabilidade da empresa que adquire o produto processado para embalá-lo e comercializá-lo. Essa categoria emite CO₂, CH₄ e N₂O devido ao uso de veículos movidos a diesel para o transporte do arroz beneficiado. Esses gases são lançados pelo escapamento (Borsari, 2009). A categoria de combustão móvel é de responsabilidade direta da cerealista e representa aproximadamente 3% das emissões totais. Ela emite GEE pela queima de combustíveis fósseis para gerar energia e produzir movimento e torque em maquinários agrícolas. As demais categorias — geração de energia, aquisição de energia elétrica e emissões por deslocamento de funcionários — representam menos de 3% do total de emissões de GEE.

Emissões por tipo de fonte

Ao analisar as emissões por cada fonte emissora, é possível estabelecer estratégias de redução, seja por meio de atualização tecnológica e/ou mudança no manejo do cultivo. O cultivo do arroz foi a principal fonte

emissora, e, juntamente com a fertilização nitrogenada e a decomposição de resíduos vegetais (que permanecem sobre o solo após a colheita), foi responsável por 95,5% das emissões diretas de GEE da empresa (Tabela 2). A rizicultura é uma atividade importante no sul do Brasil, principalmente no Rio Grande do Sul, onde a área cultivada na safra 2023/2024 foi superior a 900 mil hectares e a produção de grãos do estado representou aproximadamente 70% da produção nacional (BRASIL, 2024c).

Tabela 2 - Emissões de gases de efeito estufa por escopo, fonte emissora e atividade da cerealista

Escopos	Fonte emissora	Atividade	CO ₂ e		CO ₂ biogênico	
			Tonelada	%	Tonelada	%
Escopo 1 - emissão direta	Caminhão	Beneficiamento	11,72	1,5	1,40	32,4
	Motocicleta	Beneficiamento	0,20	0,03	0,05	1,1
	Automóveis	Beneficiamento	0,17	0,02	0,06	1,6
	Tratores + colheitadeiras	Cultivo	23,41	2,9	2,80	64,9
	Cultivo do arroz*	Cultivo	677,21	85,1	-	-
	Aplicação de ureia	Cultivo	21,75	2,7	-	-
	Fertilizante nitrogenado sintético	Cultivo	34,45	4,3	-	-
	Lixiviação/escoamento superficial	Cultivo	5,30	0,7	-	-
	Deposição atm. de N volatilizado	Cultivo	7,95	1,0	-	-
	Decomposição de resíduos vegetais	Cultivo	13,25	1,7	-	-
Total			795,53	100,0	4,31	100,0
Escopo 2 - emissão indireta	Energia elétrica	Beneficiamento	5,35	-	-	-
	Total		5,35	-	-	-
Escopo 3 - emissão indireta	Caminhão clientes	Beneficiamento	431,63	94,62	51,54	3,88
	Casa/trabalho	Beneficiamento	0,30	0,07	0,06	0,00
	Casca arroz - geração de energia	Beneficiamento	24,24	5,31	1277,28	96,12
	Total		456,17	100,0	1328,88	100,0
Total Geral			1257,05		1333,19	

* Cultivo do arroz = emissão por decomposição orgânica em situação anaeróbica oriunda do tipo de manejo adotado.

Fonte: Os autores, 2024.

Entretanto, o manejo do solo e a condição de cultivo sob inundação são os principais responsáveis pelas emissões de GEE, como o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O). Isso ocorre porque o cultivo de arroz alagado influencia os processos de oxirredução e favorece a produção e o fluxo de metano para a atmosfera, criando também um ambiente anaeróbico, pois o oxigênio contido no solo é consumido (SILVA, 2020). De acordo com o Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SEEG, 2024), o Rio Grande do Sul foi o quinto estado com a maior emissão de gás metano em 2022, com aproximadamente 1,35 milhão de toneladas, sendo o setor agropecuário responsável por 84% desse total. A principal fonte de emissão de GEE da organização é a rizicultura, pois ela é cultivada com irrigação em lâmina de água constante durante o ciclo produtivo, o que intensifica as emissões de gás metano e óxido nitroso. A intermitência na irrigação auxilia na mitigação das emissões de metano, podendo reduzi-las em até 90% (Camargo, 2015; Scivittaro et al., 2019; Islam et al., 2021).

As demais fontes de emissões diretas estão relacionadas ao consumo de combustíveis por veículos a combustão utilizados no preparo do solo, no manejo e na colheita do arroz (2,9% das emissões diretas), além de veículos para o transporte de carga (1,5%) e de pessoas (0,05%). As principais fontes emissoras de responsabilidade indireta foram o uso de caminhões por empresas terceirizadas para o transporte do arroz beneficiado e a queima da casca do arroz para geração de energia térmica, realizada por uma empresa terceirizada. A mensuração das emissões de GEE, incluindo as de escopo 3, fornece uma visão

completa do impacto climático da organização, pois elas podem abranger as emissões dos bens adquiridos antes da produção na organização e as relacionadas após a venda de seus produtos. Dessa forma, é possível entender a cadeia de valor da organização, desde a aquisição/fornecimento dos produtos até a compra final pelos consumidores e o descarte dos produtos comercializados (FGV/GVces, 2018a; Stenzel; Waichman, 2023).

As emissões de gás carbônico biogênico referem-se às atividades que emitem CO₂ oriundo de processos biológicos de carbono, como a decomposição de resíduos de cultivos agropecuários, a respiração de plantas e animais e a combustão de biomassa cultivada, entre outros (WRI Brasil, 2015; FGV/GVces, 2018b). Por esse motivo, o gás carbônico biogênico não é considerado para efeitos de contabilização do impacto climático gerado por atividades que utilizem biomassa proveniente de cultivos agropecuários, pois o arroz, na fase vegetativa, remove CO₂ da atmosfera durante o processo de fotossíntese, incorporando carbono e liberando oxigênio. Por esse motivo, as emissões de gás carbônico biogênico devem ser contabilizadas separadamente das outras emissões (FGV, 2018b; WRI Brasil, 2015). A emissão de CO₂ biogênico é representada principalmente pela queima da casca de arroz e pela adição de combustíveis renováveis ao diesel e à gasolina comercial.

No Brasil, desde 2008, é obrigatória a adição de biodiesel ao diesel fóssil. Inicialmente, a proporção era de 2%, mas, desde março de 2024, representa 14% da composição do diesel comercial (BRASIL, 2025). Quanto à gasolina, ela é composta por 27% de etanol anidro na gasolina comum tipo C e 25% na gasolina premium (Brasil, 2015b), sendo o etanol proveniente principalmente da cana-de-açúcar. Inicialmente, a estratégia brasileira para os biocombustíveis visou auxiliar na diversificação da matriz energética nacional, devido ao aumento dos preços do petróleo e às quedas nas cotações do açúcar (Nitsch, 1991). Uma das estratégias mais importantes adotadas pelo Brasil foi a criação do Programa Nacional do Álcool (Proálcool), instituído pelo Decreto Federal nº 76.593, de 14 de novembro de 1975. Outra estratégia foi a criação, em 2004, do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB), com a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira a partir da Lei nº 11.097, de 2005 (BRASIL, 2005). De acordo com Silva (2013), o programa tem como metas diminuir as emissões de poluentes, reduzir as importações e gerar renda e emprego para os agricultores familiares. Dessa maneira, o uso de biocombustíveis contribui para a mitigação das causas das mudanças climáticas, devido à sua origem renovável (Sampaio; Bonacelli, 2018).

Indicador de intensidade de emissão

O indicador de intensidade de emissão, também chamado de emissões relativas, mede a quantidade de emissões de GEE em relação a uma unidade de produção ou atividade da organização (CETESB, 2021). Para o cálculo da intensidade de emissão do cultivo de arroz, utilizou-se a emissão de GEE por hectare cultivado e por tonelada de arroz produzida. A estimativa de emissão total para o cultivo de arroz foi de 783,32 t CO₂e, e a produtividade média por hectare na safra 2023/2024 foi de 7,5 toneladas. Desse modo, a intensidade de emissão foi de 13,5 t CO₂e por hectare cultivado ou 1,8 t CO₂e por tonelada de arroz produzida.

De acordo com dados do Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA, RS, 2024), na safra 2023/2024, foram produzidas aproximadamente 7,16 milhões de toneladas de arroz em mais de 851 mil hectares cultivados e colhidos. Assim, a produtividade média do cultivo do arroz no estado foi de 8,41 t/ha, superior à produtividade do cultivo avaliado neste estudo. Quanto maior a produtividade do arroz por área cultivada, menor a intensidade de emissão de GEE, principalmente de metano.

Em um estudo experimental realizado por Souza et al. (2023) em condições edafoclimáticas semelhantes às da organização inventariada, identificou-se que a intensidade de emissão do cultivo do arroz variou de 167,6 a 588,1 kg/ha de CH₄, sendo a menor emissão observada quando o solo e os resíduos culturais receberam manejo logo após a colheita. No estudo citado anteriormente, a intensidade de emissão por quantidade de arroz produzida variou de 0,64 a 1,06 t CO₂e, variação esta explicada pelo manejo adotado e pela produtividade (média de 10,4 t/ha). Bayer et al. (2015), em estudo experimental realizado no Rio Grande do Sul, também identificaram intensidade de emissão variável em função do manejo do solo, que variou de 8,6 a 10,9 t CO₂e/ha/safra e de 1,06 a 1,41 t CO₂e/t de arroz produzido.

Na China, Ahmad et al. (2009) analisaram a emissão de GEE em função do manejo do solo e da fertilização adotada durante o cultivo do arroz e encontraram uma intensidade de emissão variando de 8,56 a 16,49 t CO₂e/ha/safra. Em um estudo realizado na Índia, Mohan et al. (2022) identificaram uma emissão total de 6,72 t CO₂e/ha, sendo que 72,4% corresponderam às operações de cultivo e 27,6%, às operações de colheita e pós-colheita. Em estudo realizado na Malásia, Rahman et al. (2029) encontraram uma intensidade

de emissão de 1,39 t CO₂e por tonelada de arroz produzida. Isso demonstra a variabilidade da emissão de GEE, que, segundo Qian et al. (2023), decorre das práticas de manejo adotadas na rizicultura. Os autores apontam que a inundação contínua e o acúmulo de material orgânico estimulam as emissões de metano (CH₄), enquanto a aplicação de fertilizantes nitrogenados influencia as emissões de óxido nitroso (N₂O).

No caso do beneficiamento do arroz, o indicador de intensidade de emissão considerado foi o de GEE, considerando os escopos 1 (emissões diretas) e 2 (emissões por consumo de energia elétrica), com base na quantidade de arroz beneficiada durante o ano de 2023 (5.500 t) e nas emissões correspondentes (17,44 t CO₂e). Desse modo, a intensidade de emissão foi de 3,2 kg CO₂e por tonelada de produto beneficiado. Ao se adicionarem as emissões indiretas (456,17 t CO₂e) do escopo 3, a intensidade de emissão aumenta significativamente, alcançando 86,1 kg CO₂e por tonelada de produto beneficiado. As emissões de responsabilidade indireta de uma organização podem contribuir significativamente para o total de emissões de GEE, sendo recomendada, sempre que possível, a sua contabilização (FGV/GVces; WRI, 2008). Conforme Zhang et al. (2021), mais de 60% das emissões de GEE ocorrem durante o período de crescimento nos campos de arroz. Essa questão corrobora o presente estudo, visto que o cultivo representou a maior fonte de emissões.

Gestão de emissões

As estratégias de gestão de emissões de GEE, que visam reduzi-las, geralmente consideram os escopos 1 e 2, que estão sob maior controle da organização. No escopo 1, as fontes de emissão das diferentes categorias podem ser administradas diretamente pela cerealista, tanto no cultivo agrícola quanto no beneficiamento. Em relação ao consumo de energia elétrica, a empresa também possui alternativas sustentáveis de geração de energia.

As emissões decorrentes do uso de veículos leves, pesados e maquinário agrícola podem ser reduzidas com a renovação da frota, pois os veículos mais novos são mais eficientes na utilização da energia gerada durante a combustão (TEIXEIRA; FELTES; SANTANA, 2008). Além disso, os veículos leves podem ser abastecidos com etanol, um combustível renovável que pode reduzir em até 90% as emissões de GEE em comparação com a gasolina comum (Nunes, 2017). O Brasil é um dos países que dominam a produção de álcool, que pode ser produzido a partir da cana-de-açúcar, do milho, do trigo, da beterraba, entre outras fontes.

Para reduzir as emissões de GEE no cultivo do arroz, pode-se implementar o sistema de substituição da lâmina d'água permanente pela intermitente, que libera menos gás metano para a atmosfera (BRASIL, 2020), ou seja, permite uma ou mais aeração do solo durante o cultivo. De acordo com Moterle (2011), a intermitência na irrigação pode reduzir em até 70% a emissão de metano durante o cultivo. Além disso, é possível alterar a estação do ano para o preparo do solo, mudando-o da primavera para o outono. De acordo com Bayer et al. (2015), essa mudança pode reduzir em até 24% a emissão de CH₄. Também é possível reduzir a quantidade de nitrogênio sintético na formulação dos fertilizantes e fracionar a fertilização em diferentes períodos, diminuindo a volatilização do nitrogênio. Outra possibilidade é a utilização de bioinsumos, tornando o cultivo biodinâmico. Esse tipo de cultivo é considerado um aliado contra as mudanças climáticas, pois reduz a emissão de N₂O (Proença; Thame, 2024).

A emissão de GEE decorrente do consumo de energia elétrica não é significativa em relação às emissões totais da organização. Mesmo assim, é possível reduzi-la reavaliando o processo de beneficiamento do arroz para aumentar a produtividade com menor gasto energético. A automação dos processos industriais pode reduzir o consumo de energia elétrica, tornando os equipamentos e as máquinas mais eficientes. A substituição das lâmpadas tradicionais por lâmpadas de LED também é uma opção, pois elas podem reduzir o consumo de energia elétrica em até 85% em relação às incandescentes e fluorescentes (GUEDES, 2022). Após analisar todas as possibilidades de redução do consumo de energia elétrica, pode-se partir para o uso de fontes renováveis alternativas, como a geração própria de energia por meio da implementação de painéis fotovoltaicos (Guerreiro; Pacca, 2023). Além de evitar a emissão de GEE, a geração de energia pela própria organização também pode reduzir o custo financeiro do beneficiamento do arroz. Outra possibilidade é a compensação da emissão de GEE pelo consumo de energia elétrica por meio da compra de certificados de geração de energia renovável (I-REC), aceitos em diversos protocolos, como o GHG Protocol. Esses certificados documentam, comprovadamente, a quantidade de energia renovável adquirida pela empresa.

As estratégias identificadas podem ser aplicadas a outros sistemas agrícolas e agroindustriais. O fracionamento da adubação nitrogenada e o uso de bioinsumos são aplicáveis a culturas com alta demanda nutricional, como milho, trigo e cana-de-açúcar (CARVALHO; OLIVEIRA; REIN, 2021). No contexto

industrial, medidas de eficiência energética, como iluminação LED, automação e energia fotovoltaica, podem ser implementadas no beneficiamento de outros tipos de grãos e no processamento de alimentos em geral.

Por fim, os resultados obtidos têm implicações para o desenvolvimento de políticas públicas voltadas à mitigação de emissões no setor agroindustrial brasileiro. A predominância das emissões de metano no cultivo de arroz irrigado sugere a necessidade de políticas específicas para a rizicultura. No Rio Grande do Sul, responsável por grande parte da produção nacional de arroz, poderia ser implementado um programa de incentivo aos rizicultores que adotassem técnicas de cultivo com antecipação do preparo do solo e irrigação intermitente. Em escala nacional, essas estratégias poderiam ser integradas ao Plano ABC+ (Plano Setorial de Adaptação à Mudança do Clima e de Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária), por meio de linhas de crédito subsidiadas. Além disso, é necessário intensificar a capacitação técnica e a assistência rural especializada para que as estratégias de mitigação das emissões de GEE sejam efetivamente implementadas nas diferentes atividades agroindustriais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O cultivo de arroz irrigado sob inundação constante é a principal fonte de emissão direta de gases de efeito estufa da organização. No beneficiamento, a maior emissão ocorre no transporte do arroz processado. As estratégias de redução das emissões de GEE da cerealista podem consistir, por exemplo, em antecipar a preparação do solo, substituir a lâmina d'água permanente pela intermitente no cultivo do arroz, usar veículos mais eficientes ou movidos a etanol anidro, reduzir e/ou fracionar a fertilização nitrogenada, utilizar bioinsumos, substituir lâmpadas tradicionais por outras mais eficientes, implementar painéis fotovoltaicos ou comprar energia elétrica gerada por fontes renováveis no mercado livre (certificado de energia renovável). Essas medidas são essenciais para que a cerealista contribua para uma economia de baixo carbono, auxilie na mitigação das emissões de GEE e cumpra as metas estabelecidas no Acordo de Paris.

Iniciativas organizacionais de gestão das emissões de GEE podem contribuir para o processo de mitigação das mudanças climáticas, considerando o impacto climático de suas atividades. Ao adotar as estratégias propostas, a cerealista não apenas se alinha a práticas sustentáveis, como também assume um papel ativo na busca pela descarbonização da economia, reduzindo sua pegada de carbono.

A presente pesquisa tem limitações que devem ser consideradas, como a dependência do uso de fatores de emissão para a realização do inventário de GEE. Para futuros estudos, recomenda-se considerar séries temporais mais extensas e/ou comparações entre diferentes cultivos agrícolas ou setores agroindustriais, buscando compreender a intensidade de emissão e as possibilidades de mitigação das mudanças climáticas.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 14064:1**: Gases de efeito estufa: Especificação e orientação a organizações para quantificação e elaboração de relatórios de emissões e remoções de gases de efeito estufa. Rio de Janeiro, 2007.
- AHMAD, S.; LI, C.; DAI, C.; ZHAN, M.; WANG, J.; PAN, S.; CAO, C. Greenhouse gas emission from direct seeding paddy field under different rice tillage systems in central China. **Soil and Tillage Research**, v. 106, n. 1, p. 54–61, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.still.2009.09.005>
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Catálogo de Metadados**, 2013. Disponível em: <https://metadados.snh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/home>. Acesso em: 11 out. 2024.
- BALDUINO, M. C. de J. M. O Acordo de Paris e a mudança paradigmática de aplicação do princípio da responsabilidade comum, porém diferenciada. **Revista Digital Constituição e Garantia de Direitos**, v. 13, n. 1, p. 172-188, 2020. <https://doi.org/10.21680/1982-310X.2020v13n1D21571>.
- BASAVALINGAIAH, K.; RAMESHA, Y. M.; PARAMESH, V.; RAJANNA, G. A.; JAT, S. L.; MISRA, S. D.; GADDI, A. K.; GIRISHA, H. C.; YOGESH, G. S.; RAVEESHA, S.; ROOPA, T. K.; SHASHIDHAR, K. S.; KUMAR, B.; EL-ANSARY, D. O.; ELANSARY, H. O. Energy Budgeting, Data Envelopment Analysis and Greenhouse Gas Emission from Rice Production System: A Case Study from Puddled Transplanted Rice and Direct-Seeded Rice System of Karnataka, India. **Sustainability**, v. 12, 2020. <https://doi.org/10.3390/su12166439>.

BAYER, C.; COSTA, F.S.; PEDROSO, G.M.; ZSCHORNACK, T.; CAMARGO, E.S.; LIMA, M.A.; FRIGHETO, R.T.S.; GOMES, J.; MARCOLIN, E.; MACEDO, V.R.M. Yield-scaled greenhouse gas emissions from flood irrigated rice under long-term conventional tillage and no-till systems in a Humid Subtropical climate. *Field Crops Research*, v.162, p. 60-69, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.03.015>.

BAYER, C.; ZSCHORNACK, T.; PEDROSO, G. M. ROSA, C. M. da; CAMARGO, E. S.; BOENI, M.; MARCOLIN, E.; REIS, C. E. S. dos; SANTOS, D. C. dos. A seven-year study on the effects of fall soil tillage on yield-scaled greenhouse gas emission from flood irrigated rice in a humid subtropical climate. *Soil and Tillage Research*, v. 145, p. 118-125, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.still.2014.09.001>.

BORSARI, V. **Caracterização das emissões de gases de efeito estufa por veículos automotores leves no Estado de São Paulo**. Dissertação (Mestre em Saúde Pública) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

BRASIL. **Decreto nº 76.593, de 14 de novembro de 1975**. Institui o Programa Nacional do Álcool e dá outras providências. Brasília: Presidência da República, 1975. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decrc/1970-1979/decrc-76593-14-novembro-1975-425253-publicacaooriginal-1-pe.html>. Acesso em: 18 set. 2024.

BRASIL. **Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005**. Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira [...]. Brasília: Presidência da República, 2005. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/lei/l11097.htm. Acesso em: 07 out. 2024.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação – MCTI. **Terceiro inventário brasileiro de emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa**. Brasília: MCTI, 2015a. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial>. Acesso em: 16 jul. 2025.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Portaria nº 75, de 5 de março de 2015**. Fixa, o percentual obrigatório de adição de etanol anidro combustível à gasolina. Brasília: Gabinete da Ministra, 2015b. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=281775>. Acesso em: 10 set. 2024.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Coletânea dos fatores de emissão e remoção de gases de efeito estufa da agricultura brasileira**. MAPA/SENAR: Brasília, 2020. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/fatores-nacionais-para-emissao-e-remocao-de-gases-de-efeito-estufa-na-agropecuaria-estao-em-coletanea-inedita-do-mapa/coletanea_PECUARIA.pdf. Acesso em: 10 jul. 2024.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanço Energético Nacional – BEM**. MME/EPE: Brasília, 2023. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-ben>. Acesso em: 08 jul. 2024.

BRASIL. Ministério de Ciência e Tecnologia e Inovação. **Fatores de emissão de CO2 pela geração de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional do Brasil - Ano Base 2023**. MCTI: Brasília, 2024a. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/dados-e-ferramentas/fatores-de-emissao>. Acesso em: 22 ago. 2024.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Anuário Estatístico de energia elétrica 2024 – ano base 2023**. MME/EPE: Brasília, 2024b. Disponível em: <https://dashboard.epe.gov.br/apps/anuario-livro/>. Acesso em: 22 ago. 2024.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Agrário e Agricultura Familiar. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos: safra 2023/24**: décimo segundo levantamento. Brasília: CONAB, v. 11, n. 12, 2024c. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-graos/boletim-da-safra-de-graos/12o-levantamento-safra-2023-2024/12o-levantamento-safra-2023-2024>. Acesso em: 31 jul. 2025.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Biodiesel**, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/producao-e-fornecimento-de-biocombustiveis/biodiesel>. Acesso em: 31 jul. 2025.

CAMARGO, E. S. **Potencial de práticas agrícolas em mitigar as emissões de gases de efeito estufa na cultura do arroz irrigado**. Tese (Doutor em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

CARVALHO, A. M. de; OLIVEIRA, A. D. de; REIN, T. A. **Qual é o Impacto da Adubação Nitrogenada e Práticas Agrícolas na Emissão de N₂O?** Planaltina: Embrapa (Comunicação Técnica, 47), 2021.

CARVALHO, L.; BUENO, R. C.; CARVALHO, M.; FAVORETO, A. L.; GODOY, A. F. Cana-de-açúcar e álcool combustível: histórico, sustentabilidade e segurança energética. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, n. 16, p. 530-543, 2013.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Nota Técnica 01.1: Quantificação e Relato de Emissões de Gases de Efeito Estufa**. 1. ed. rev., atual. São Paulo: CETESB, 2021. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2021/04/Nota-Tecnica-01-Quantificacao-e-Relato-de-Emissoes-de-Gases-de-Efeito-Estufa.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2024.

CLIMATE WATCH. **Historical GHG Emissions**. Washington, DC: World Resources Institute, 2024.

EMATER/RS-ASCAR. **Impactos das chuvas e cheias extremas no Rio Grande do Sul em maio de 2024**. Porto Alegre: EMATER/RS-ASCAR. Boletim evento adverso, n.1, maio de 2024. Disponível em: <https://www.estado.rs.gov.br/upload/arquivos/202406/relatorio-sisperdas-evento-enchentes-em-maio-2024.pdf>. Acesso em: 02 ago. 2024.

FGV/GVces – Fundação Getúlio Vargas/Centro de estudos em sustentabilidade; WRI – World Resources Institute. **Especificações do Programa Brasileiro GHG Protocol**: Contabilização, Quantificação e Publicação de inventários corporativos de emissões de gases de efeito estufa. 2 ed. 2008. Disponível em: <https://repositorio.fgv.br/items/f6ce0440-782f-4cb0-9055-4fd963e7d9ad>. Acesso em: 02 ago. 2024.

FGV/GVces – Fundação Getúlio Vargas/Centro de estudos em sustentabilidade. **Nota técnica – definição das categorias emissões de gases de efeito estufa (GEE) de escopo 3** – versão 2.0. São Paulo: FGV/GVces, 2018a. Disponível em: <https://repositorio.fgv.br/server/api/core/bitstreams/53ebbd3-aa33-498d-b791-0468bf3b36c4/content>. Acesso em: 25 ago. 2024.

FGV/GVces – Fundação Getúlio Vargas/Centro de estudos em sustentabilidade. **Nota técnica – definição das categorias emissões de gases de efeito estufa (GEE) de escopo 1** – versão 4. São Paulo: FGV/GVces, 2018b. Disponível em: <https://repositorio.fgv.br/items/bd1beaa0-f55d-43fa-9064-a46de22684e7>. Acesso em: 25 ago. 2024.

FGV/GVces – Fundação Getúlio Vargas/Centro de estudos em sustentabilidade. **Programa Brasileiro GHG Protocol**: perguntas frequentes – versão 1. São Paulo: FGV/GVces, 2023. Disponível em: https://eaesp.fgv.br/sites/eaesp.fgv.br/files/u641/faq_ghg_2023_v1.0.pdf. Acesso em: 8 ago. 2024.

FGV/GVces - Fundação Getúlio Vargas/Centro de estudos em sustentabilidade (FGV/GVces). **Ferramenta de Cálculo do PBGHG 2024**, 2024. Disponível em: <https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSd28GUG1Kc8wXj8JNRAFhMRh32r24Wome4RBuEdsnEb3OLB0Q/viewform?pli=1>. Acesso em: 17 maio 2024.

GUEDES, A. C. **Eficiência energética em iluminação: análise do plano decenal de eficiência energética e estudo de caso**. Dissertação (Mestre em Engenharia de Energia) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2022.

GUERREIRO, L. R.; PACCA, S. A. Emissões do ciclo de vida de CO₂, emissões evitadas e tempo de recuperação de energia para sistemas fotovoltaicos no Brasil. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 9, n. 6, p. 2834-2849, 2023. <https://doi.org/10.51891/rease.v9i6.10456>.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Informações do município de São João do Polêsine. **Cidades@**. Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: brasil. Acesso em: 18 jul. 2024.

IPCC - Painel Intergovernamental sobre as Mudanças Climáticas. **Revised 1996 IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories**. 1997. Disponível em: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.html>. Acesso em: 16 jul. 2024.

IPCC - Painel Intergovernamental sobre as Mudanças Climáticas. **IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. 2006. Disponível em: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>. Acesso em: 16 jun. 2024.

IPCC - Painel Intergovernamental sobre as Mudanças Climáticas. **Fifth Assessment Report: Climate Change – AR5**, 2013. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>. Acesso em: 02 ago. 2024.

IPCC – Painel Intergovernamental sobre as Mudanças Climáticas. **History of the IPCC**. Genebra, Suíça, 2024. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/about/history/>. Acesso em: 01 ago. 2024.

ISLAM, S. F. U.; GROENIGEN, J. W. V.; JENSEN, L. S.; SANDER, B. O.; NEERGAARD, A. de. The effective mitigation of greenhouse gas emissions from rice paddies without compromising yield by early-season drainage. **arXiv**, 2020. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2006.02917>

LUNGA, D. D.; BRYE, K. R.; ROBERTS, T. L.; BRYE, J.; EVANS-WHITE, M.; LESSNER, D. J.; HENRY, C. G. Water regime and fertilizer-phosphorus source effects on greenhouse gas emissions from rice. **Agrosystems, Geosciences & Environment, Hoboken**, v. 7, 2024. <https://doi.org/10.1002/agg2.20482>

MOHAN, S. M.; VIDHYAVATHI, A.; PADMARANI, S.; BALAJI, P. Carbon footprints and conventional rice cultivation: A case study in Thanjavur District. **Asian Journal of Agricultural Extension, Economics & Sociology**, v. 40, n. 10, p. 233-243, 2022. <https://doi.org/10.9734/ajaees/2022/v40i1031066>.

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

NITSCH, M. O programa de biocombustíveis Proálcool no contexto da estratégia energética brasileira. **Revista de Economia Política**, v. 11, n. 2 (42), p. 274-299, 1991. <https://doi.org/10.1590/0101-31571991-0712>.

NUNES, E. F. **Cana-de-açúcar**: A produção de etanol e seus benefícios. Monografia (Técnico em Agronegócio) - Instituto Federal de Educação Ciências e Tecnologia de São Paulo, Barretos, 2017.

ONU - NAÇÕES UNIDAS. **O que são mudanças climáticas?**, 2024. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/175180-o-que-s%C3%A3o-mudan%C3%A7as-clim%C3%A1ticas>. Acesso em: 07 out. 2024.

OPENSTREETMAP. **OpenStreetMap contributors**, 2023. Disponível em: <https://www.openstreetmap.org/>. Acesso em: 11 out. 2024.

PROENÇA, S. G.; THAME, D. Bioinsumos são fundamentais para uma agricultura de baixa emissão de gases de efeito estufa e para a segurança alimentar e nutricional no Brasil. **Laclima paper series**, 2024. Disponível em: <https://laclima.org/paperseries/bioinsumos-sao-fundamentais-para-uma-agricultura-de-baixa-emissao-de-gases-de-efeito-estufa-e-para-a-seguranca-alimentar-e-nutricional-no-brasil/>. Acesso em: 08 ago. 2024.

QIAN, H.; ZHU, X.; HUANG, S.; LINQUIST, B.; KUZYAKOV, Y.; WASSMANN, R.; MINAMIKAWA, K.; EIXARCH, M. M.; YAN, X.; ZHOU, F.; SANDER, B. O.; ZHANG, W.; SHANG, Z.; ZOU, J.; ZHENG, X.; LI, G.; LIU, Z.; WANG, S.; DING, Y.; GROENIGEN, K. J. V.; JIANG, Y. Greenhouse gas emissions and mitigation in rice agriculture. **Nature Reviews Earth & Environment**, v. 4, n. 10, p. 716–732, 2023. <https://doi.org/10.1038/s43017-023-00482-1>

RAHMAN, M. H. A.; CHEN, S. S.; RAZAK, P. R. A.; BAKAR, N. A. A.; SHAHRUM, M. S.; ZAWAWI, N. Z.; MUJAB, A. A. M.; ABDULLAH, F.; JUMAT, F.; KAMARUZAMAN, R.; SAIDON, S. A.; TALIB, S. A. A. Life cycle assessment in conventional rice farming system: Estimation of greenhouse gas emissions using cradle-to-gate approach. **Journal of Cleaner Production**, v. 212, p. 1526–1535, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.062>

RS/IRGA - Estado do Rio Grande do Sul/Instituto Rio Grandense do Arroz. **Relatório final da safra 2023/2024 de arroz irrigado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: IRGA, 2024. Disponível em: <https://www.agricultura.rs.gov.br/upload/arquivos/202406/14170006-irga-relatorio-final-colheita-arroz-14-06-24.pdf>. Acesso em: 08 out. 2024.

SAMPAIO, R. M.; BONACELLI, M. B. M. Capacidades estatais e programas de promoção dos biocombustíveis no Brasil. **Revista Gestão & Conexões**, v. 7, n. 1, p.137-160, 2018. <https://doi.org/10.13071/regec.2317-5087.2014.7.1.17141.137-160>.

SCIVITTARO, W. B.; VEÇOZZI, T. A.; JARDIM, T. M.; LUCAS, N. F.; SILVA, M. A. S. da; MASCARENHAS, Y. S.; CARVALHO, M. T. de M.; MADARI, B. E.; CONCENÇO, G. Emissões de Gases de Efeito Estufa do Cultivo de Arroz Irrigado em Ecossistemas Subtropical e Tropical. Embrapa Clima Temperado – **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, n. 324, 2019. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1116835/1/Boletim324.pdf>. Acesso em: 07 out. 2024.

SEEG – **Sistema de estimativas de emissões de gases de efeito estufa**. 2024. Disponível em: .
Acesso em 25 ago. 2024.

SILVA, G. T. **Emissões de Gases de Efeito Estufa de Cultivares de Arroz sob Irrigação por
Inundação Contínua e Intermittente**. Dissertação (Mestrado em Manejo e Conservação do Solo e da
Água) - Universidade Federal de Pelotas, Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel”, Pelotas, 2020.

SILVA, J. A. da. Avaliação do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel no Brasil – PNBP.
Revista de Política Agrícola, v. 22, n. 3, p.18-31, 2013.

SOUZA, E. L. de; WEILER, D. A.; BAYER, C.; MARCHESAN, E.; CHAVES, B.; PILECCO, G. E.;
SCHMATZ, R.; GIACOMINI, S. J. Straw management effects on global warming potential and yield-scaled
greenhouse gas emissions in a subtropical rice ecosystem. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 2023.
<https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20220134>

STENZEL, A.; WAICHMAN, I. Supply-chain data sharing for scope 3 emissions. **npj Clim. Action**, v. 2, n.
7, 2023. <https://doi.org/10.1038/s44168-023-00032-x>.

TEIXEIRA, E. C.; FELTES, S.; SANTANA, E. R. R. de. Estudo das emissões de fontes móveis na região
metropolitana de Porto Alegre, Rio Grande do Sul. **Química Nova**, v. 31, n. 2, p. 244-248, 2008.
<https://doi.org/10.1590/S0100-40422008000200010>

UNFCCC – Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima. **About us**: UNFCCC
archives. Bonn, Alemanha. 2024. Disponível em: <https://unfccc.int/>. Acesso em: 01 ago. 2024.

WMO - WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **State of the Global Climate 2024**. Geneva:
WMO, 2025. Disponível em: https://library.wmo.int/viewer/69455/download?file=WMO-1368-2024_en.pdf&type=pdf&navigator=1. Acesso em: 27 jun. 2025.

WRI - WORLD RESOURCES INSTITUTE; WBCSD - WORLD BUSINESS COUNCIL FOR
SUSTAINABLE DEVELOPMENT. **The Greenhouse Gas Protocol**: A corporate accounting and reporting
standard. Revised Edition, 2004. Disponível em: <https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/ghg-protocol-revised.pdf>. Acesso em: 02 ago. 2024.

WRI BRASIL - World Resources Institute Brasil. **Ferramenta GHG Protocol Agrícola**, 2020. Disponível
em: <https://www.wribrasil.org.br/projetos/ghg-protocol>. Acesso em: 17 maio 2024.

WRI BRASIL - World Resources Institute Brasil; UNICAMP - Universidade Estadual de Campinas.
Metodologia do GHG Protocol da agricultura, 2015. Disponível em:
<https://ghgprotocol.org/sites/default/files/2022-12/Metodologia.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2024.

ZHANG, L.; MENJIVAR, J. R.; TONG, Q.; ZHANG, J.; YUE, M. Examining the carbon footprint of rice
production and consumption in Hubei, China: A life cycle assessment and uncertainty analysis approach.
Journal of Environmental Management, v. 300, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113698>

Recebido em: 15/10/2024

Aceito para publicação em: 24/07/2025