



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA**

**CARACTERÍSTICAS DOS ESTUDOS SOBRE EMISSÃO DE  
METANO NOS SOLOS DO BRASIL (2013-2022)**

**PATRÍCIA CARDOSO DA SILVA**

**BRASÍLIA/DF**

**2022**

**PATRÍCIA CARDOSO DA SILVA**

**CARACTERÍSTICAS DOS ESTUDOS SOBRE EMISSÃO DE  
METANO NOS SOLOS DO BRASIL (2013-2022)**

**ORIENTADOR: Prof. Dr. CÍCERO CÉLIO DE FIGUEIREDO**

Trabalho de Conclusão de Curso para graduação em agronomia, apresentado à Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília como requisito para obtenção do grau de Engenheira Agrônoma.

**BRASÍLIA/DF**

**2022**

Silva, Patrícia Cardoso da

Características dos estudos sobre emissão de metano nos solos do Brasil (2013-2022) / Patrícia Cardoso da Silva; orientador Cícero Célio de Figueiredo. – Brasília, 2022.

27 p. : il.

Monografia (Graduação – Agronomia) – Universidade de Brasília, 2022.

1. gases de efeito estufa. 2. metano. 3. solo. 4. Brasil. I. Figueiredo, Cícero Célio de, orient. II. Título.

## **CESSÃO DE DIREITOS**

Nome da Autora: Patrícia Cardoso da Silva

Título: CARACTERÍSTICAS DOS ESTUDOS SOBRE EMISSÃO DE METANO NOS SOLOS DO BRASIL (2013-2022)

Ano: 2022

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias dessa monografia e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva-se a outros direitos de publicação, e nenhuma parte desse relatório pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

**PATRÍCIA CARDOSO DA SILVA**

**CARACTERÍSTICAS DOS ESTUDOS SOBRE EMISSÃO DE METANO  
NOS SOLOS DO BRASIL (2013-2022)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília, como parte das exigências do curso de Graduação em Agronomia, para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Aprovado em \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_

**COMISSÃO EXAMINADORA**

---

**Prof. Dr. Cícero Célio de Figueiredo**

Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária – Universidade  
de Brasília  
Orientador

---

**Dra. Arminda Moreira de Carvalho**

Embrapa Cerrados  
Examinadora

---

**Dra. Fabiana Piontekowski Ribeiro**

Programa de Pós Graduação em Ciências Florestais –  
Universidade de Brasília  
Embrapa Cerrados  
Examinadora

À minha família, em especial a meu filho Gael.

Dedico.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, sempre presente em minha vida, me guiando e iluminando para que eu não desviasse do caminho.

À minha família, pela paciência e pelo apoio nesses sete anos. Principalmente a minha mãe, Leonice Cardoso da Silva, que sempre esteve e estará ao meu lado independente de qualquer situação, em especial a meu marido que foi meu maior incentivador Lucas Daniel de Sousa Andrade, sem a ajuda deles eu jamais teria conseguido.

Aos meus irmãos Gleison Cardoso da Silva e Luis Gustavo Cardoso Neves.

Ao meu filho Gael, tão pequeno, tão bem humorado e tão sorridente, que me deu forças para não desistir no último ano de curso.

Ao meu orientador Prof. Dr. Cicero Célio de Figueiredo, pelo incentivo, pela disponibilidade, apoio e tantos ensinamentos que levarei para toda vida.

A Maria Aparecida da Silva Alves, amiga que eu ganhei durante essa empreitada, que eu trouxe para minha vida, por me incentivar, ajudar, escutar e apoiar.

**Muito Obrigada!**

**Não andeis ansiosos por coisa alguma, mas em tudo, pela oração e súplicas, e com ação de graças, apresentem seus pedidos a Deus.**

**Filipenses 4:6**

## RESUMO

O metano é o segundo gás de efeito estufa mais abundante gerado pelo homem. O Brasil é o quinto maior emissor de gases de efeito estufa no mundo. O metano é um importante gás de efeito estufa (GEE) que pode ser gerado pelas atividades agropecuárias. Este trabalho teve por objetivo avaliar as características dos estudos sobre emissão de metano nos solos brasileiros no período de 2013-2022. Para isso, foi realizada uma pesquisa exploratória através de levantamentos documental técnico-científicos nas bases SCOPUS e PAB utilizando as palavras “methane” AND “Brazil” AND “Soil” no título, resumo ou palavras-chave. Após seleção, os resultados foram organizados em gráficos e tabelas. Verificou-se que o número de trabalhos publicados sobre emissão de metano do solo no Brasil ainda é muito baixo. Apesar disso, os trabalhos sobre esse tema são publicados em revistas de alto fator de impacto nas áreas de ciências ambientais, ciência do solo e agronomia. A partir dos dados das unidades da Embrapa que mais publicam artigos sobre o tema, conclui-se que as pesquisas sobre emissão de metano do solo ainda estão centralizadas nas regiões centro-sul do Brasil, onde estão os centros de pesquisa da Embrapa focados na produção animal e na cultura do arroz inundado, que são as principais atividades geradoras desse GEE no Brasil. Portanto, no Brasil, as pesquisas precisam abranger um maior número de microrregiões geográficas para que se tenha um melhor levantamento dos fatores de emissão de metano do solo.

**Termos para indexação:** gases de efeito estufa, agricultura, emissões, CH<sub>4</sub>.

## ABSTRACT

Methane is the second most man-made greenhouse gas. Brazil is the fifth largest emitter of greenhouse gases in the world. Methane is an important greenhouse gas (GHG) that can be generated by agricultural activities. This study aimed to evaluate the characteristics of studies on methane emission in Brazilian soils in the period 2013-2022. For this, an exploratory research was carried out through technical-scientific documentary surveys in the SCOPUS and PAB databases using the words “methane” AND “Brazil” AND “Soil” in the title, abstract or keywords. After selection, the results were organized into graphs and tables. It was found that the number of published papers on soil methane emission in Brazil is still very low. However, works on this topic are published in journals with a high impact factor in the environmental, soil and agronomy areas. Based on data from Embrapa units that most publish research on the subject, it can be concluded that articles on soil methane emission are still centralized in the central-southern regions of Brazil, articles in which Embrapa's research centers are focused on animal production and flooded rice system, which are the main activities that generate this GHG in Brazil. Therefore, in Brazil, research needs to cover a greater number of geographic microregions in order to have a better survey of soil methane emission factors.

**Index terms:** greenhouse gases, agriculture, emissions, CH<sub>4</sub>.



## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	10
<b>2. EMISSÕES DO METANO (CH<sub>4</sub>) NO BRASIL</b> .....	11
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	15
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	18
4.1. Publicações das principais revistas sobre emissões de metano do solo no Brasil no período 2013-2022.....	19
4.2. Número de trabalhos, por unidade da Embrapa, sobre emissões de metano do solo no Brasil no período 2013-2022 .....	20
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	22
<b>6. REFERÊNCIAS</b> .....	23

## 1. INTRODUÇÃO

Em termos globais, as emissões anuais de gases de efeito estufa (GEE) aumentaram 53% de 1990 a 2020. De acordo com dados do IPCC (2020), embora as emissões tenham caído acentuadamente em 2016, dados recentes mostram que as emissões de CO<sub>2</sub> aumentaram a cada ano desde então. O dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) é responsável por 74,1% das emissões de gases de efeito estufa (GEE). A maioria das emissões de CO<sub>2</sub> vem do uso de combustíveis fósseis para geração de energia e aquecimento, transporte, fabricação e consumo. O setor de uso da terra, mudança de uso da terra e silvicultura é outro grande contribuinte para as emissões antropogênicas de CO<sub>2</sub>, principalmente devido ao desmatamento. O metano (CH<sub>4</sub>) e o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) respondem por 17% e 6,2% do total de emissões de gases de efeito estufa (GEE), respectivamente, principalmente da agricultura, através da fermentação entérica, em solos naturalmente alagados ou arrozais irrigados, descarte de resíduos e queima de gases.

As emissões de gases de efeito estufa (GEE) liberados na atmosfera pelo setor de mudança do uso da terra aumentou 23% em 2019, atingindo 968 milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente (tCO<sub>2</sub>eq), em comparação com 788 milhões de toneladas em 2018. O desmatamento continua sendo a principal fonte de emissões de CO<sub>2</sub> no Brasil, respondendo por 44% do total (Seeg-Brasil, 2020), a agricultura ficou em segundo lugar com 598,7 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> em 2019, um aumento de 1,1% em comparação com 592,3 milhões de toneladas em 2018. As emissões diretas desse setor estão intimamente relacionadas aos rebanhos bovinos e respondem por 28% do total de emissões de GEE do Brasil. As emissões originárias do setor energético representaram 19% do total de emissões do Brasil em 2019. Essas emissões aumentaram 1,1% no ano passado, de 409,3 milhões para 413,7 milhões.

O consumo de energia é de longe a maior fonte de emissões antropogênicas de gases de efeito estufa. O setor de energia inclui transporte, eletricidade e calor, foi responsável pela maioria das emissões, respondendo por 31,8% do total de emissões de GEE, seguido pelo transporte com 17% do total de emissões, manufatura e construção com 12% do total de emissões (IPCC, 2020).

Por meio de processos fundamentais que ocorrem no sistema solo-planta, a agricultura é vista como um setor da economia mundial que emite gases do efeito estufa (GEE) e que, também, pode influenciar de forma mitigadora. Das emissões, a pecuária e lavoura, 11,6%, processos químicos industriais, cimento e outros, representa 6,1% resíduos, incluindo aterros sanitários e efluentes, 3,3%, e uso da terra, mudança de uso da terra e silvicultura, como o

desmatamento, 3,3%. Para o total da economia mundial, as emissões de CO<sub>2</sub> são as mais importantes. Porém, para a agricultura, o mais importante são as emissões de N<sub>2</sub>O. No Brasil, estima-se que 93,7 % das emissões de N<sub>2</sub>O e 79,6 % das emissões de CH<sub>4</sub> sejam oriundas de atividades agrícolas (Brasil, 2014).

Segundo Paul & Clark (1996), compreender o impacto do manejo agrícola nos fatores físicos, químicos e biológicos do solo e sua interação na ciclagem de carbono e nutrientes, como nitrogênio (N), enxofre (S) e fósforo (P), e o impacto dessa ciclagem no solo, é de fundamental importância para a adoção de políticas que promovam a redução das emissões de GEEs. Os estoques de carbono e as contribuições dos fluxos de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> (de MOS e resíduos vegetais) no sistema solo-atmosfera são pré-requisitos para identificar práticas com potencial de aumentar os estoques de carbono nos solos, bem como minimizar a contribuição da agricultura para as mudanças climáticas globais. Os solos podem atuar como fonte ou dreno de GEE dependendo das práticas de manejo utilizadas (Johnson et al., 2005). O funcionamento do solo como fonte ou como dreno de GEE está relacionado ao acúmulo ou degradação da matéria orgânica do solo (MOS). As mudanças na dinâmica da MOS são decorrentes do desmatamento e queimadas da vegetação natural e da transição para o cultivo do solo (Six et al., 2002), e o aumento das emissões de GEE da biosfera para a atmosfera causam a elevação da temperatura média intensificando as mudanças climáticas globais (Bernoux et al., 2001).

## **2. EMISSÕES DO METANO (CH<sub>4</sub>) NO BRASIL**

A fórmula molecular do metano é CH<sub>4</sub>. Não tem cor e odor e é pouco solúvel em água. Além de contribuir para o aquecimento global, também retém mais radiação do que o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), que pode ter efeitos diretos nos seres humanos, quando inalado. Outra característica interessante é que esse gás é altamente inflamável, por isso pode ser usado como fonte de energia. O metano está disseminado na natureza, mas estima-se que 60% dele seja emitido por atividades humanas. As principais fontes são: decomposição de matéria orgânica gerada pelo homem (resíduos de alimentos, resíduos industriais, esgoto, produção de proteína animal e resíduos de alimentos processados). O gás metano (CH<sub>4</sub>) também é emitido para a atmosfera por meio de fatores naturais, como: metabolismo bacteriano, erupções vulcânicas e digestão por herbívoros selvagens. Grande parte do metano emitido para a atmosfera é resultado de processos digestivos em animais como bovinos, caprinos, ovinos e búfalos. Portanto, as

concentrações crescentes de metano ( $\text{CH}_4$ ), são de particular preocupação devido aos efeitos do metano no clima e na química atmosférica.

Dentre os gases do efeito estufa, o metano ( $\text{CH}_4$ ) é o que apresenta o maior potencial para retenção de calor, 25 vezes maior que o dióxido de carbono  $\text{CO}_2$ , o destaque se deve à quantidade emitida e à atividade desempenhada na absorção radioativa (Oliveira & Igarasi, 2013). Além disso, o metano ( $\text{CH}_4$ ) também minimiza o ataque de átomos de cloro ao ozônio, reagindo com o cloro e formando ácido clorídrico, o qual atua como reservatório inerte de cloro (Milich, 1999). O autor completa que, a reação-chave do metano ( $\text{CH}_4$ ) na atmosfera inclui sua oxidação com radicais hidroxilas, formando água.

A produção de metano ( $\text{CH}_4$ ) é influenciada por fatores intrínsecos dos solos (Neue et al., 1994; Sass et al., 1994; Setyanto et al., 2002) e de clima (Schütz et al., 1990), além de fatores relacionados aos sistemas de manejo do solo, irrigação e disponibilidade de C (Schütz et al., 1991; Wassmann et al., 2000; Costa, 2005). Nem todo o metano produzido na camada reduzida do solo atinge a atmosfera, parte é transferida para o subsolo e parte é oxidada pelas bactérias metanotróficas aeróbicas presentes junto à camada oxidada do solo submerso e na rizosfera das plantas de arroz, onde existe oxigênio obtido pelo transporte de ar ao solo através da planta de arroz (Ruschel, 1992). A taxa de emissão de metano é altamente sensível ao manejo da água. Drenagens periódicas resultam em decréscimos na emissão de metano e podem representar o método mais eficiente para minimizar a emissão do gás (Sass et al., 1992; Yagi et al., 1996; Sass, 1999).

Segundo Primavesi et al. (2004b), a produção de metano ( $\text{CH}_4$ ) é parte do processo digestivo dos herbívoros ruminantes e ocorre no rúmen. A fermentação que ocorre durante o metabolismo dos carboidratos do material vegetal ingerido é um processo anaeróbio efetuado pela população microbiana ruminal, que converte os carboidratos celulósicos em ácidos graxos de cadeia curta, principalmente ácidos acético, propiônico e butírico. Nesse processo digestivo, parte do carbono é concomitantemente transformada também em  $\text{CO}_2$ . A produção de  $\text{CH}_4$  ocorre devido à atividade de organismos metanogênicos *Euryarchaeota* (Garrity et al., 2007), que, em condições restritas de oxigenação, reduzem compostos orgânicos, utilizando o C como aceptor de elétrons.

O fluxo de  $\text{CH}_4$  entre o solo e a atmosfera é influenciado pela disponibilidade de N no sistema. Solos onde foi aplicado N na forma de fertilizante, observou-se menor consumo de metano ( $\text{CH}_4$ ), a relação entre fertilizantes nitrogenados e reduções no consumo de  $\text{CH}_4$  ainda não está totalmente explicada, porém, pode se dar devido à inibição da atividade microbiana induzida pelo N para oxidar o metano (Mosier et al., 2004), assim como um aumento na

atividade microbiana, que consome  $O_2$  e leva à formação temporária de microporos com baixa difusão de gás (Tiedje et al., 1984; Huang et al., 2004; Müller et al., 2004).

Emissões relevantes de metano ( $CH_4$ ) são observadas em solos cultivados com arroz irrigado por inundação. Nesse ambiente, a produção de metano ( $CH_4$ ) está associada à decomposição microbiana de materiais orgânicos sob condições anaeróbicas (Le Mer; Roger, 2001).

Os dados do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG), atualizados em junho de 2022 (figura 1), mostram que no Brasil, numa média entre o período de 2013-2020, as emissões do setor de Agropecuária foi de 14,4 milhões de toneladas, 73,7% do total para o período. O setor Resíduos foi responsável pela emissão de 2,9 milhões de toneladas, a maior parte está associada à disposição em aterros sanitários. As Mudanças no Uso da Terra foram responsáveis pela emissão de 1,5 milhões de toneladas. As emissões do setor de Energia são provenientes da queima de combustíveis em atividades como transportes, indústria e geração de eletricidade, além das chamadas emissões fugitivas, causadas pelo escape de gases de efeito estufa durante a produção de combustíveis, como a fuga de metano na exploração de petróleo e gás natural, esse setor emitiu 675,2 mil toneladas, o menor valor desse setor, sem levar em consideração o setor de Processos Industriais que emitiu 43,3 mil toneladas.

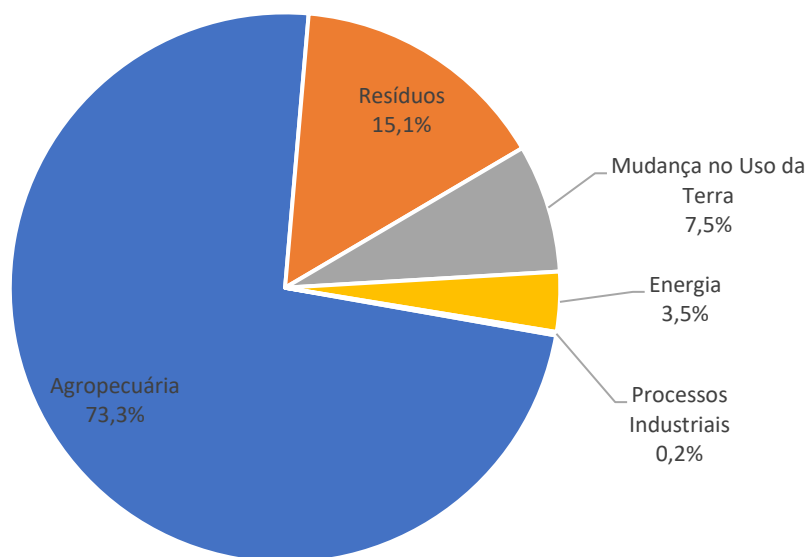


Figura 1. Média dos setores de emissões brasileiras no período de 2013-2020.

Fonte: SEEG, 2021.

O setor Agropecuária (figura 2), dentre os setores de emissão do metano (CH<sub>4</sub>), mostra que nos subsetores, o que mais se destacou foi o subsetor fermentação entérica. Nesse processo, a produção do metano ocorre durante o processo digestivo dos ruminantes, e as bactérias metanogênicas que vivem no estômago (rúmen e retículo) obtêm a energia necessária para crescer e formar CH<sub>4</sub> que é exalado ou ejetado na atmosfera (Pedreira & Primavesi, 2006). O segundo maior emissor de CH<sub>4</sub> está concentrado no manejo de dejetos animais, onde as bactérias metanogênicas produzem quantidades consideráveis de metano decorrente do material orgânico de dejetos animais que são expostos em decomposição sob condições anaeróbias. E em terceiro lugar, o cultivo de arroz, principalmente sob sistema de irrigação por inundação, é uma importante fonte de emissão de CH<sub>4</sub> devido as condições de anaerobiose.

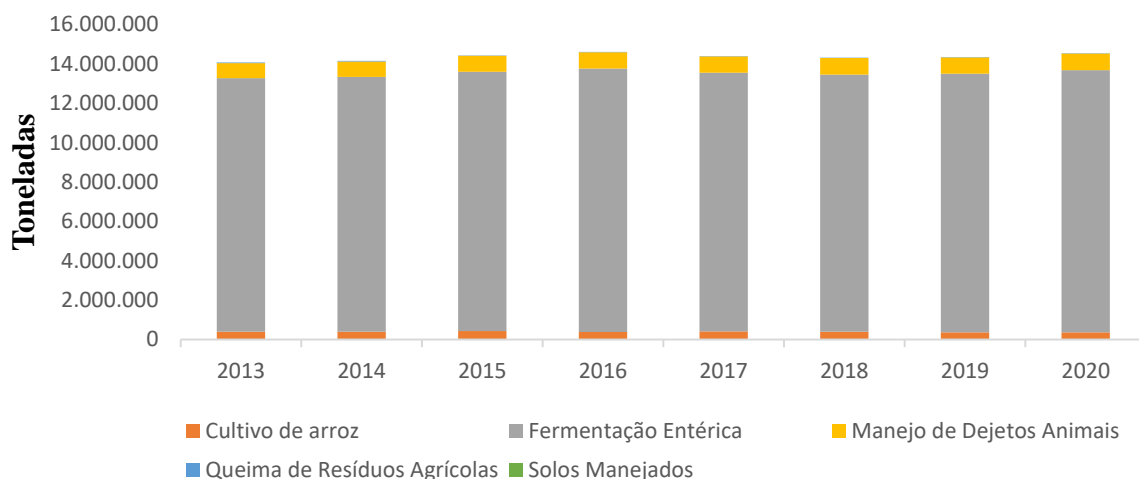


Figura 2. Participação dos subsetores no perfil das emissões brasileiras no período de 2013-2020. Fonte: SEEG, 2021.

### 3. METODOLOGIA

Os aspectos metodológicos adotados neste trabalho envolvem uma pesquisa exploratória com publicações sobre emissões de metano nos solos do Brasil. Para fazer uma melhor análise dos trabalhos disponíveis, foram considerados estudos recentes, publicados de 2013 até 2022. O uso de gráficos, tabelas, afiliações, nome de autores e ano dos trabalhos foram utilizados para tornar mais fácil o entendimento.

A realização da pesquisa foi feita usando as bases de dados ‘Scopus’ e ‘Pesquisa Agropecuária Brasileira (PAB)’. Para a seleção dos artigos retornados em cada busca, foram considerados apenas aqueles que possuíam as palavras “methane” AND “Brazil” AND “Soil” no título, resumo ou palavras-chave. Os artigos que não atendiam os critérios citados anteriormente, foram desconsiderados.

Na indexação dos termos, na base de dados Scopus, foram adotados os campos “título”, “resumos” e “palavra-chave” que gerou 141 resultados, na base PAB optou-se por utilizar a busca em “todos os campos de pesquisa” que gerou 523 resultados. Dessa forma, na base da PAB foi possível selecionar artigos escritos em inglês e português.

Após a busca e a seleção dos artigos, foi realizado um levantamento de quantos trabalhos foram publicados sobre o tema e quais as revistas utilizadas para essas publicações. Além disso, no caso da base PAB foi possível compreender as publicações realizadas pelas diferentes unidades da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). Após a seleção, foram obtidos 103 artigos publicados (Figura 3). Abordando diferentes estudos e metodologias para análise da emissão do metano ( $\text{CH}_4$ ) e como esse gás age nos solos do Brasil, sendo o componente principal do gás natural, que é produzido por plantio de arroz inundado, bactérias no aparelho digestivo dos animais, mineração, aterros sanitários e queima de biomassa.



Figura 3. Esquema mostrando os procedimentos utilizados para selecionar os artigos nos diferentes dados.

As pesquisas com avaliações de CH<sub>4</sub> no solo do Brasil foram intensificadas a partir de 2016, com maiores estudos a partir de 2020 (Figura 4). Sendo o gás de efeito estufa e um dos maiores poluentes do ar, que abordaram a relevância dos estudos realizados por meio de técnicas de câmara estática nas coberturas de solo na Caatinga e pastagem, onde percebeu-se, de uma maneira geral, que os fluxos de metano parecem ser mais influenciados pelas condições edafoclimáticas (Ramos et al., 2014). Nos estudos que abordaram o plantio de arroz, no caso do irrigado, o entendimento dos diversos fatores responsáveis pela emissão de CH<sub>4</sub> e seu consumo, contribuiu para elaboração de regimes alternativos de irrigação que reduziram significativamente as taxas de efluxo e as emissões sazonais de CH<sub>4</sub> em relação às inundações contínuas. Embora os ciclos de inundação e seca tenham aumentado significativamente as emissões de N<sub>2</sub>O, seu efeito sobre o CH<sub>4</sub> foi muito mais acentuado e resultou em reduções significativas no potencial de aquecimento global parcial (pGWP) (Zschornack et al., 2016).

De acordo com estudos de biogás em camada de cobertura do solo, as emissões fugitivas de biogás podem representar parcela significativa do fluxo de gases em aterros sanitários, inviabilizar o aproveitamento energético do metano (CH<sub>4</sub>), além de oferecer riscos à saúde ambiental das comunidades circunvizinhas ao empreendimento (Moreira et al., 2020). No que tange as áreas de pastagem, o uso de áreas atualmente degradadas reduz a pressão sobre novos desmatamentos, principalmente na Amazônia, contribuindo para a realização de pesquisas e geração de dados de emissões sendo imprescindível para validar as tecnologias de mitigação de gases (Nogueira et al. 2015). O potencial de redução e neutralização dos gases de efeito estufa



é um dos benefícios do uso do sistema integrado lavoura-pecuária. Essas medidas reduzem as emissões líquidas de gases de efeito estufa por quilo de carcaça produzida, o que contribui positivamente para o papel do setor agrícola nas mudanças climáticas (Santos et al. 2021).

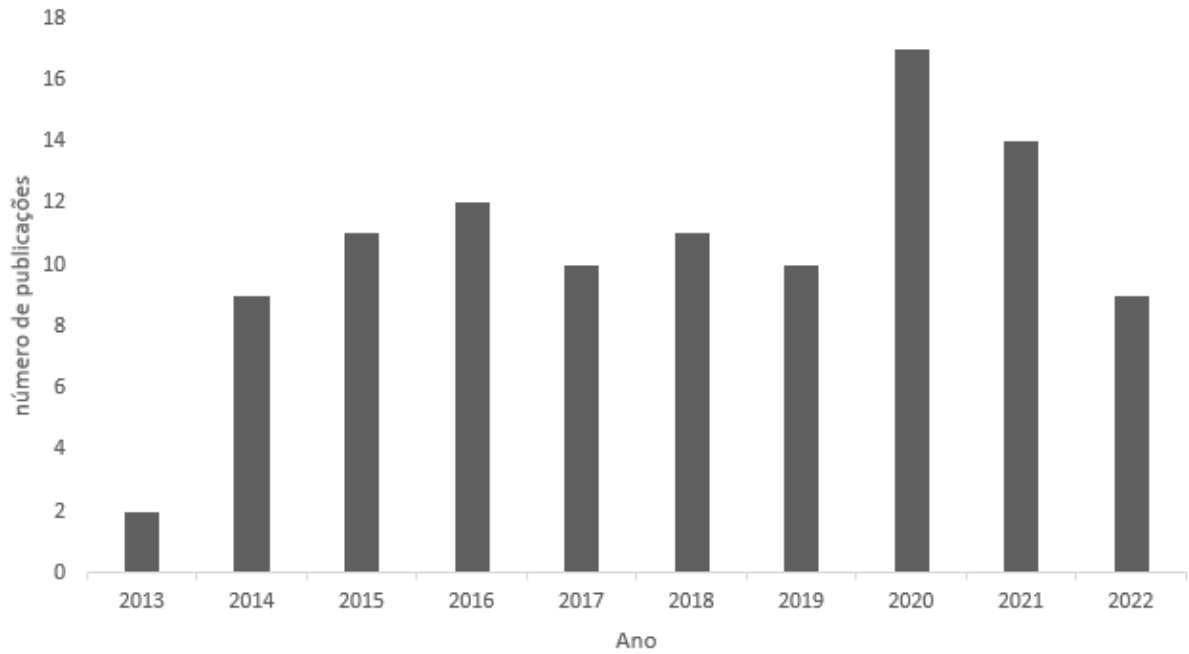


Figura 4. Número de artigos publicados sobre emissões de CH<sub>4</sub> nos solos do Brasil.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dos 63 trabalhos obtidos nas bases de dados Scopus, compreendendo o período de 2013-2022, 40 deles apresentaram relação com o setor Agropecuária, 7 com o setor Resíduos, 9 com o setor Mudança de Uso da Terra e Florestas, 5 com o setor Energia e 2 com o setor Processos Industriais.

Tabela 1. Relação de variáveis associadas às emissões de CH<sub>4</sub> no solo do Brasil.

Fatores associados às emissões de CH <sub>4</sub> no solo	
Agropecuária	Signor et al. (2014), Rachwal et al. (2014), Mazzetto et al. (2014), Piva et al. (2014), Costa Junior et al. (2015), Paredes et al. (2015), Bayer et al. (2015), Godoi et al. (2016), Sawakuchi et al. (2016), Ribeiro et al. (2016), Nóbrega et al. (2016), Camargo et al. (2017), Bento et al. (2017), Douglas Adams et al. (2017), Moraes et al. (2017), Cardoso et al. (2017), Piva de Lima et al. (2018), Zschornack et al. (2018), Cuer et al. (2018), Moscôso, et al. (2018), Hernández et al. (2019), Cardoso et al. (2019), Veloso et al. (2019), Cabral et al. (2020), Resende et al. (2020), Bretas et al. (2020), Gabriel et al. (2020), Ribeiro et al. (2020), Grassmann et al. (2020), Geremias et al. (2020), Maboni et al. (2021), Cezimbra et al. (2021), Maciel et al. (2021), Santos et al. (2021), Veçozzi et al. (2022), Machado et al. (2022), Amadori et al. (2022), Taniwaki et al. (2022), Fonseca de Souza et al. (2022), Silva et al. (2022).
Resíduos	Albanez et al. (2016), Borba et al. (2018), Kern et al. (2018), Damasceno et al. (2019), Teramoto et al. (2020), Moreira et al. (2020), Schirmer et al. (2022).
Mudança de Uso da Terra e Florestas	Potter et al. (2014), Pangala et al. (2017), Meurer et al. (2017), Schaldach et al. (2017), Furlanetto et al. (2018), Meyer et al. (2020), Moreira et al. (2020), Gontijo et al. (2021), Kroeger et al. (2021).
Energia	Lessa et al. (2016), Santos et al. (2016), Santos et al. (2019), Popin et al. (2020), Silva et al. (2020).
Processos Industriais	Janardanan et al. (2020), Mombrini et al. (2022).

Fonte: do autor, 2022.

Dos 42 trabalhos obtidos nas bases de dados PAB, compreendendo o período de 2013-2022, 31 deles apresentaram relação com o setor Agropecuária, 2 com o setor Resíduos, 6 com o setor Mudança de Uso da Terra e Florestas, 2 com o setor Energia, e no setor Processos Industriais não foi registrado nenhum trabalho.

Tabela 2. Relação de variáveis associadas às emissões de CH<sub>4</sub> no solo do Brasil.

Fatores associados às emissões de CH <sub>4</sub> no solo	
Agropecuária	Bayer et al. (2013), Berndt et al. (2013), Rachwal et al. (2014), Lima et al. (2014), Ramos et al. (2014), Nobrega et al. (2015), Oliveira et al. (2015), Pontes et al. (2015), Pereira et al. (2015), Batista et al. (2015), Genro et al. (2015), Zschornack et al. (2016), Medeiros et al. (2016), Peres et al. (2016), Faria et al. (2016), Frota et al. (2017), Santos et al. (2018), Guevara et al. (2018), Freitas et al. (2019), Bergier et al. (2019), Lima et al. (2019), Granja-Salcedo et al. (2019), Silva et al. (2020), Méo Filho et al. (2020), Maboni et al. (2021), Scivittaro et al. (2021), Silveira et al. (2021), Guimaraes Junior et al. (2021), Moura et al. (2021), Congio et al. (2021), Pontes et al. (2021), Tedeschi et al. (2022).
Resíduos	Zanoni et al. (2015), Giacomini et al. (2017).
Mudança de Uso da Terra e Florestas	Nogueira et al. (2015), Buss et al. (2016), Scivittaro et al. (2018), Furtado Neto et al. (2019), Andre et al. (2020), Oliveira et al. (2021).
Energia	Kemenes et al. (2016), Silveira et al. (2018).

Fonte: do autor, 2022.

#### 4.1. Publicações das principais revistas sobre emissões de metano do solo no Brasil no período 2013-2022

Na figura 5 são apresentadas as revistas científicas nas quais os trabalhos sobre emissões de metano do solo no Brasil foram publicados no período 2013-2022. Verifica-se que das nove revistas mais utilizadas, duas são brasileiras. A revista mais utilizada nas publicações foi a *Science of the Total Environment*. A *Revista Brasileira de Ciência do Solo* é a revista brasileira mais utilizada nas publicações de emissão de metano no Brasil. As publicações ocorrem em revistas focadas em questões ambientais, de ciência do solo e agronômicas. De maneira geral, nota-se que as publicações sobre metano do solo no Brasil são publicadas em revistas com alto fator de impacto. Isso demonstra que a qualidade da informação passou pelo crivo de pesquisadores anônimos especialistas no tema. Portanto, os dados sobre emissão desse gás no Brasil podem ser utilizados para diferentes finalidades como na geração de relatórios e orientação de políticas públicas sobre esse assunto.

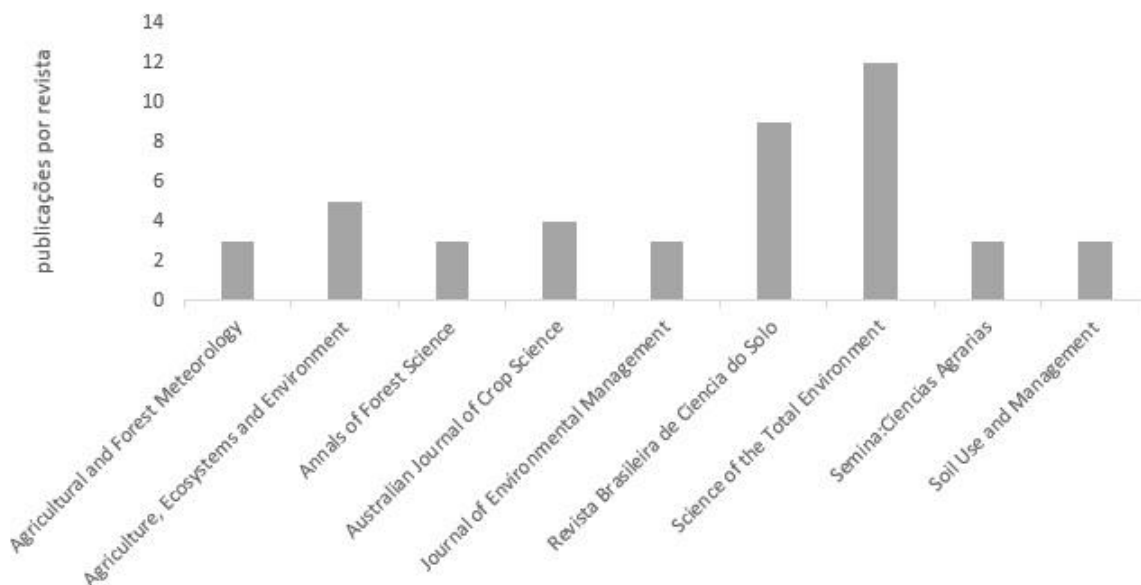


Figura 5. As nove revistas científicas que mais publicaram trabalhos sobre emissões de metano do solo no Brasil foram publicados no período 2013-2022.

#### 4.2. Trabalhos publicados, por unidade da Embrapa, sobre emissões de metano do solo no Brasil no período 2013-2022

Das publicações que envolvem as emissões de metano ( $\text{CH}_4$ ) no Brasil pelas unidades da Embrapa (tabela 3), são apresentadas apenas as unidades que aparecem na base da PAB no período de 2013-2022. Verifica-se que a Embrapa Clima Temperado foi a unidade que mais publicou trabalhos sobre o tema, totalizando 8 trabalhos. O foco desta unidade é desenvolver tecnologias para os agroecossistemas do Sul do Brasil e pesquisar alternativas para uma região de clima bem característico, destacando o segmento plantio de arroz, que é um dos subsetores da agropecuária que mais emite metano ( $\text{CH}_4$ ). Esta unidade está localizada em Pelotas no Rio Grande do Sul. A Embrapa Meio Ambiente teve 6 publicações, todos os trabalhos publicados tiveram como foco o cultivo de arroz inundado e das seis publicações, uma foi sobre as emissões de metano entérico de bovinos em pastejo. A Embrapa Pecuária Sul, realiza pesquisas em bovinos de corte e leite, ovinos e forrageiros em Campos Sul Brasileiros, incluindo os estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná, em suas publicações, 4 foram voltadas para a pastagem. Na Embrapa Gado de Leite foi criado um departamento de pesquisa de produtos para fornecer soluções para o desenvolvimento sustentável do agronegócio do leite, com foco na cadeia produtiva, esta unidade teve 3 publicações relacionados a emissão de metano entérico e produção de vaca leiteira em sistema integrado. A unidade Embrapa Amazônia Oriental, teve 3 publicações, com foco no sistema agroflorestais e sistema integração pecuária-floresta. A

Embrapa Meio-Norte, foram 2 publicações, um voltado para o sistema silvipastoril na Amazônia e outro para os reservatórios hidrelétricos. A Embrapa Pecuária Sudeste está localizada na cidade de São Carlos no estado de São Paulo e apresenta forte atuação no diagnóstico das emissões de GEE pelas atividades agropecuárias, em suas 2 publicações, a unidade teve como foco estratégias e mitigação de metano entérico. A Embrapa Cerrados, teve 2 publicações que envolve a emissão do metano (CH<sub>4</sub>), esta unidade tem forte atuação em atividades de pesquisa e desenvolvimento que busca ampliar o conhecimento, a preservação e a utilização racional dos recursos naturais do Bioma Cerrado, além de desenvolver sistemas de produção sustentáveis em equilíbrio com a oferta ambiental da região, e as 2 publicações, teve como título: Fluxos de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O de florestas plantadas e ecossistemas nativos do Cerrado no Brasil; e a Variabilidade das emissões de óxido nitroso e metano de solos sob Florestas de eucalipto no Cerrado.

Tabela 3. Unidades da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) que publicaram sobre emissão de metano do solo no Brasil.

Unidades da Embrapa e publicações	
Embrapa Clima Temperado	Bayer et al. (2013), Buss et al. (2016), Giacomini et al. (2017), Silveira et al. (2018), Scivitaro et al. (2018), Guevara et al. (2018), Silva et al. (2020), Maboni et al. (2021).
Embrapa Meio Ambiente	Batista et al. (2015), Demarchi et al. (2016), Perez et al. (2016), Vieira et al. (2018), Lima et al. (2018), Lima et al. (2019).
Embrapa Pecuária Sul	Prates et al. (2014), Genro et al. (2015), Pontes et al. (2021)
Embrapa Gado de Leite	Pereira et al. (2015), Guimarães Júnior et al. (2021), Moura et al. (2021).
Embrapa Amazônia Oriental	Ramos et al. (2014), Neto et al. (2019), Silva et al. (2021)
Embrapa Florestas	Lima et al. (2018), Lima et al. (2019).
Embrapa Meio-Norte	Kemenes et al. (2016), Frota et al. (2017).
Embrapa Pecuária Sudeste	Berndt et al. (2013), Congio et al. (2021).
Embrapa Cerrados	Oliveira et al. (2019), Oliveira et al. (2021).

Fonte: do autor, 2022.

## **5. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Ao término da pesquisa foi perceptível que o número de trabalhos publicados referente ao segundo gás mais poluente, dentre os gases de efeito estufa, ainda é muito baixo. Apesar disso, os trabalhos sobre esse tema são publicados em revistas de alto fator de impacto nas áreas ambientais, solos e agronomia. A partir dos dados das unidades da Embrapa que mais publicam artigos sobre o tema, conclui-se que as pesquisas sobre emissão de metano do solo ainda estão centralizadas nas regiões centro-sul do Brasil, onde estão os centros de pesquisa da Embrapa focados na produção animal e na cultura do arroz inundado, que são as principais atividades geradoras desse gás no Brasil. Portanto, no Brasil, as pesquisas precisam abranger um maior número de microrregiões geográficas para que se tenha um melhor levantamento dos fatores de emissão de metano do solo.

## 6. REFERÊNCIAS

Bernoux, M, Carvalho MC, Volkoff B, & Cerri CC. CO<sub>2</sub> emission from mineral soils following land-cover change in Brazil. *Global Chang. Biol.*, 7:779-787, 2001.

Brasil. Ministério de Ciência Tecnologia e Inovação -MCTI. Estimativas anuais de Emissões de gases de efeito estufa no Brasil, 2. ed. Brasília, 2014. 168p. Disponível em: <<https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/estimativas-anuais-de-emissoes-gee/arquivos/6a-ed-estimativas-anuais.pdf>>. Acesso em: 25 set. 2022.

Cao M, Gregson K, Marshall S. Global methane emission from wetlands and its sensitivity to climate change. *Atmospheric Environment, Oxford*, v.32, n.19, p.3293-3299, 1998.

Costa FS. Estoques de carbono orgânico e efluxos de dióxido de carbono e metano de solos em preparo convencional e plantio direto no subtropical brasileiro. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005. 128p. (Tese de Doutorado).

Dirceu A, Fleck NG, Rizzardi MA, Junior AAB. Potencial de emissão de metano em lavouras de arroz irrigado. Methane emissions potential in flooded rice Fields. *Ciência Rural*, 2002 - SciELO Brasil.

Duxbury JM, Harper LA, Mosier AR. Contributions of agroecosystems to global climate change. In: Harper LA, Mosier AR, Duxbury JM. (Eds.). *Agricultural ecosystem effects on trace gases and global climate change*. Wisconsin: American Society of Agronomy, 1993. p.1-18. (ASA Special Publication, 55).

Embrapa, Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro, 2006.

Fao (Food and Agriculture Organization). Integrated approach to the planning and management of land resources. Third Draft of Task Manager's Report. FAO/AGL, 28, Rome, 1994.

Garrity GM, Lilburn TG, Cole JR, Harrison SH, Euzeby J & Tindall BJ. The Archaea, Phyla Crenarchaeota and Euryarchaeota. In: Garrity GM, Lilburn TG, Cole JR, Harrison SH, Euzeby

J & Tindall BJ, eds. Taxonomic Outline of the Bacteria and Archaea. Release 7.7. East Lansing, Michigan State University Board of Trustees, 2007.p.6-31.

Huang Y, Jiao Y, Zong LG, Zheng XH, Sass RL & Fisher FM. Quantitative dependence of methane emission on soil properties. *Nutr. Cycling Agroecosyst.*, 64:157-167, 2002.

Huang Y, Zou J, Zheng X, Wang Y & Xu X. Nitrous oxide emissions as influenced by amendment of plant residues with different C:N ratios. *Soil Biol. Biochem.*, 36:973-981, 2004.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate Change 2001: the scientific basis*. United Kingdom: Cambridge University Press, 2001. 881p.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate Change. Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University, 2007. P. 1-18.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate Change 2014: mitigation of climate change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY USA. 161p.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate Change 2020: 4 graphs to understand greenhouse gas emissions by country and by sector*. Climate Watch. World Resources Institutes, 2020.

Johnson JMF, Reicosky DC, Allmaras RR, Sauer TJ, Venterea RT, Dell CJ. Greenhouse gas contributions and mitigation potential of agriculture in the central USA. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v 83, n. 1, p. 73-94, 2005.

Lindau CW, Patrick JR WH, Delaune RD. Factors affecting methane production in flooded rice soils. In: Harper, L.A.; Mosier AR, Duxbury JM (Eds.). *Agricultural ecosystem effects on trace gases and global climate change*. Wisconsin: American Society of Agronomy, 1993a. p.157-165. (ASA Special Publication, 55).



Le Mer J, Roger P. Production, oxidation, emissions and consumption of methane by soils: a review. *European Journal of Soil Biology*, Paris, v. 37, n. 1, p. 25-50, 2001.

Milich L. The role of methane in global warming: Where might mitigation strategies be focused? *Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions*, Oxford, v.9, n.3, p.179-201, 1999.

Mosier A, Wassmann R, Verchot L, King J & Palm C. Methane and nitrogen oxide flux in tropical agricultural soils: Sources, sinks and mechanisms. *Environ. Develop. Sustain.*, 6:11-49. 2004.

Müller C, Stevens RJ, Laughlin RJ & Jäger HJ. Microbial processes and the site of N<sub>2</sub>O production in a temperate grassland soil. *Soil Biol. Biochem.*, 36:453-461, 2004.

Neue HU, Latin RS, Wassmann R, Aduna JB, Alberto CR & Andales MJF. Methane emission from rice soils of the Philippines. In: Minami K, Mosier A & Sass R, eds. *CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O: Global emissions and controls from rice fields and other agricultural and industrial sources*. Tokyo, Yokendo Publisher, 1994. p.55-63.

Oliveira, RC. Igarasi, MS. Utilização de óleos essenciais na mitigação da metanogênese. *PUBVET*, v.7, n.6, 2013.

Ossio DA, William RH, Mutters RG et al. Pool de metano e dinâmica de fluxo em um campo de arroz após a incorporação de palha. *Biologia e Bioquímica do solo Oxford*, v.31, n.9, p.1313-1322, 1999.

Paul EA, Clark FE. *Soil microbiology and biochemistry*. 2. ed. San Diego: Academic Press, 1996, 340p.

Pedreira, MS. Primavesi, O. Impacto da produção animal sobre o ambiente. In: Berchielli, TT.; Pires, AV. Oliveira, SG. (Eds). *Nutrição de Ruminantes*. 1 ed., p. 497-511, 2006.

Primavesi, O. Frighetto, RT. Pedreira, MS. Lima, MA. Berchielli, TT. Barbosa, PF. Metano entérico de bovinos leiteiros em condições tropicais brasileiras. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.39, n.3, p.277-283, 2004b.

Reicherdt JM, Reinert DJ & Braida JA. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. *Ciência e Ambiente*, v.27, p.29-48, 2003.

Ruschel AP. O efeito estufa e a cultura arrozeira. *Lavoura Arrozeira*, Porto Alegre, v.45, n.401, p.3-4, 1992.

Sass RL, Fischer YB, Turner FT et al. Methane emission from rice fields: the effect of flood water management. *Global Biogeochemical Cycles*, Washington, v.6, n.2, p.249-262, 1992.

Sass RL & Fischer FM. CH<sub>4</sub> emission from paddy fields in United States gulf coast area. In: Minami K, Mosier AR & Sass RL, eds. CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O: Global emissions and controls from rice fields and other agricultural and industrial sources. Tokyo, Yokendo Publishers, 1994. p.65-77.

Sass RL. Factors in the production, emission and mitigation of methane from rice fields. Pelotas [s. n.], 1999. (Palestra apresentada no 1º Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado e 23ª Reunião da Cultura do Arroz Irrigado. Não publicado).

Seeg-Brasil. Análise Das Emissões Brasileiras De Gases De Efeito Estufa E Suas Implicações Para As Metas De Clima Do Brasil 1970-2019. 2020. Disponível em: [http://energiaeambiente.org.br/wpcontent/uploads/2020/11/SEEG8\\_DOC\\_ANALITICO\\_SINTESE\\_1990-2019.pdf](http://energiaeambiente.org.br/wpcontent/uploads/2020/11/SEEG8_DOC_ANALITICO_SINTESE_1990-2019.pdf). Acesso em: 5 set. 2022.

SEEG - Sistema de Estimativa de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa, Observatório do Clima, acessado em 5 set. 2022 - <http://seeg.eco.br>.

Setyanto P, Rosenan AB, Makarim AK, Fauziah CI, Bidin A & Suharsih. Soil controlling factors of methane gas production from flooded rice fields in Pati District, Central Java. Indonesia. *J. Agric. Sci.*, 3:20-31, 2002.

Six J, Feller C, Deneff K, Ogle SM, Sá JCM & Albrecht A. Soil carbon matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils: Effects of no-tillage. *Agronomie*, 22:755-775, 2002.

Schütz, H, Seiler W & Conrad R. Influence of soil temperature on methane emission from rice paddy fields. *Biogeochemistry*, 11:77-95, 1990.

Schütz H, Schröder P & Rennenberg R. Role of plants in regulating the methane flux to the atmosphere. In: Sharkey TD, Holland EA, Mooney HA, eds. Trace gas emissions by plants. New York, Academic Press, 1991. p.29-63.

Streck EV, Kämpf N, Dalmolin RSD, Klamt E, Nascimento PC, Schneider P, Giasson E, Pinto LFS. Solos do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Emater/RS; UFRGS, 2008.

Tiedje JM, Sexstone AJ, Parkin TB, Revsbech NP & Shelton DR. Anaerobic processes in soil. *Plant Soil*, 76:197-212, 1984.

Wassmann R, Neue HU, Lantin RS, Buendia LV & Rennenberg H. Characterization of methane emissions from rice fields in Asia. I. Comparison among field sites in five countries. *Nutr. Cycling Agroecosyst.*, 58:1-12, 2000.

Wuebbles DJ & Hayhoe K. Atmospheric methane and global change. *Earth-Sci. Rev.*, 57:177-210, 2002.

Yagi K, Tsuruta KK, Minami K. Automated monitoring of methane emission from a rice paddy field: the effect of water management. *Global Biogeochemical Cycles*, Washington, v.10, n.2, p.255-267, 1996.