

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

FERNANDA PELENTIER

**QUANTIFICAÇÃO DAS EMISSÕES DE METANO DE DIFERENTES
FERTILIZANTES NITROGENADOS APLICADOS NO SOLO**

FRANCISCO BELTRÃO

2025

FERNANDA PELENTIER

**QUANTIFICAÇÃO DAS EMISSÕES DE METANO DE DIFERENTES
FERTILIZANTES NITROGENADOS APLICADOS NO SOLO**

**QUANTIFICATION OF METHANE EMISSIONS FROM DIFFERENT
NITROGEN FERTILIZERS APPLIED TO THE SOIL**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Dr. Jonatas Thiago Piva.

FRANCISCO BELTRÃO

2025



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

FERNANDA PELENTIER

**QUANTIFICAÇÃO DAS EMISSÕES DE METANO DE DIFERENTES
FERTILIZANTES NITROGENADOS APLICADOS NO SOLO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 18/fevereiro/2025

Dr. Jonas Thiago Piva
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - FB

Me^a. Maria Ellem Alves Bezerra
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – PB

Dr^a. Denise Andreia Szymczak
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - FB

FRANCISCO BELTRÃO

2025

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e sua corte celestial, pela força, sabedoria e bênçãos concedidas ao longo dessa jornada. Sem sua graça e misericórdia, nada seria possível.

À minha família, mãe, irmãs, tio e meu esposo que embora enfrentassem seus próprios desafios, sempre estiveram ao meu lado, oferecendo apoio incondicional, paciência e encorajamento nos momentos mais desafiadores.

Aos amigos, colegas, professores e especialmente meu orientador que compartilhou conhecimento, ideias e momentos importantes durante este período de estudos.

E ao CNPq, a Yara Fertilizantes, ao Grupo de Pesquisa Fertilidade e Manejo do Solo, ao INCT-ABC e a UTFPR por me proporcionar um ambiente acadêmico rico em oportunidades.

A cada um de vocês, meu sincero muito obrigada.

RESUMO

O metano é um importante gás de efeito estufa e desempenha um papel significativo nas mudanças climáticas, cuja concentração na atmosfera tem aumentado devido à ação de fontes antropogênicas. A estabilização dos gases de efeito estufa, faz-se necessária para combater o problema da mudança climática global, pois as emissões de gases como o CH₄ têm efeitos negativos locais, regionais e globais sobre o meio ambiente, e os seres vivos. O objetivo deste trabalho foi avaliar a emissão de metano de diferentes fontes nitrogenadas aplicadas ao solo de áreas agrícolas e a mitigação do impacto ambiental. O experimento foi conduzido a campo, na área experimental da UTFPR, Campus Francisco Beltrão – PR. As emissões de CH₄, foram medidas usando o método de câmara estática, os gases foram analisados no laboratório de solos da UFRGS, – RS. Os resultados foram submetidos a teste estatístico quanto à normalidade e homocedasticidade das variâncias. Nas condições analisadas, o fluxo de CH₄, indicou uma maior absorção pelo solo, embora o Nitrato de Amônio (dose 100% e 70%) e a Uréia com inibidor de urease tenham apresentado um pico de emissão, o mesmo não passou de 10 µg C m⁻² h⁻¹, a emissão ocorreu nos primeiros dias, mesmo período que ocorreu níveis elevados de precipitação que favorecem menores taxas de oxidação do CH₄. Deste modo, houve emissão, porém, pouco significativa e apresentando maior tendência de absorção pelo solo, que atuou como dreno desse gás.

Palavras-chave: gases de efeito estufa; emissões; metanogênese; poluição do solo;

ABSTRACT

Methane is an important greenhouse gas and plays a significant role in climate change, whose concentration in the atmosphere has increased due to the action of anthropogenic sources. The stabilization of greenhouse gases is necessary to combat the problem of global climate change, as emissions of gases such as CH₄ have negative local, regional and global effects on the environment and living beings. The objective of this work was to evaluate the emission of methane from different nitrogen sources applied to the soil of agricultural areas and the mitigation of environmental impact. The experiment was conducted in the field, in the experimental area of UTFPR, Campus Francisco Beltrão – PR. CH₄ emissions were measured using the static chamber method, the gases were analyzed in the soil laboratory at UFRGS, – RS. The results were subjected to statistical testing regarding normality and homoscedasticity of variances. Under the conditions analyzed, the CH₄ flow indicated greater absorption by the soil, although Ammonium Nitrate (dose 100% and 70%) and Urea with urease inhibitor showed an emission peak, which did not exceed 10 µg. C m⁻² h⁻¹, the emission occurred in the first days, the same period in which there were high levels of precipitation that favor lower CH₄ oxidation rates. Therefore, there was an emission, however, of little significance and with a greater tendency for absorption by the soil, which acted as a drain for this gas.

Keywords: greenhouse gases; emissions; methanogenesis; soil pollution;

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Participação dos setores brasileiros em GEE 2021	18
Figura 2 - Croqui ilustrativo da área do experimento	22
Figura 3 - Conjunto de câmara e base estática fechada para coleta de GEE	23
Figura 4 - Câmara no momento da coleta com bateria acoplada	24
Figura 5 - Precipitação e temperatura média do ar durante o período de desenvolvimento da cultura 2023/2024	25
Figura 6 - Fluxo de CH ₄ em diferentes fontes de nitrogênio aplicados em cobertura na safra agrícola 2023/2024	27
Figura 7 - N-NH ₄ ⁺ (amônio) em diferentes fontes de nitrogênio aplicados em cobertura na safra agrícola 2023/2024	28
Figura 8- Porosidade preenchida por água (PPA%)	29
Figura 9 - Emissão acumulada de CH ₄ em diferentes fontes de nitrogênio aplicados em cobertura na safra agrícola 2023/2024	29

LISTA DE ABREVIATURAS E

CH ₄	Metano
CO ₂	Dióxido de carbono
N ₂ O	Óxido nitroso
GEE	Gás de Efeito Estufa
N	Nitrogênio
N ₂	Nitrogenio Gasoso
H ₂	Gás Hidrogênio
CH ₃ COO	Ácido acético
HCOOH	Ácido fórmico
CH ₃ OH	Álcool metílico
FN	Fertilizantes nitrogenados
HCL	Ácido clorídrico
C-CH ₄	Metano em forma de
carbono C	Carbono
NH ₄	Amônio
NBPT	Triamida N-(n-Butil) tiofosfórica
Cfa	Clima Subtropical úmido
IPCC.	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
ppm	Partes por milhão
rpm	Rotação por minuto
1M	Um mol
µg C m ⁻² h ⁻²	Migrogramas de carbono por metro quadrado por hora

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	14
2.1. Objetivo Geral	14
2.2. Objetivos Específicos	14
3 REVISÃO DE LITERATURA	15
3.1 Gases de efeito estufa	15
3.2 Metano	16
3.3 Adubação nitrogenada e emissão de metano	17
3.4 Variáveis edáficas e emissão de metano	18
3.5 Mitigação da emissão de metano	19
4 MATERIAL E MÉTODOS	21
4.1 Descrição do local	21
4.2 Tratamentos e Delineamento experimental	21
4.3 Avaliações	22
4.4 Análise estatísticas	26
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
6 CONCLUSÃO	31
REFERÊNCIAS	32

1 INTRODUÇÃO

As mudanças relacionadas ao clima têm gerado discussões com enfoque na temática ambiental, o que tem sido amplamente reconhecido nos últimos anos, dada a influência direta dos setores produtivos e na intensificação do processo de efeito estufa global (COSTA, 2018).

O efeito estufa é um fenômeno atmosférico natural e um dos fatores mais importantes para manter a temperatura na Terra, impedindo que parte do calor seja perdida para o espaço. É um processo essencial, pois sem o efeito estufa, a Terra não seria quente o suficiente para o desenvolvimento de vida no planeta (RICHTER et al., 2021). Contudo, ações antrópicas causam o excesso de gases, que por consequência são grandes responsáveis por provocar o aquecimento global.

Dentre os principais gases responsáveis pelo efeito estufa, destacam-se, dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) (PRIMAVESI et al., 2012). Gases que encontram-se naturalmente na atmosfera, mas não em quantidades perigosas, sendo que passam a ser nocivos, principalmente a partir das ações antrópicas.

Dentre os gases mais nocivos do efeito estufa encontra-se o CH₄, que é resultante de atividades agrícolas, gestão de resíduos, atividade microbiológica de forma anaeróbica, uso de energia e queima de biomassa (EPA, 2024). Tal gás, vem apresentando uma taxa de aumento a cada ano, de cerca de 0,9% na atmosfera (BERCHIELLI, 2012).

De acordo com dados do SEEG (2023), o uso do solo está entre as principais fontes de GEE que correspondem por 49% das emissões brutas de gases, o restante divide-se em agropecuária, energia, processos industriais e resíduos.

Dessa forma, a utilização de fertilizantes na agricultura mundial especialmente, os nitrogenados, é considerada um fator preponderante para a elevação das emissões de GEE (SOARES, 2016).

Uma das alternativas sugeridas para reduzir tais emissões nos sistemas de produção, passa pelo manejo dos fertilizantes nitrogenados (FN) aplicados ao solo (IPCC, 2014).

Diante do exposto é evidente a importância da realização de estudos visando à avaliação da magnitude das emissões de gases que contribuem para o aquecimento global e maneiras de minimizar seus efeitos.

2 OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Avaliar a emissão de metano sob diferentes fontes nitrogenadas aplicadas ao solo em área agrícola e a mitigação do impacto ambiental.

2.2. Objetivos Específicos

- Quantificar a emissão de metano que é liberada por diferentes fontes nitrogenadas (uréia comum, uréia com triamida N-(n-Butil) tiofosfórica (NBPT) e nitrato de amônio (doses de 100 e 70%));
- Avaliar a umidade e o N mineral no solo, que são variáveis que influenciam e correlacionam-se com as emissões de metano;
- Avaliar estratégias de manejo que diminuam o potencial de aquecimento global em sistemas de produção, através da escolha de fontes de nitrogênio menos propensas a emissão de metano.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Gases de efeito estufa

A atmosfera terrestre é naturalmente constituída por uma mistura de vários gases, em quantidades distintas, esses constituintes são conhecidos como gases de efeito estufa, esses gases recebem tal denominação por apresentarem propriedade de reter o calor, dentre estes destacam-se o CO₂, CH₄, N₂O (BRASIL, 1999), sendo que cada gás tem diferentes períodos de tempo de permanência na atmosfera, que variam de alguns anos a milhares de anos (EPA, 2024). Esses, são os que mais têm sido discutidos e estudados, devido as grandes emissões provenientes de causas antropogênicas e seus impactos significativos nas mudanças climáticas.

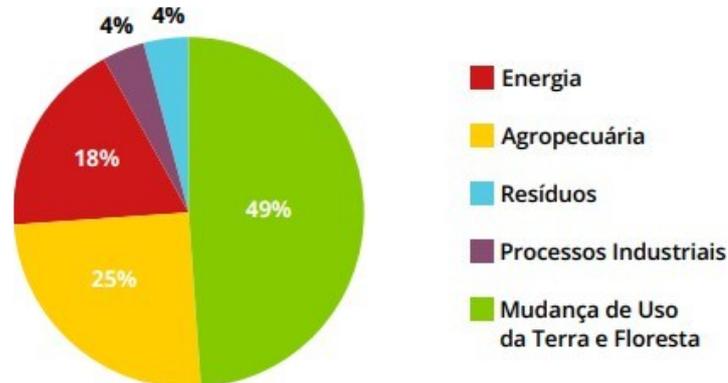
A principal fonte de CO₂ advinda de atividade humanas é o uso de combustíveis fósseis, mas também pode ser emitido devido a uso inadequado do solo, desmatamento, queimadas e degradação (RICHTER et al., 2021). Sua vida útil na atmosfera é de aproximadamente 1800 anos (EPA, 2024).

O CH₄ é liberado predominantemente devido a pecuária e a gestão de resíduos em condições anaeróbias, além do uso de energia e queima de biomassa que também contribuem para as emissões do gás, sua vida útil na atmosfera é de aproximadamente 12 anos (EPA, 2024).

Já as emissões de N₂O são através do uso de fertilizantes das atividades agrícolas, mas a combustão de combustíveis fósseis também gera N₂O, que depende do tipo de combustível e da tecnologia de combustão, além de outras atividades humanas que aumentam a quantidade de N₂O na atmosfera, sua vida útil na atmosfera é de aproximadamente 114 anos (EPA, 2024).

Segundo informações do SEEG (2023), a principal fonte de emissão de gases de efeito estufa do Brasil está relacionada à mudança do uso do solo, (por exemplo, se antes havia uma mata e ela foi convertida em pastagem, inicialmente, pode-se pensar que houve uma perda ambiental. No entanto, uma agropecuária bem conduzida pode atuar como dreno de gases da atmosfera e acumular carbono no solo. Isso significa que, se forem adotadas práticas sustentáveis, como manejo adequado do solo, rotação de pastagens e uso de técnicas que aumentem a matéria orgânica no solo, a agropecuária pode contribuir para a captura de carbono) que correspondem por 49% das emissões brutas de gases do país em 2021 (figura 1). Em seguida vêm a agropecuária com 25% e os outros 26% energia, processos industriais e resíduos.

Figura 1 - Participação dos setores brasileiros em GEE 2021



Fonte: SEEG (2023)

3.2 Metano

Em condições normais de temperatura e pressão, o metano é um gás incolor, inodoro e inflamável. Pode ser obtido a partir do gás natural, extraído de depósitos geológicos, tanto na forma associada (junto ao petróleo), como não associada (junto a pequenas quantidades de petróleo) (CETESB, 2020).

O CH₄ é o segundo mais abundante GEE (Gás de Efeito Estufa), derivados de ações antropogênicas, respondendo por cerca de 20% das emissões globais (UNECE, 2020).

A produção de CH₄ ocorre através da decomposição anaeróbia da matéria orgânica presente no solo, sendo esse processo realizado por bactérias metanogênicas, inicialmente a matéria orgânica é decomposta por processos aeróbios, em seguida, anaerobicamente por bactérias não-metanogênicas, resultando na formação de compostos mais simples como celulose, aminoácidos, açúcares e gorduras que depois são quebradas em pequena cadeia de compostos orgânicos (H₂, CO₂, CH₃COOH, HCOOH, CH₃OH) que formam os substratos para as bactérias metanogênicas (CARDOSO, 2001).

Segundo Lima et al. (2008) a dois grupos de bactérias metanogênicas que são responsáveis pela produção de CH₄ no solo, as que produzem CH₄ a partir da fermentação de ácido acético ou metanol e as que produzem CH₄ a partir da redução de CO₂.

Os microrganismos presentes no solo produzem CH₄ e a quantidade que flui para a atmosfera varia conforme o teor de água e temperatura, tais fatores têm

influência sobre as atividades dos microrganismos e das raízes, impactando diretamente a produção e o consumo desses gases (VEÇOZZI, 2015). O CH₄ possui um tempo de vida curto, se decompondo em dióxido de carbono de longa duração e água em cerca de 12 anos.

Em relação aos gases do efeito estufa na troposfera, ele ocupa o terceiro lugar em abundância, seguindo o vapor de água e o CO₂. Na verdade, a adição de CH₄ à atmosfera contribui de maneira muito mais efetiva para o efeito estufa do que a adição de uma mesma quantidade em massa ou número de moléculas de CO₂ (VIEIRA, 2008).

Assim como outros gases de efeito estufa, o CH₄ absorve radiação infravermelha da superfície terrestre e emite radiação infravermelha para o espaço em temperaturas atmosféricas mais baixas. Isso resulta no aprisionamento de radiação infravermelha na atmosfera, que é conhecido como efeito estufa (VIEIRA, 2008).

A permanência do CH₄ na atmosfera é muito menor que a do CO₂, mas o CH₄ é mais eficiente na captura de radiação (eficaz em reter calor) do que o CO₂. Analisado no período dos últimos 100 anos, o impacto do metano é 25 vezes maior do que o efeito do CO₂ (IPCC, 2007).

3.3 Adubação nitrogenada e emissão de metano

O Brasil encontra-se entre as potências mundiais produtoras de alimentos (EMBRAPA, 2022). E a agricultura é a base da sobrevivência humana, pois fornece alimentos, fibras e energia.

Porém o modelo agrícola é altamente dependente de insumos externos (adubos, defensivos) uma vez que o sistema perde sua fertilidade com o tempo, o que leva a necessidade da utilização de produtos para repor os nutrientes perdidos, e/ou mal aproveitados nos sistemas de produção, como o uso de FN.

O nitrogênio (N) geralmente é o nutriente exigido em maior quantidade pelas plantas, pois a absorção pelas mesmas incrementa seu crescimento vegetativo. No solo em condições atuais de uso e manejo, apresenta quantidade baixa, pois seus teores originam-se do ar e matéria orgânica. Além disso, o nitrogênio é um elemento que apresenta uma dinâmica complexa e de grande mobilidade no solo com diversas transformações e reações químicas e biológicas, que são passíveis de perdas (FURTINI NETO et al., 2001). E no processo de nitrificação que é uma das reações do N no solo, o nitrato (NO₃⁻) produto final da reação, pode ser perdido

através de lixiviação para as águas subterrâneas e para a atmosfera através do processo de desnitrificação (PIERZYNSKI et al., 2000).

A liberação de CH_4 no solo, depende dos processos de produção realizados pelos microorganismos metanogênicos e da oxidação pelas bactérias metanotróficas (ROSA, 2014). E a adubação nitrogenada em solos cultivados afeta a oxidação do CH_4 , isso ocorre devido ao NH_4^+ que é resultante da adubação com N, inibindo a oxidação do CH_4 do solo, essa inibição ocorre devido a competição do NH_4^+ com o CH_4 pela enzima mono-oxigenase (KRAVCHENCKO et al., 2002). Desse modo, quando os tratamentos de solo incluem N, eles acabam reduzindo a oxidação do CH_4 , então há mais CH_4 que permanece intacto e acaba indo para a atmosfera.

Os FN, podem elevar as emissões de CH_4 em função do favorecimento ao crescimento das plantas, pois leva à maior oferta de carbono (C) para as bactérias metanogênicas proporcionando maior transporte de CH_4 do solo para a atmosfera (LINQUIST et al., 2012). E considerando a dinâmica extremamente complexa do nitrogênio (N) no solo, suas perdas são impulsionadas pelo uso dos FN.

Segundo Veçozzi (2015), devido ao CH_4 possuir alto potencial de aquecimento global, são adotadas medidas para reduzir as emissões de gases através de práticas agrícolas, estas que representam um setor de grande emissão do gás, mas que também podem contribuir significativamente para a mitigação dos GEE.

3.4 Variáveis edáficas e emissão de metano

A emissão de CH_4 do solo é influenciada por vários fatores, dentre eles a temperatura, umidade e N mineral no solo.

As bactérias metanogênicas são mais ativas em temperaturas mais altas, pois a temperatura afeta a taxa de reações químicas, o que implica também nas reações bioquímicas que ocorrem dentro das bactérias metanogênicas. Já a umidade, tem influência, pois as bactérias metanogênicas, prosperam em ambiente úmido onde a presença de água nos poros do solo propiciam pouco ou nenhum oxigênio favorecendo assim a anaerobiose (SIQUEIRA NETO et al., 2011).

Os FN que são usados na agricultura para aumentar a produtividade das culturas, tem influência na capacidade do solo de oxidar o CH_4 . Através da nitrificação que é um processo em que o NH_4^+ é convertido em NO_3^- por bactérias nitrificantes, que ocorre sob condições aeróbias (BODELIER et al., 2004). Isso significa que haverá uma competição entre as bactérias nitrificantes e as metanotróficas, quanto mais

amônio estiver presente, mais oxigênio será consumido no processo de nitrificação, o que resulta em menor disponibilidade de oxigênio no solo, o que afetará a capacidade de oxidação do CH₄ (GUERRERO-CRUZ et al., 2021).

3.5 Mitigação da emissão de metano

Romanak et al. (2021), afirmam que de acordo com a Convenção - Quadro das Nações Unidas sobre Mudança Climática (UNFCCC), a estabilização dos gases de efeito estufa faz-se necessária para combater o problema da mudança climática global, pois as emissões de gases como o CH₄ tem efeitos negativos locais, regionais e globais sobre o meio ambiente e os seres vivos.

É fundamental aprimorar a eficiência no manejo dos sistemas agrícolas e demais setores, pois isso desempenha um papel crucial na mitigação das emissões de GEE para a atmosfera (DEFRIES et al., 2010).

De acordo com Fearnside (2001), os solos de florestas tropicais são em geral considerados sumidouros naturais para o metano e o desmatamento significa a eliminação deste sumidouro. Segundo Manzatto (2002), pesquisas realizadas demonstram que o manejo florestal e a transformação de florestas primárias em outros sistemas de uso do solo podem resultar em diferentes cenários quanto à variação estacional no fluxo de metano através do solo, que implica no equilíbrio climático e saúde dos ecossistemas. Além de que em estação chuvosa, há maior fluxo de metano e o solo perde sua capacidade de atuar como sumidouro do gás, tornando-se uma fonte emissão dele, enquanto que em estação seca predomina a oxidação do metano atmosférico.

De acordo com Piva (2012), os sistemas agrícolas também podem atuar como dreno dos GEE, devido sua ação direta no balanço líquido entre as emissões e as remoções de gases do solo, que tem maior ênfase principalmente nos sistemas integrados, pois a integração de diferentes sistemas produtivos permite maiores aportes de resíduos, desse modo mais C entra no solo, principalmente através das raízes. De tal modo, deve-se priorizar sistemas de produção que aumentem os estoques de C e N no solo, além de promover uma melhoria na qualidade física, química e biológica do mesmo.

Os inibidores da nitrificação também são grandes aliados à mitigação dos GEE, pois recobrem os FN, tendo como um dos objetivos controlar as perdas por lixiviação e as emissões de gases (EDMEADES, 2004).

Outro aliado durante o ciclo de desenvolvimento da cultura é a aeração do solo, promovida pelas raízes e pela atividade microbiana pode oxidar parte do CH_4 retido, convertendo o mesmo em outros compostos (DEEPANJAN et al., 1998), como em CO_2 , que é menos potente como gás de efeito estufa.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Descrição do local

O experimento foi conduzido a campo, durante o período de verão (safra), na área experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Francisco Beltrão – PR. Situada a uma Latitude 26° 05' 05,37" S, Longitude 53° 05' 27,64" O, e altitude média de 553 metros. O solo na área experimental é classificado como Latossolo Vermelho de textura muito argilosa (77 % de argila) (SANTOS et al., 2018). O clima é classificado como Cfa subtropical, de acordo com a classificação de Koppen, apresenta precipitação média anual de 2048 mm e temperatura média anual do ar de 19 °C.

4.2 Tratamentos e Delineamento experimental

Os tratamentos consistem de diferentes fontes de adubação nitrogenada: (i) testemunha, (sem adubação nitrogenada), (ii) uréia comum, (iii) uréia com inibidor de urease (NBPT), (iv) nitrato de amônio em dose 100% e (v) e nitrato de amônio com a dose de 70% do total (Figura 2).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com 4 repetições. As parcelas possuem dimensões 32m² (4m x 8m).

Foi aplicado a dose de nitrogênio em cobertura (superfície) de acordo com a análise do solo e a produtividade estimada, aproximadamente 12 toneladas para o milho, seguindo as recomendações do manual de adubação e calagem do Estado do Paraná.

A cultura foi semeada de forma mecanizada na área, sob sistema plantio direto e feitos os tratos culturais e acompanhamento do desenvolvimento conforme as recomendações técnicas para a região.

Figura 2. Croqui ilustrativo da área do experimento

estrada	Nitrato de Amônio NA 100%	NBPT	Testemunha	Ureia comum
	NBPT	Testemunha	Ureia comum	Nitrato de Amônio NA 70%
	Testemunha	Ureia comum	Nitrato de Amônio NA 70%	Nitrato de Amônio NA 100%
	Ureia comum	Nitrato de Amônio NA 70%	Nitrato de Amônio NA 100%	NBPT
8m	Nitrato de Amônio NA 70%	Nitrato de Amônio NA 100%	NBPT	Testemunha
	4m	B2	B3	B4

Fonte: A autoria própria (2024)

4.3 Avaliações

As emissões de CH₄ foram medidas usando o método de câmara estática (MOSIER, 1989; BAYER et al., 2016). E as amostragens de ar foram feitas para cada cultura até a colheita, os intervalos de coleta variaram de 2 a 3 dias durante as primeiras 3 semanas após a fertilização com N, 4 a 5 dias nas 3 semanas seguintes e de 7 dias até a colheita das culturas. Em cada data de amostragem, o ar foi coletado das 8h às 11h da manhã, quando os fluxos de GEE são considerados equivalentes aos fluxos médios diários (BAYER et al., 2016).

Cada parcela possui uma base para a vedação da câmara (onde foi adicionado água), feita de metal com 0,25 m de diâmetro, inserida a 0,05 m de profundidade no solo e mantido até o término do experimento (Figura 3). No momento da amostragem, uma câmara de 0,40 m de altura e 0,30 m de diâmetro com um sistema interno de monitoramento de temperatura e um ventilador operado por bateria é acoplada a base (Figura 4). As amostras de ar foram coletadas com seringas de 12 mL, nos tempos de 0, 15, 30 e 45 min após o fechamento da câmara.

O sistema de ventilação interno da câmara foi executado por 30s antes dos tempos de amostragem de 15, 30 e 45 min para homogeneizar o ar no interior. As amostras de ar coletadas foram transferidas para frascos de vidro (steiners) de 10 mL a vácuo e enviadas para análise no Laboratório de Biogeoquímica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

Figura 3 - Conjunto de câmara e base estática fechada para coleta de GEE



Fonte: Autoria própria (2024)

Figura 4 - Câmara no momento da coleta com bateria acoplada



Fonte: Autoria própria (2024)

Os gases foram analisados em um cromatógrafo de gás de efeito estufa Shimadzu (GC-2014) equipado com um detector de ionização de chama (250 °C) e um detector de captura de elétrons (ECD) operando a 325 °C e uma coluna PorapakQ mantida a 80 °C. N₂ a 25 mL min⁻¹ foi usado como gás de arraste e mistura P-5 (5% CH₄ em argônio) como gás de reposição. O cromatógrafo a gás foi calibrado usando quatro padrões abrangendo a faixa de concentração de 0,52-5,11 ppm para CH₄. O procedimento analítico foi verificado em relação a referências de gás certificadas.

As emissões de C-CH₄ no período foram calculadas pela integração trapezoidal dos fluxos diários para cada cultura (BAYER et al., 2016).

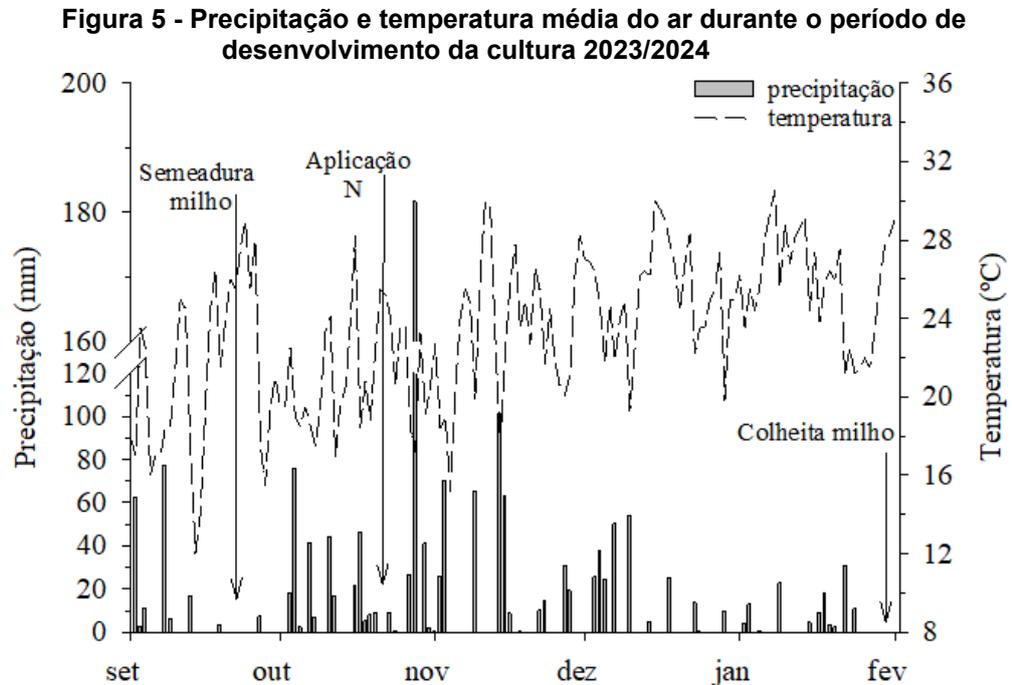
A cada momento de amostragem do ar, a temperatura do solo, umidade e teor de N-mineral foram avaliados, através da coleta de solo em cada parcela na camada 0-10 cm e a temperatura com o uso de termômetros.

As análises de umidade consistem no procedimento convencional de análise de teor de umidade, onde subtrai-se a massa úmida da massa seca (após estufa) e divide-se pelo massa seca (EMBRAPA, 1997).

A temperatura foi coletada por termômetro tipo espeto para as câmaras estáticas a cada coleta e de uma parcela do solo de cada bloco.

Para as análises de N-mineral, foi feita a destilação do NO_3^+ e NH_4^- , através do método Kjeldahl destilador de nitrogênio por arraste de vapores, para tanto pesou-se 10 g do solo coletado em erlenmeyer de 125 ml, adicionou-se 100 ml de solução de cloreto de potássio (KCl) 1M e ficou em agitação por 1 hora em mesa agitadora a 177 rpm, ao fim do tempo deixou-se em repouso por mais 1 hora, após retirou-se 30 ml do sobrenadante em tubo de destilação e fez-se a destilação, primeiro para o NH_4^- , adicionando-se 0,2 g de óxido de magnésio e feita a destilação, coletando aproximadamente 50 ml do condensado proveniente da destilação em erlenmeyer de 125 ml com 5 ml de solução indicadora de ácido bórico. Após isso, para o NO_3^+ no mesmo tubo digestor utilizado para o NH_4^- , adicionou-se 0,2 g de liga de devarda e procede com o mesmo processo de destilação, coletando o condensado proveniente da destilação em erlenmeyer de 125 ml com 5 ml de solução indicadora de ácido bórico e titulando com ácido sulfúrico $0,0025 \text{ ML}^{-1}$ (TEDESCO et al., 1995).

Dados de precipitação e temperatura do ar foram monitorados a partir de dados das estações meteorológicas localizadas na área experimental (Figura 5).



Fonte: e-Clima- Dados meteorológicos – UTFPR 2024

4.4 Análise estatística

Os dados foram analisados quanto à normalidade e homocedasticidade das variâncias usando o teste Bartlett e transformados conforme necessário. Após foram

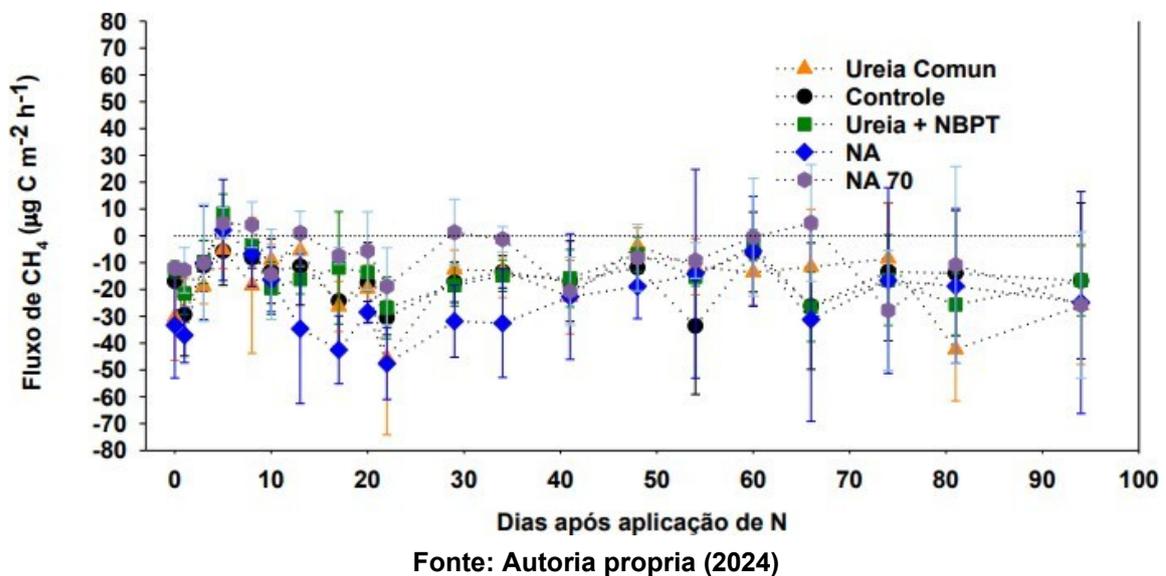
submetidos à análise da variância (ANOVA), quando observada diferença estatística, os tratamentos foram comparados pelo teste de Tukey com nível de probabilidade de erro de 5%, utilizando o software Sisvar.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A taxa de emissão de CH₄ foi quase nula durante todas as coletas, variando de 10 a -48 µg C m⁻² h⁻¹ (Figura 6). Os valores do presente estudo foram inferiores aos encontrados em outros trabalhos, os quais tiveram fluxos superiores, como por exemplo os observados em trabalho de Piva (2012) que variou de 66,99 a -44,73 µg C m⁻² h⁻¹, Gomes (2006) variando de 62 a -40 µg C m⁻² h⁻¹ e Zanatta (2010) onde foi observado fluxos de 32,5 a -30,1 µg C m⁻² h⁻¹, todos realizados na região Sul do Brasil.

As emissões de CH₄ tenderam a valores negativos indicando maior absorção pelo solo, exceto para Nitrato de Amônio (100% e 70%) e ureia + NBPT entre os dias 1 e 9, que apresentaram pequenas emissões não passando de 10 µg C m⁻² h⁻¹ (Figura 6). A elevação nas emissões coincidiu com alta precipitação (180 mm) após a aplicação de N (Figura 5), o que tende a reduzir a oxidação do CH₄ devido à restrição no transporte do gás nos poros do solo, evidenciado por fluxos mais altos durante períodos chuvosos (HÜSTCH, 1998).

Figura 6 - Fluxo de CH₄ em diferentes fontes de nitrogênio aplicados em cobertura na safra agrícola 2023/2024.



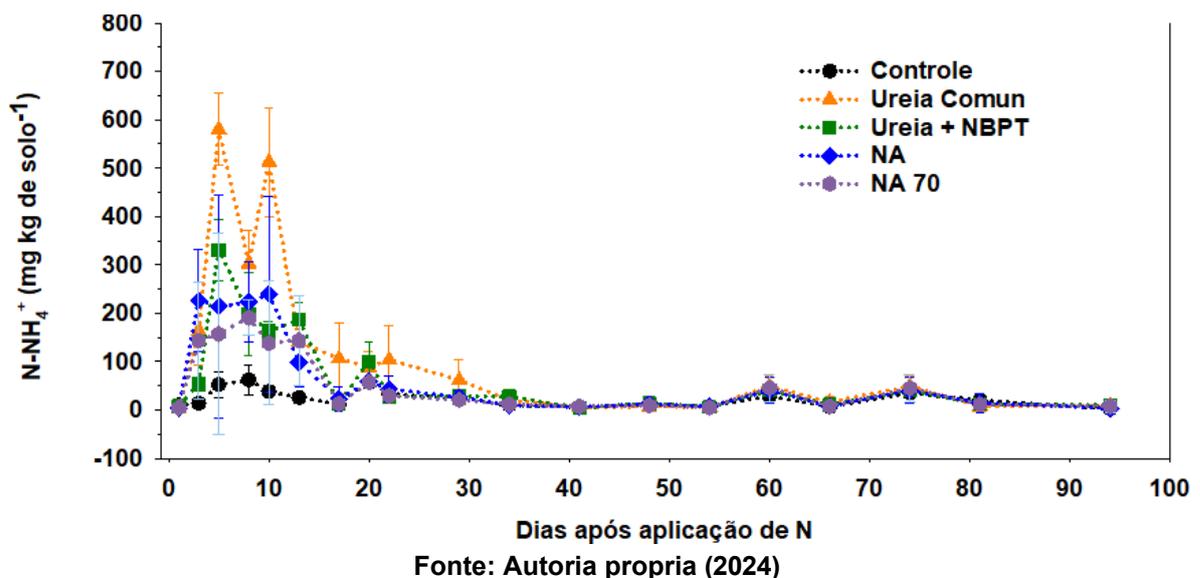
Já a uréia comum apresentou influxo em todo o ciclo, diferentemente dos resultados encontrados por Besen (2015), onde a uréia comum atingiu patamares de 64 µg C m⁻² h⁻¹ apresentando fluxo de CH₄. Os fluxos negativos evidenciam a ocorrência de metanotrofia, mesmo que em solo fertilizado com N mineral,

evidenciando que os solos agrícolas têm o potencial de atuar como dreno de CH_4 , por meio da oxidação de CH_4 em CO_2 .

Outro ponto a ser destacado, é que entres os dias 60 e 70, apenas o tratamento com Nitrato de Amônio 70% apresentou emissão de CH_4 (Figura 6), possivelmente devido à alta temperatura (30°C) (Figura 5), que aumenta a atividade das bactérias metanogênicas (SIQUEIRA NETO et al., 2011). No entanto, a emissão acumulada (Figura 9) de CH_4 não variou significativamente entre os tratamentos.

A maior concentração de NH_4^+ (Figura 7) ocorreu nos primeiros 10 dias após a aplicação de N, como observado nos estudo realizado por Zanatta (2010) que afirma que os teores de NH_4^+ no solo foram significativamente maiores na primeira semana de avaliação, porém os valores encontrados no trabalho de Zanatta (2010), não atingindo $40 \text{ mg kg}^{-1}\text{N}$ no solo, foram menores que os observados no presente estudo. Os valores de amônio nos tratamentos que receberam N foram superiores a $100 \text{ mg kg}^{-1}\text{N}$ no solo (Figura 7), fato que influencia as emissões de CH_4 , pois a nitrificação consome oxigênio, reduzindo a oxidação do CH_4 . Sendo que após a primeira semana de aplicação do N a produção de NH_4^+ diminui ficando próxima de zero até o final das avaliações.

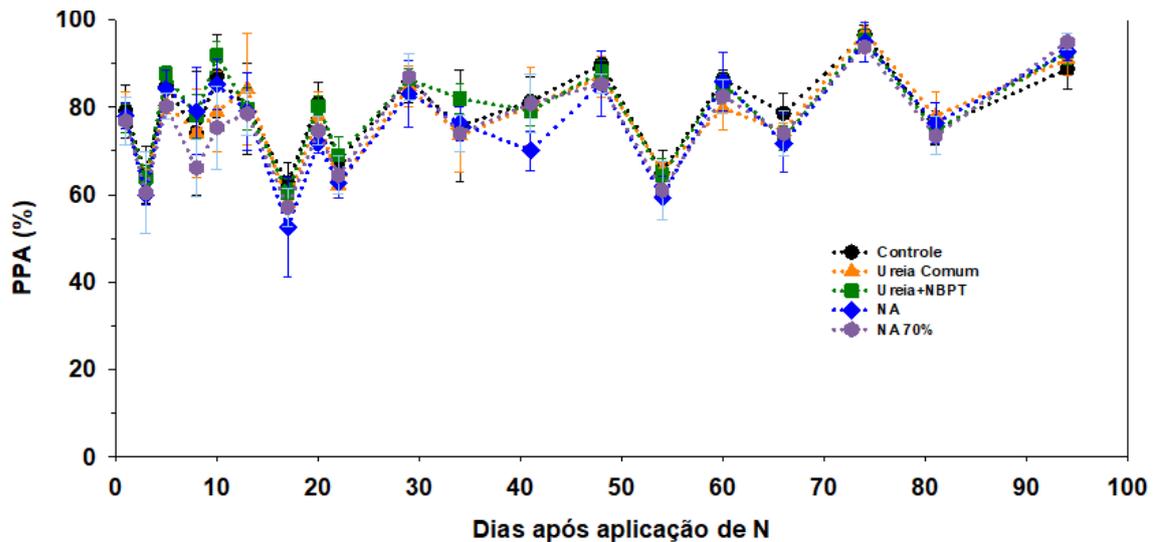
Figura 7 - N-NH_4^+ (amônio) em diferentes fontes de nitrogênio aplicados em cobertura na safra agrícola 2023/2024.



Os tratamentos que manifestaram fluxo de CH_4 , foram os que apresentaram maior PPA (Figura 8). Entre o dia 1 ao 9 dia para Nitrato de Amônio (100% e 70%) e

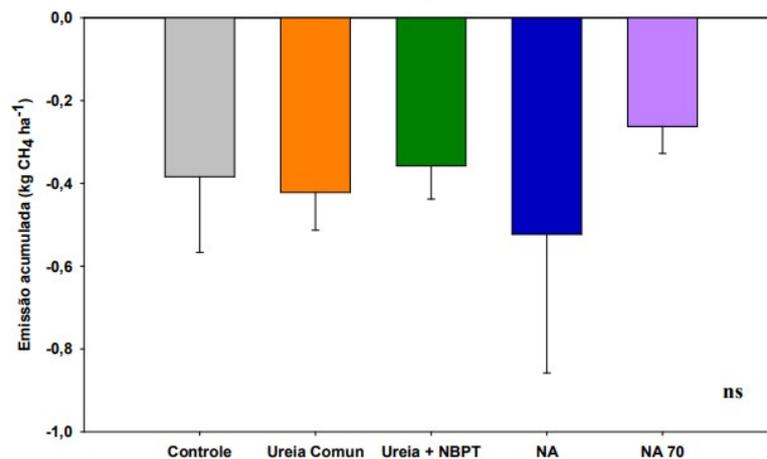
ureia + NBPT, os quais ficaram acima de 80%. Fato que corrobora com o estudo de Piva (2012) que também apresentou maior emissão quando a PPA foi superior a 80%.

Figura 8- Porosidade preenchida por água (PPA%) em diferentes fontes de nitrogênio aplicados em cobertura na safra agrícola 2023/2024.



Fonte: Autoria própria (2024)

Figura 9 - Emissão acumulada de CH₄ em diferentes fontes de nitrogênio aplicados em cobertura na safra agrícola 2023/2024.



Fonte: Autoria própria (2024)

Diferentemente dos outros trabalhos da literatura o estudo não observou relação entre a fertilização com nitrogênio mineral e o aumento da emissão de CH₄ do solo. O que se deve em parte pela boa condição física e química da área de estudo, principalmente, pela maior capacidade de drenagem e aeração do solo.

Nesse sentido, os Latossolos são bons drenos de metano devido a algumas características específicas, como a profundidade e porosidade, pois são solos muito profundos e porosos, o que permite uma melhor circulação de ar e água contribuindo para condições aeróbias que favorecem a oxidação do CH_4 (EMBRAPA 2021).

Outra característica desses solos é a estrutura granular, que facilita a retenção de gases e a atividade microbiana, podendo influenciar a produção/consumo de metano, bem como, os Latossolos geralmente têm boa drenagem, o que evita a formação de condições anaeróbias que favorecem a produção de metano (EMBRAPA, 2021).

6 CONCLUSÃO

Os fluxos de CH₄ foram de baixa magnitude, com taxas variando de 10 a -48 $\mu\text{g C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, sendo que a emissão coincidiu com maiores teores de umidade do solo.

Não ocorreu diferenças estatísticas na emissão acumulada de CH₄ entre as fontes de nitrogênio, ocorrendo absorção desse gás no solo.

Práticas de conservação que cuidem da qualidade física do solo, melhorem sua estrutura e aumentem sua capacidade de drenar e reter água tendem a favorecer a captura de CH₄ pelo solo.

A ausência de emissões significativas reforça a importância de estratégias de manejo do solo que visam a redução das emissões de GEE, afim de mitigar os impactos dos sistemas produtivos nas mudanças climáticas.

Referências

- BAYER, C.; GOMES, J.; ZANATTA, J.A.; VIEIRA, F.C.B.; DIECKOW, J. Mitigating greenhouse gas emissions from a subtropical Ultisol by using long-term no-tillage in combination with legume cover crops. **Soil Tillage Research**. v. 161, p. 86–94, 2016.
- BERCHIELLI, T. T.; MESSANA, J. D.; CANESIN, R. C. Produção de metano entérico em pastagens tropicais. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 13, p. 954-968, 2012.
- BESEN, M. R; **Influência de Fontes de Nitrogênio no Fluxo de Gases e na Produtividade do Milho e do Trigo em Sistema de Plantio Direto**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Santa Catarina, 2015.
- BODELIER, P.L.E; LAANBROEK, H.J. **Nitrogen as a regulatory factor of methane oxidation in soils and sediments**. FEMS Microbiology Ecology 47- 265-277, 2004.
- BRASIL. **Ministério da Ciência e Tecnologia. Comunicação Nacional Inicial do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**. Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima. Brasília, 2004. 74p.
- BRASIL. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social; Ministério da Ciência e Tecnologia. **Efeito Estufa e a Convenção Sobre Mudança do Clima**. Setembro de 1999. Cartilha.p65.
- CARDOSO, A. N.; SAMINÊZ, T. C.; VARGAS, M. A. **Fluxo de Gases-Traço de Efeito Estufa na Interface Solo/Atmosfera em Solos de Cerrado**. Embrapa Cerrados, 2001. 23p.
- CETESB Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - **Ficha de informação toxicológica 2020**. Disponível em:< cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2020/08/Metano.pdf> Acesso em: 01 janeiro 2024.
- COSTA, J. M. F. N.; FREITAS, F. P. de; CANAL, W. D.I; MAGALHÃES, M. A. de; CARVALHO, A. M. M. L.; CASTRO, R. V. O. Geração de créditos de carbono na queima de metano na carbonização. **Revista Ciência da Madeira** (Brazilian Journal of Wood Science), v. 10, n. 1, 2018.
- DEEPANJAN, M., SUSHIL, K., JAIN, M.C. Methane entrapment in different rice soils of India. **Current Science**, Bangalore, v.75, n.3, p.576-583, 1998.
- DEFRIES, R.; ROSENZWEIG, C. **Toward a whole-landscape approach for sustainable land use in the tropics**. Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America, v. 107, n. 46, p. 19627-19632, 2010.
- EDMEADES, D. C. Nitrification and urease inhibitors: a review of the National and International literature on their effects on nitrate leaching, greenhouse gas emissions and ammonia volatilization from temperate legume-based pastoral system. **Environment Waikato Technology Report**, Waikato, v. 22, Aug. 2004.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária 2021. Disponível em:<<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/bioma-cerrado/solo/tipos-de-solo/latossolos>>. Acesso em: 4 janeiro 2024.
- EPA. **Greenhouse gas emissions 2024**. Disponível em:<[Overview of Greenhouse Gases | US EPA](https://www.epa.gov/ghg-reports/overview-greenhouse-gases)>. Acesso em: 24 fevereiro 2024.
- FEARNSIDE, P. M. **Emissões de gases de efeito estufa oriundas da mudança do uso da terra na Amazônia brasileira**. In: REUNIÃO ESPECIAL DA SBPC: Amazônia no Brasil e no Mundo. Manaus, AM, 25 - 27 abril 2001. 2001. CD-ROM.
- FURTINI NETO, A.S.; VALE, F.R. do; RESENDE, A.V. de; GUILHERME, L.R.G.; GUARALDO, M. C.; REYNOL, F. Ciência e tecnologia tornaram o Brasil um dos

maiores produtores mundiais de alimentos. **Portal Embrapa** (Versão 3.147.0). 2022. p04.

GUÉDES, A. A. **Fertilidade do solo**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. 252p.

GUERRERO-CRUZ, S.; VAKSMA, A.; HORN, M.; NIEMANN, H.; PIJUAN, M.; HO, A.

Methanotrophs: Discoveries, Environmental Relevance, and a Perspective on Current and Future Applications. *Front. Microbiol*; Volume 12 - 2021.

HÜSTCH, B.W. Methane oxidation in arable soil as inhibited by ammonium, nitrite and organic manure with respect to soil pH. **Biology and fertility of soils**, 28:27-35, 1998.

IPCC. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.). Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom 996 pp., 2007. Disponível em: < <https://www.ipcc.ch/report/ar4/syr/> >.

Acesso em: 01 janeiro 2024.

IPCC. *Mitigation of Climate Change, Technical Summary, Working Group III*.

Cambridge University Press, Cambridge, 2014, 99 p. Disponível em: < www.ipcc.ch >.

Acesso em: 01 janeiro 2024.

KRAVCHENKO, I.; BOECKX, P.; GALCHENKO, V. & van CLEEMPUT, O. Short- and medium-term effects of NH₄ + on CH₄ and N₂O fluxes in arable soils with a different texture. **Soil Biol. Biochem.**, 34:669-678, 2002.

LIMA, M. A.; FRIGHETO, R. T. S.; PESSOA, M. C.P.Y.; LIGO, M. A.V. **Emissão de Metano em Sistemas de Produção de Arroz Irrigado: Quantificação e Análise**. Ministério da Ciência e Tecnologia e EMBRAPA, Relatório técnico final, 2008, 84 p.

LINQUIST, B. A.; ADVIENTO-BORBE, M. A.; PITTELKOW, C. M.; KESSEL, C.; GROENIGEN, K. J. Fertilizer management practices and greenhouse gas emissions from rice systems: A quantitative review and analysis. **Field Crops Research**, v.

135, p. 10-21, 2012.

MANZATTO, C. V.; FREITAS JUNIOR, E. d.; PERES, J. R. R. **Uso agrícola dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002.

MOSIER, A.R. **Chamber and isotope techniques**. In: Andreae MO, Schimel DS (eds) *Exchange of trace gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere: report of the Dahlem Workshop*. Wiley, Berlin, p. 175–187, 1989.

PIERZYNSKI, G.M.; THOMAS, S.; VANCE, G.F. **Soils and environmental quality**. 2.ed. Boca Raton: CRC Press LLC, 2000. 459p.

PIVA, J. T.; **Fluxo de Gases de Efeito Estufa e Estoque de Carbono do Solo em Sistemas Integrados de Produção no Sub-Trópico Brasileiro**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná. Capítulo III. Curitiba, 2012, 92 p.

PRIMAVESI, A.; BERNDT, A.; LIMA, M. A. de; FRIGHETTO, R. T. S.; DEMARCHI, J. J. A. de A.; PEDREIRA, M. dos S. **Produção de gases de efeito estufa em sistemas agropecuários: bases para inventário de emissão de metano por ruminantes**. 2012.

RIBEIRO, R.H.; IBARR, M.A.; BESEN, M.R.; BAYER, C.; PIVA, J.T. Managing grazing intensity to reduce the global warming potential in integrated croplivestock systems under no-till agriculture. **European Journal of Soil Science**, v. 71, p.1120–1131, 2020.

RICHTER, M. F.; DE LARA, D. M.; ANDREAZZA, R. de C. L. Educação Ambiental e Gases do Efeito Estufa (GEE): uma abordagem do papel do metano para Educação

- Básica. **Revista Brasileira de Educação Ambiental (RevBEA)**, v. 16, n. 5, p. 431-445, 2021.
- ROMANAK, K.; FRIDAHL, M.; DIXON, T. **Attitudes on Carbon Capture and Storage (CCS) as a Mitigation Technology within the UNFCCC**. *Energies*, v. 14, n. 3, p. 629, 2021.
- ROSA, E. de F. F. da. **Emissão de óxido nitroso e metano em sistemas de manejo do solo e da água**. Tese de Doutorado. Lages, 2014. 114 p.
- SANTOS, H.G. dos; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C. dos; OLIVEIRA, V.A. de; LUMBREARAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A. de; CUNHA, T.J.F. & OLIVEIRA, J.B. de; **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5ª ed. Brasília: **Embrapa Solos**, 2018. p. 590.
- SEEG - POTENZA, R. F.; QUINTANA, G. de O.; CARDOSO, A. M.; TSAI, D. S.; CREMER, M. dos S.; SILVA, F. B.; CARVALHO, K.; COLUNA, I.; SHIMBO, J.; SILVA, C.; SOUZA, E.; ZIMBRES, B.; ALENCAR, A.; ANGELO, C.; AZEVEDO, T. **Análise das Emissões de e suas Implicações para as Metas Climáticas do Brasil 1970-202**. SEEG v5. 2023.
- SIQUEIRA NETO, M; Piccolo, M. D. C; COSTA JUNIOR, C; Cerri, C.C; BERNOUX, M. **Emissão de gases do efeito estufa em diferentes usos da terra no bioma Cerrado**. *Processos e Propriedades do Solo - Rev. Bras. Ciênc. Solo* 35 (1) - Fev 2011
- SOARES, D. de A. **Emissões de gases de efeito estufa por fertilizantes nitrogenados em lavoura cafeeira irrigada**. Tese de Doutorado. Lavras : UFLA, 2016. 128 p
- UNECE. **Methane management: the challenge**. 2020. Disponível em:< unece.org>. Acesso em: 01 janeiro 2024.
- VEÇOZZI, T. A. **Eficiência agrônômica de fertilizante nitrogenado de liberação controlada e seus efeitos nas emissões de metano e óxido nitroso em arroz irrigado**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pelotas, 2015.
- VIEIRA, C. F. A.; LIMA, L. C. de; COUTINHO, M. M.; CAVALVANTE, F. S. A. **Efeitos climáticos do metano na atmosfera**. *Revista Tecnologia*, v. 29, n. 1, 2008.
- ZANATTA, J. A., BAYER, C., VIEIRA, F. C. B., GOMES, J.; TOMAZI, M. **Nitrous oxide and methane fluxes in South Brazilian Gleysol as affected by nitrogen fertilizers**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34:1653-1665, 2010.