

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**EMISSÕES CUMULATIVAS DE METANO EM
EXCRETAS DE PEQUENOS RUMINANTES**

Discente: Fernanda Eduarda Garcia

Orientadora: Profa. Dra. Ana Cláudia Ruggieri

Coorientador: Msc. Francisco Paulo Amaral Júnior

Jaboticabal-SP

2022

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**EMISSÕES CUMULATIVAS DE METANO EM EXCRETAS
DE PEQUENOS RUMINANTES**

Fernanda Eduarda Garcia

Orientador: Profa. Dra. Ana Cláudia Ruggieri

Coorientador: Msc. Francisco Paulo Amaral Júnior

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para graduação em Zootecnia.

Jaboticabal - SP
2º semestre/2022

G216e Garcia, Fernanda Eduarda
Emissões cumulativas de metano em excretas de pequenos ruminantes / Fernanda Eduarda Garcia. -- Jaboticabal, 2022
34 p. : il., tabs., fotos

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Zootecnia) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal
Orientadora: Ana Cláudia Ruggieri
Coorientador: Francisco Paulo Amaral Júnior

1. Metano. 2. Ovinos. 3. Caprinos. 4. Fezes. 5. Urina. I.
Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

DEPARTAMENTO: Departamento de Zootecnia

CERTIFICADO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TÍTULO: Emissões cumulativas de metano em excretas de pequenos ruminantes

ACADÊMICO: Fernanda Eduarda Garcia

CURSO: Zootecnia

ORIENTADOR (ES): Profa. Dra. Ana Cláudia Ruggieri
MSc. Francisco Paulo Amaral Júnior

PERÍODO: Semestre 10 Ano 2022

Aprovado com conceito: A B C

Este trabalho é recomendado para compor a base de dados CAPELO. Sim Não

Reprovado:

BANCA EXAMINADORA:

	(Nomes)	
Presidente	MSc. Francisco Paulo Amaral Júnior	(Assinaturas)
Membro	MSc. Camila Eduarda Souza de Sousa	
Membro	MSc. Gilmar Cotrin de Lima	

Jaboticabal 20 / 10 / 2022

Aprovado em reunião do Conselho do Departamento em: / /

 Chefe do Departamento

Dedicatória

Dedico este
trabalho a minha mãe
Luzia e a minha irmã
Flaluane.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida, por me iluminar, dar sabedoria e ter me abençoado durante toda minha trajetória acadêmica.

A minha mãe Luzia, por tudo que fez e faz por mim, pelo apoio, dedicação, amor, companheirismo, por acreditar em mim, você é meu porto seguro, amo você.

A minha irmã, Flaluane, pelo apoio, ajuda, dedicação, conversas, ensinamentos, preocupações e por ser minha pessoa no mundo, amo você.

Ao meu pai, Flávio, que apesar da distância fez o possível para me ajudar a trilhar meu caminho, amo você.

A minha família, Domingas, Clodoaldo, Maria, Rafael, Renan, Clara, Júnia, por sempre estarem ao meu lado, me apoiando, me ajudando em todos os momentos e se preocupando com meu desenvolvimento.

Ao meu avô, Manoel, que sempre esteve presente em meu coração, sei que sempre cuidou de mim, me apoiou e sei que sempre estará me guiando e protegendo.

Aos amigos que fiz durante esses anos de faculdade, principalmente a Camila, Gabriela, Larissa e Gabriel vocês foram essenciais para que eu chegasse até aqui, obrigada por todo companheirismo e ajuda.

Ao meu co-orientador, Francisco, por todo o apoio, paciência e orientação, além de um co-orientador ganhei também um amigo.

A minha orientadora, Ana Cláudia, por acreditar em mim e por ter me dado a oportunidade de chegar até aqui.

À Camila, por toda ajuda e paciência.

A todos os docentes do curso de Zootecnia pelos ensinamentos, proporcionando a minha formação.

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP/FCAV.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	2
3. MATERIAL E MÉTODOS	5
3.1. Área Experimental, solo e clima.....	5
3.2. Delineamento experimental, tratamentos e coletas.	5
3.3. Quantificação e avaliação dos GEE	8
3.4. Análise de fezes e urina e medidas de solo.....	10
3.5. Análise estatística	10
4. RESULTADOS	11
4.1. Variáveis climáticas.....	11
4.2. Umidade e N-mineral do solo.....	11
4.3. Emissão de metano	13
5. DISCUSSÃO	15
6. CONCLUSÃO.....	16
7. RESUMO.....	17
8. SUMMARY	18
9. REFERÊNCIAS	19

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1-Croqui da área experimental, DBC com cinco tratamentos sendo T1 o tratamento com fezes de ovino, T2 utilizando fezes de caprinos, T3 e T4 urina de ovinos e caprinos respectivamente e T5 o tratamento sem adição de excreta. Cada tratamento foi repetido cinco vezes obtendo as 25 câmaras experimentais, tanto para CH₄ quanto para análise do solo..... 7
- Figura 2-Câmaras estáticas abertas com dimensões 0,4x0,6x0,23m, plástica, revestida com isolante térmico. 8
- Figura 3-Câmaras estáticas fechadas para coleta de CH₄ ($\mu\text{g C-CH}_4 \text{ m}^{-2}\text{d}^{-1}$).... 9
- Figura 4-Dados meteorológicos contendo precipitação e temperatura em Jaboticabal-SP durante o período experimental..... 11
- Figura 5- Espaço poroso saturado por água (EPSA, %) durante a realização do experimento..... 12
- Figura 6- Concentração de amônio no solo ($\text{N-NH}_4^+\text{Kg}^{-1}$ de solo seco) durante 1 ano experimental. As barras representam o erro padrão das médias. 12
- Figura 7- Concentração de nitrato no solo ($\text{N-NO}_3^-\text{Kg}^{-1}$ de solo seco) após aplicação de 400ml de urina e/ou 400 g de fezes. As barras representam o erro padrão das médias..... 13
- Figura 8- Fluxo de gás metano ($\mu\text{g C-CH}_4 \text{ m}^{-2}\text{d}^{-1}$) durante o período experimental nos cinco tratamentos..... 14

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Emissão cumulativa de CH ₄ (mg C-CH ₄ m ⁻²) do solo com excretas (fezes e urina) de ovinos e caprinos.....	14
--	----

1. INTRODUÇÃO

As pastagens ocupam 154 milhões de hectares no Brasil de acordo com o mapeamento feito pelo MapBiomass, (2021). Os solos de pastagens são considerados importantes sumidouros de metano (CH_4) atmosférico (Mosier et al., 1991; Castaldi et al., 2007), devido a maior atividade metanotrófica nessas áreas. No entanto, a deposição de excretas no pasto pode fornecer substrato para microrganismos metanogênicos e impulsionar as emissões de gás metano.

Diversos autores avaliaram as emissões de metano provenientes da deposição de excretas de ruminantes em pastagens de clima temperado (González-Avalos, Ruiz-Suárez, 2001), tropical (Cardoso et al., 2017) e subtropical (Mazzetto et al., 2014), no entanto, estudos realizados principalmente com bovinos. Estudos voltados com caprinos e ovinos são mais escassos na literatura, sendo que em caprinos ainda não há estudos em relação a emissão de metano a partir de excretas em pastagens. Em ovinos há alguns estudos quanto a emissão de metano a partir de excretas, porém em ambientes de clima temperado (Jiang et al., 2012; Wang et al., 2012) e subtropical (Magiero, 2013). O estudo do tipo de excreta que entra em contato com o solo permite avaliar qual ação dessas excretas sobre a produção de gás metano, tendo em vista que fezes e urinas em ambientes pastoris poderão disponibilizar nutrientes de forma diferente.

Nas fezes, os nutrientes, principalmente carbono e nitrogênio, são disponibilizados lentamente por meio da atividade dos micro-organismos no solo. A deposição de fezes no solo aumenta a população de micro-organismos metanogênicos, fornecendo C solúvel como fonte de energia para esses micro-organismos (Jarvis et al., 1995). Dessa forma, a produção de CH_4 pode ocorrer de duas fontes, pelas fezes e pelo solo. Porém, a participação do solo nas emissões de CH_4 pode ser maior ou menor dependendo das condições proporcionadas pelas fezes e pelas condições ambientais (Jarvis et al., 1995; Yamulki et al., 1999; Ho et al., 2015).

Na urina, os nutrientes estão prontamente disponíveis aos micro-organismos, considerando que apresentam alta solubilidade em água (Whitehead, 2000). O aumento da umidade do solo pela deposição da urina,

pode estimular a atividade metanogênica, pela formação de condições anaeróbicas. Além disso, a hidrólise da uréia presente na urina, eleva o pH do solo, e reduz o potencial redox, e pode favorecer a atividade dos micro-organismos metanogênicos (Wang et al., 1993, Le Mer e Roger, 2001) no sistema de produção de caprinos e ovinos.

Caprinos e ovinos são animais com grandes semelhanças entre si, porém os caprinos apresentam maior seletividade na hora de apreensão do alimento quando comparado aos ovinos. Atualmente não há trabalhos avaliando as emissões de metano em excretas de caprinos depositadas a pasto e para ovinos há poucos estudos. Nossas hipóteses são: (1) As emissões cumulativas de metano em excretas de caprinos e ovinos diferirá em relação a espécie animal. (2) As emissões cumulativas de metano, diferirá quanto à tipo de excreta (fezes e urina).

Grande parte da literatura concentra-se em trabalhos sobre emissão de metano a partir de fermentação entérica e deposição e manejo de excretas de bovinos. Diante disso, objetivou-se avaliar as emissões de metano em excretas (fezes e urinas) de caprinos e ovinos depositadas em pastagens de capim massai (híbrido *Megathyrsus maximus* e *Megathyrsus infestum*).

2. REVISÃO DE LITERATURA

As emissões de gases de efeito estufa (GEE) provenientes da deposição de dejetos de ruminantes em pastagens, tiveram aumento de 31% entre os anos de 1990 a 2020 de acordo com o Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG, 2022).

O metano é um importante gás de efeito estufa, com um potencial de aquecimento global 27 vezes maior do que o CO₂ (IPCC, 2022) e vida útil na atmosfera de aproximadamente 12 anos (IPCC, 2014). Na agropecuária, o CH₄ emitido, é oriundo principalmente da fermentação entérica, manejo de dejetos animal e/ou deposição de excretas nas pastagens (Cai et al., 2017).

A produção de CH₄ no solo ocorre sob condições anaeróbicas, por meio de micro-organismos metanogênicos, podendo ser transformado em CO₂ por micro-organismos metanotróficos, em ambientes aeróbicos e anaeróbicos. O

equilíbrio dessas duas atividades conduz ao fluxo líquido de CH_4 entre solo-atmosfera (Le Mer e Roger, 2001; Conrad, 2007). O gás metano é produzido por Archaeas sob condições anaeróbicas e de baixo potencial redox (Conrad, 2007) e para sua produção e oxidação são conhecidos os processos de metanogênese e metanotrofia.

De acordo com Le Mer e Roger (2001), a metanogênese é o processo de mineralização da matéria orgânica em ambientes anaeróbicos por meio de fermentação metanogênica que produz CH_4 e CO_2 . Essa transformação exige a ação de quatro populações de micro-organismos responsáveis por degradarem moléculas compostas em moléculas mais simples. São elas:

- Microflora aeróbica, facultativa ou estritamente anaeróbica, responsável pela hidrólise de polímeros em monômeros.
- Microflora fermentativa facultativa ou estritamente anaeróbica, responsável pela acidogênese a partir de compostos monoméricos ou intermediários.
- Microflora sintrófica ou homoacetogênica que faz a acetogênese dos metabólitos.
- Metanogênese a partir de compostos simples podendo ser utilizado por metanógenos.

A metanotrofia consiste na oxidação do gás metano no solo e pode ocorrer de duas formas (Bender e Conrad, 1992; Hanson e Hanson, 1996). A primeira, oxidação de alta afinidade, ocorre quando as concentrações de metano estão próximas as da atmosfera, sendo a população bacteriana responsável desconhecida e a oxidação de baixa afinidade, quando a concentração de metano é superior a 40 ppm e é realizada por bactérias metanotróficas (Jones e Nedwell, 1993; King et al., 1990; Whalen et al., 1990)

Os processos de metanogênese e metanotrofia no solo, principalmente em pastagens, juntamente com a deposição de excretas de ruminantes levam a altos níveis de emissão de gás metano. Características físicas do solo influenciam na emissão e oxidação de CH_4 . Solos aeróbicos podem atuar como um sumidouro para o CH_4 atmosférico, por meio da oxidação por bactérias metanotróficas (Topp e Pattey, 1997, Le Mer e Roger, 2001) e solos de zonas úmidas são considerados fonte líquida de metano.

Solos de pastagens onde há a deposição de fezes fresca, geram um aumento da atividade metanogênica devido a grande quantidade de micro-organismos metanogênicos e C solúvel presente, oriundo das fezes (Rastogi et al., 2008; Ho et al., 2015). Além disso a adição de C no solo por meio de resíduos de culturas e fezes aumentam a emissão de CH₄ e apresentam correlação positiva entre a emissão de metano e a quantidade de C disponível (Ye et al., 2015). Esse fato ocorre, pois, o C solúvel é considerado fonte de energia para metanogênicos e as fezes no solo formam condição anaeróbica (Malyan et al., 2016).

A emissão de CH₄ também é influenciada pela urina depositada no solo, que gera ambiente úmido e anaeróbico favorável para atuação dos microrganismos metanogênicos presentes. A urina depositada causa aumento do pH do solo proveniente da hidrólise da ureia e a diminuição do potencial redox que também favorece a atividade de metanogênicas (Wang et al., 1993; Le Mer e Roger, 2001). A deposição de urina também possui o potencial de facilitar o crescimento de micro-organismos relacionados à oxidação de CH₄ e estimular o consumo desse gás (Bodelier e Laanbroek, 2004; Conrad, 2007). Sendo assim, a urina possui participação tanto na inibição quanto na estimulação da oxidação do CH₄.

Outros fatores que afetam diretamente a produção de metano proveniente da deposição das excretas em pastagens são a qualidade nutricional do alimento ingerido, visto que alimentos com mais fibras geram dejetos que se decompõem mais lentamente, porém com maior potencial de produção do metano (González-Avalos e Ruiz-Suárez, 2001; Orrico Junior et al., 2012). O teor de água, pois solos saturados com água promovem o desenvolvimento de micro-organismos metanogênicos e reduz a atividade de organismos metanotróficos, porém, os mesmos permanecem viáveis mesmo em condição de anaerobiose.

O pH também afeta a produção de metano no solo, levando em consideração que a atividade dos micro-organismos metanogênicos tende a ser ótima em torno de pH neutro ou levemente alcalino (Garcia et al., 2000) e são muito sensíveis as variações do pH do solo (Wang et al., 1993). A variação de temperatura também pode afetar a produção de metano. Segundo Rohstoffe

(2010), a temperatura adequada para o crescimento dos microrganismos anaeróbicos é entre 37°C e 42°C e, verifica-se que em temperaturas inferiores a 25°C tem-se que a velocidade de degradação da matéria orgânica é prejudicada.

Ao adicionar excretas no solo, também pode-se aumentar a concentração de N-mineral (amônio e nitrato). O nitrogênio, proveniente das excretas e depositado no solo, por meio da ação de bactérias ali presentes, são transformados em amônia (NH₃) e amônio (NH₄⁺) pelo processo de amonificação e em nitrito (NO₂⁻) e nitrato (NO₃⁻) pelo processo de nitrificação.

O amônio é um nutriente crucial para os micro-organismos metanotróficos, porém, em altas concentrações pode inibir a oxidação de CH₄ por meio da competição pelo metano monooxigenase (MMO) ou por gerar hidroxilamina tóxica e nitrito a partir da oxidação de amônio. (Stuedler et al., 1989 ,King e Schnell, 1994 , Schimel, 2000 , Reay e Nedwell, 2004 , Saari et al., 2004 , Stein e Klotz, 2011). Já o nitrato pode ou não servir como substrato para a oxidação do CH₄.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Área Experimental, solo e clima.

O experimento foi realizado no setor de Forragicultura e Pastagem da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” campus de Jaboticabal-SP, Brasil entre 01/12/2020 e 27/08/2021. As coordenadas geográficas do local do experimento são 21°14'05” de latitude Sul, 48°17'09” de longitude Oeste e altitude de 615 m. O solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico, típico, textura argilosa A moderado, caulínico, hipoférrico e com relevo suavemente ondulado de acordo com a EMBRAPA (2013). Em Jaboticabal-SP, o clima predominante segundo a classificação de Köppen, é tropical com estiagem no inverno, estação seca de abril a setembro e chuvas concentradas entre os meses de outubro a março.

3.2. Delineamento experimental, tratamentos e coletas.

O experimento foi conduzido através de um delineamento de blocos casualizados (DBC) com cinco blocos e cinco repetições por tratamento. Os

tratamentos utilizados foram: fezes de ovinos, fezes de caprinos, urina de ovinos e urina de caprinos e um tratamento sem adição de excretas a fim de avaliar a emissão basal dos GEE, totalizando 25 unidades experimentais (figura 1). As excretas (fezes e urina) foram obtidas, em novembro de 2020, imediatamente após a excreção dos animais ovinos e caprinos que estavam em pastagens nos setores de Caprinocultura e laboratório de Bioclimatologia animal, respectivamente, pertencentes ao Departamento de Zootecnia.

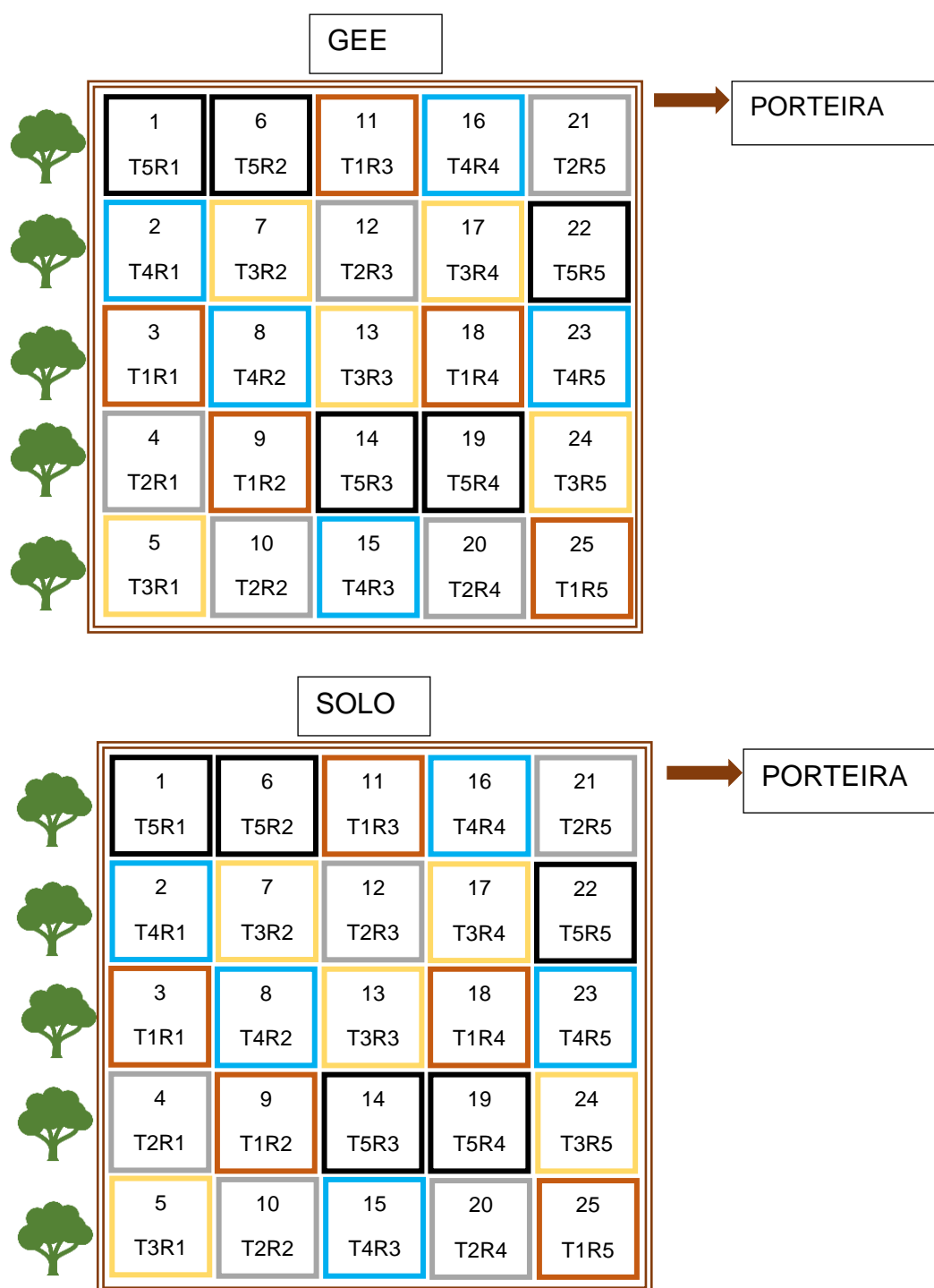


Figura 1-Croqui da área experimental, DBC com cinco tratamentos sendo T1 o tratamento com fezes de ovino, T2 utilizando fezes de caprinos, T3 e T4 urina de ovinos e caprinos respectivamente e T5 o tratamento sem adição de excreta. Cada tratamento foi repetido cinco vezes obtendo as 25 câmaras experimentais, tanto para CH₄ quanto para análise do solo.

As excretas foram coletadas e acondicionadas a temperatura de -20°C para conservação até o momento da aplicação. No primeiro dia de experimento (dia 01/12/2020) foram feitas coletas de gás sem a adição de fezes ou urina no solo. A partir do segundo dia de experimento, as excretas foram adicionadas ao solo, em uma área pré-determinada, sendo 400 ml nos tratamentos com urina e/ou 400 g nos tratamentos com fezes.

3.3. Quantificação e avaliação dos GEE

A metodologia utilizada no experimento para determinação do gás metano foi a da câmara estática (Mosier, 1989; Parkin et al., 2003; Jantalia et al., 2008) e quantificação por cromatografia gasosa. As câmaras estáticas (figura 2) utilizadas possuíam 0,4 m x 0,6 m e 0,23 m de altura, plástica, revestida com isolante térmico aluminizadas (Cardoso et al., 2018) e eram encaixadas em uma base de metal medindo 0,4 x 0,6 x 0,15 m e inseridas a 7 cm de profundidade. Após a aplicação dos tratamentos, as amostragens para a avaliação de CH_4 foram realizadas diariamente durante a primeira semana, semanalmente durante o período das águas e a cada quinze dias durante o período das secas, durante o período experimental.



Figura 2- Câmaras estáticas abertas com dimensões 0,4 x 0,6 x 0,23 m, plástica, revestida com isolante térmico.

As amostras de gás foram coletadas entre 9h00 e 10h00 por representar o fluxo médio diário de emissão de metano, como preconizado por Alves et al. (2012). Fechavam-se as câmaras estáticas por um período de 30 minutos, (figura 3) onde eram coletadas amostras de ar nos tempos 0, 15 e 30 min com uma seringa de polipropileno de 50 ml. Imediatamente após a coleta, as amostras foram transferidas para frascos de cromatografia pré-evacuados (20 ml) com uma bomba de vácuo. Junto a isto, foram medidas as temperaturas do solo e do ar no interior e fora da câmara usando termômetros digitais.



Figura 3- Câmaras estáticas fechadas para coleta de CH₄ ($\mu\text{g C-CH}_4 \text{ m}^{-2}\text{d}^{-1}$).

As amostras foram analisadas em cromatógrafo a gás (Shimadzu Green House Gas Analyzer GC-2014; Kyoto, Japan) calibrado para a leitura de CH₄ com o injetor a 250°C, coluna a 80°C, o gás de arraste utilizado foi o H₂ (30 ml min⁻¹) e o detector de ingestão de chama a 280°C. As emissões de metano ($\mu\text{g C-CH}_4 \text{ m}^{-2}\text{d}^{-1}$) foram calculadas em função da mudança da concentração do gás no interior da câmara no período de incubação de acordo com a seguinte equação:

$$\text{Fluxo do gás} = \delta\text{gás}/\delta T \times M/V_m \times V/A$$

Onde, $\delta g_{\text{gás}}$ é o aumento na concentração do gás no período de incubação ($\mu\text{L L}^{-1}$); δT é o período de incubação (h); M é a massa molar do gás em C; V_m é o volume molecular corrigido pela temperatura e pressão no momento de amostragem (L mol^{-1}); V é o volume da câmara (m^3); e A é a área que a câmara cobre (m^2).

Os valores obtidos foram multiplicados por 24 obtendo as emissões por dia e então foram integrados através de interpolação linear obtendo-se a emissão cumulativa. Os fluxos negativos foram incluídos nos cálculos para evitar enviesamento nos resultados (van der Weerden et al., 2016).

3.4. Análise de fezes e urina e medidas de solo

A densidade do solo (Mg m^{-3}) foi medida em outubro de 2018, no começo do experimento, a partir de amostras de 10 cm diâmetro x 5 cm altura. Durante todo o experimento foram coletadas amostras de solo de 0 a 10 cm de profundidade para analisar a umidade e concentração de amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-). Aproximadamente 10 g de solo dessas amostras foram secos a 105°C por 48h para determinar a umidade pelo método gravimétrico. O cálculo da porosidade do solo foi feito dividindo a densidade do solo pela densidade de partículas, estimada em $2,65 \text{ g cm}^{-3}$.

No laboratório, cerca de 10 g de solo foram misturados em 50 mL 2 M KCl e agitadas por 1h a 240 rpm (rotações por minuto), obtendo uma solução que foi filtrada e congelada para determinação de N-nitrato (mais N-nitrito), e N-amônio. Para determinação de N- NH_4^+ e N- NO_3^- foram utilizadas a reação de Berthelot (Forster, 1995) e redução pelo cloreto de vanádio-III (Doane e Horwath, 2003), respectivamente. A precipitação diária foi coletada de uma estação agrometeorológica instalada próximo a área experimental.

3.5. Análise estatística

Os dados foram verificados quanto a normalidade dos resíduos e homoscedasticidade das variâncias pelos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente. Em seguida foi realizada a análise de variância (ANOVA) e os

valores foram considerados significativos quando $p \leq 0,05$, usando o programa estatístico R versão 3.1.2 (2014).

4. RESULTADOS

4.1. Variáveis climáticas

A temperatura mínima, média e máxima do ar durante o período em que o experimento foi conduzido foi de 16,5°C, 22,3°C e 29,7°C, respectivamente. A precipitação foi maior nos primeiros 100 dias de experimento, havendo precipitações isoladas ao longo do período de coletas (figura 4).

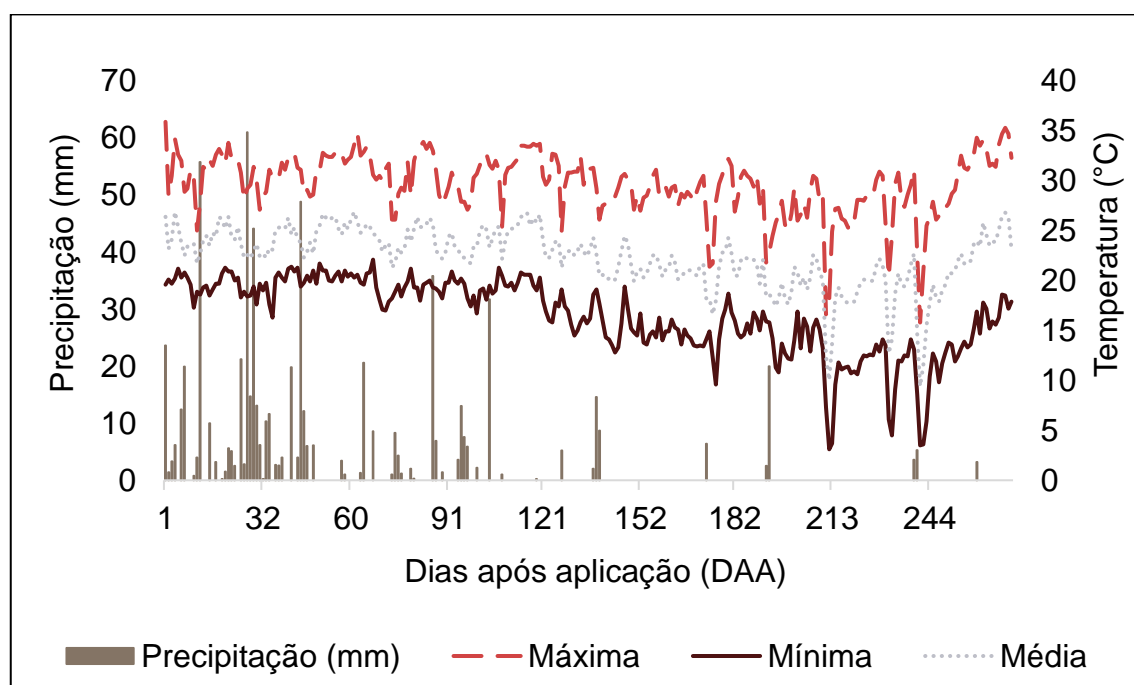


Figura 4 - Dados meteorológicos contendo precipitação e temperatura em Jaboticabal-SP durante o período experimental.

4.2. Umidade e N-mineral do solo

Durante o período avaliado a variação apresentada foi entre 20% e 40%, sendo o EPSA maior entre dezembro e março, período com maior ocorrência de chuvas, porém chuvas isoladas nos meses de julho e agosto também aumentaram o EPSA no decorrer do experimento (figura 5).

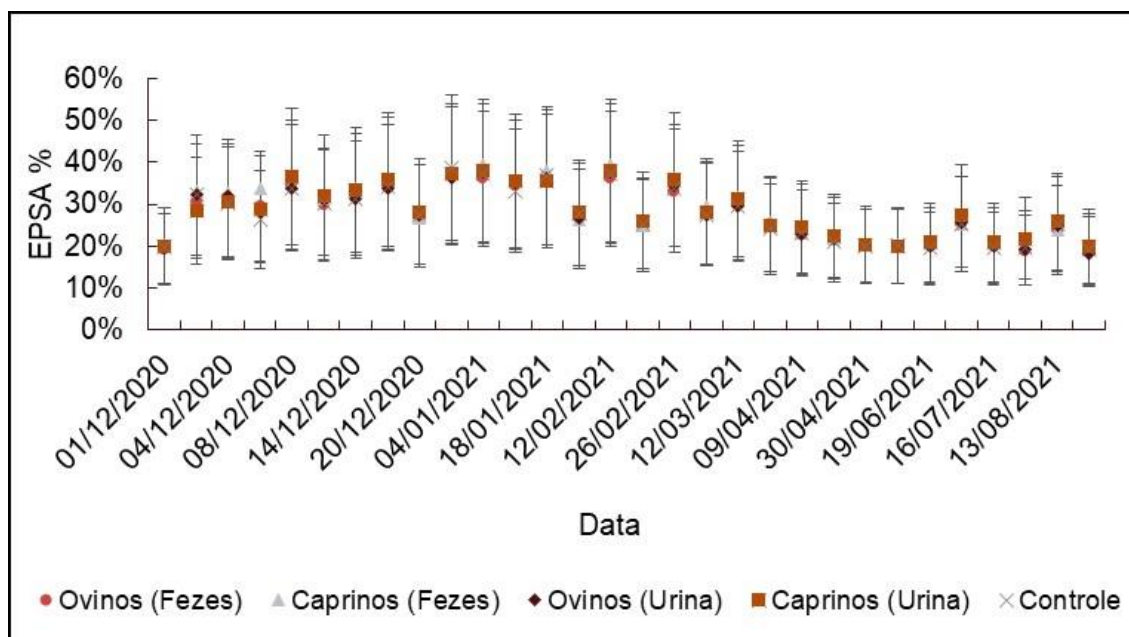


Figura 5- Espaço poroso saturado por água (EPSA, %) durante a realização do experimento.

Durante o período experimental, houve um aumento do N-mineral do solo. Os picos de N-NH_4^+ foram maiores para fezes, chegando a $6,34 \text{ mg N-NH}_4^+\text{kg}^{-1}$ de solo seco. Os teores de amônio no solo apresentaram variação durante todo o experimento, devido ao fornecimento de substrato vindo das excretas (figura 6).

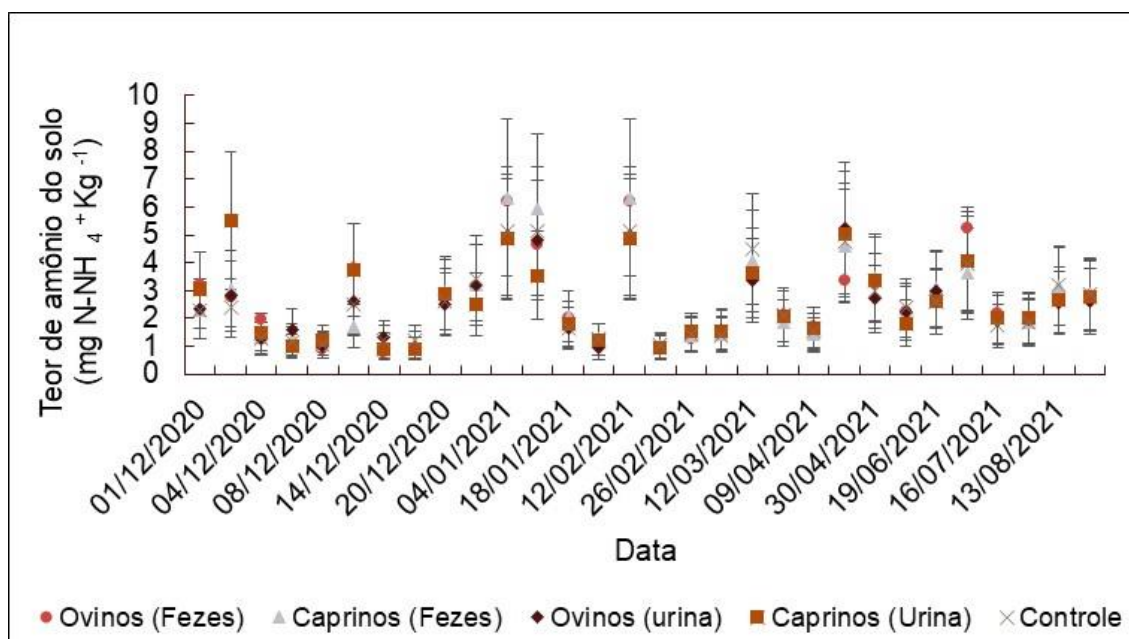


Figura 6- Concentração de amônio no solo ($\text{N-NH}_4^+\text{Kg}^{-1}$ de solo seco) durante 1 ano experimental. As barras representam o erro padrão das médias.

Em relação ao nitrato, durante o período chuvoso, houve um aumento nos teores de N-NO_3^- do solo após a aplicação das excretas, principalmente nos primeiros 30 dias, chegando a $55 \text{ mg N-NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$ do solo (figura 7). A urina aplicada no solo foi responsável pelos maiores níveis de N-NO_3^- no primeiro mês após aplicação das excretas, retornando ao nível basal após esse período.

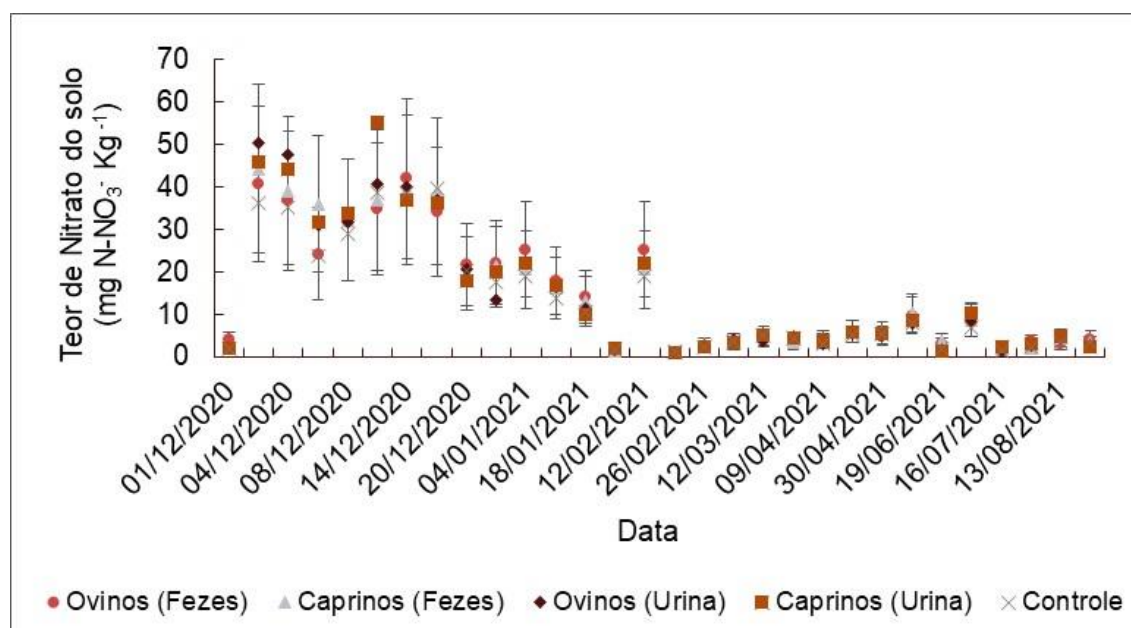


Figura 7- Concentração de nitrato no solo ($\text{N-NO}_3^- \text{ Kg}^{-1}$ de solo seco) após aplicação de 400ml de urina e/ou 400 g de fezes. As barras representam o erro padrão das médias.

4.3. Emissão de metano

Os picos de emissão e de oxidação do gás metano ocorreram nos dez primeiros dias após a implantação dos cinco tratamentos, sendo a maior emissão no quinto dia com $210 \mu\text{g C-CH}_4 \text{ m}^{-2}\text{d}^{-1}$ e o maior consumo (oxidação) no décimo dia, sendo o fluxo de CH_4 $-350 \mu\text{g C-CH}_4 \text{ m}^{-2}\text{d}^{-1}$. Após os dez dias iniciais até abril de 2021, os fluxos de emissão e oxidação se mantiveram com baixas variações, havendo um novo pico no começo do abril, chegando a $200 \mu\text{g C-CH}_4 \text{ m}^{-2}\text{d}^{-1}$ (figura 8).

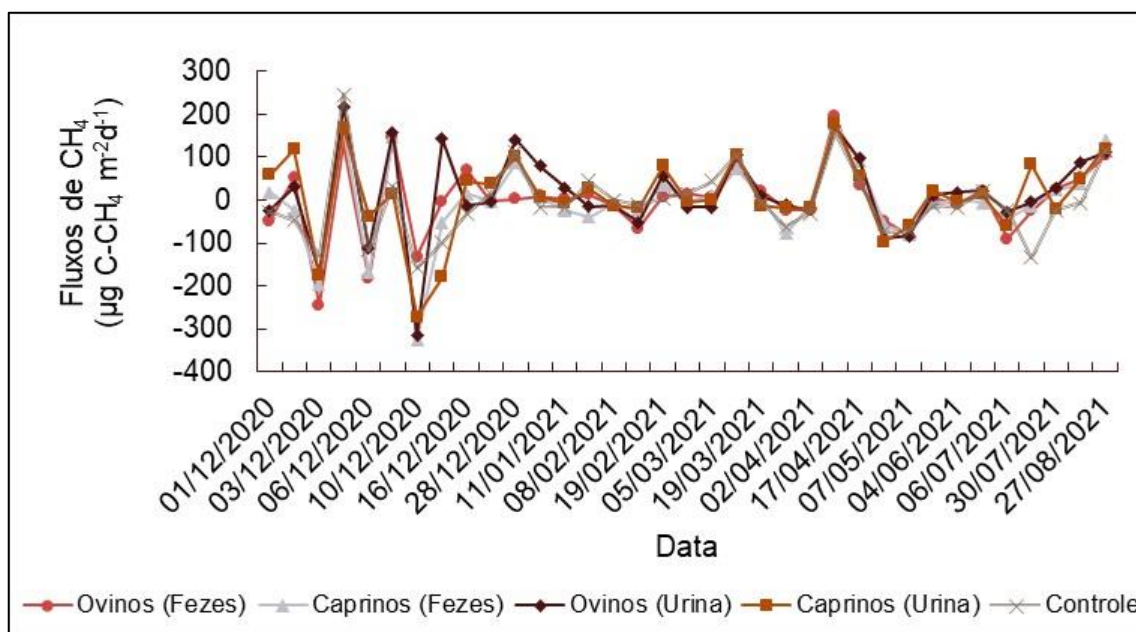


Figura 8- Fluxo de gás metano ($\mu\text{g C-CH}_4 \text{ m}^{-2}\text{d}^{-1}$) durante o período experimental nos cinco tratamentos.

A emissão cumulativa de CH₄ não foi afetada pelo tipo de animal ($p=0,6374$), pelo tipo de excreta ($p=0,1471$) e pela interação animal e tipo de excreta ($p=0,7676$) (tabela 1).

Tabela 1- Emissão cumulativa de CH₄ ($\text{mg C-CH}_4 \text{ m}^{-2}$) do solo com excretas (fezes e urina) de ovinos e caprinos.

Espécie animal (A)	Excreta (E)		Média	P-valor
	Fezes	Urina		
Ovinos	2,18 (10,5)	9,22 (10,7)	5,76 (5,63)	A 0,6374
Caprinos	1,49 (4,89)	6,22 (10,8)	3,86 (8,32)	E 0,1421
Média	3,66 (5,50)	5,75 (8,65)		AxE 0,7676
Controle	1,20 (2,21)			

A=espécie animal; E= tipo de excretas; Ax E= interação entre espécie animal e tipo de excreta. O desvio-padrão encontra-se entre parênteses.

5. DISCUSSÃO

Os maiores fluxos de emissão de CH₄ foram observados nos primeiros dez dias após a aplicação das excretas no solo, com a maior emissão no quinto dia com 210 µg C-CH₄ m⁻²d⁻¹, dados que se assemelham a estudos já realizados, com bovinos (Cardoso et al., 2018, Jarvis et al., 1995; Sagggar et al., 2004; Mazzeto et al., 2014; e Mori e Hojito, 2015). Esse fato ocorreu, pois, nas fezes coletadas imediatamente após a excreção de ovinos e caprinos verifica-se a liberação parcial de metano entérico e maior umidade, que gera um micro habitat, ideal para os micro-organismos metanogênicos. Junto a isso, a estação chuvosa associada ao alto teor de C disponível pelas excretas, aumenta também a produção de CH₄

Picos de emissão de CH₄ foram observados nos dias 12/03/2021, 09/04/2021 e 27/08/2021. A presença de picos no decorrer do experimento e não apenas no período inicial condiz com os estudos de Mazzetto et al., (2014) e Cardoso et al., (2019), realizados com bovinos. Vários fatores podem alterar essa variação de metano como pH, temperatura, qualidade nutricional da forragem ingerida, umidade. No presente trabalho, os picos em março, abril e agosto foram ocasionados por eventos de chuvas que levaram ao preenchimento dos poros do solo gerando um ambiente anóxico e na presença de micro-organismos metanogênicos remanescentes e o C disponibilizado pelas excretas, favorece a produção e emissão de CH₄.

O metano produzido não apresentou diferença em relação a espécie animal. Considerando a capacidade de seleção de alimento dos caprinos, esperava-se maior emissão de metano via fezes e urina, o que não ocorreu nesse estudo. Esse fato pode estar relacionado com a semelhança entre os animais, mas também com a coleta de fezes ter ocorrido em um período seco, onde os animais estavam confinados recebendo dietas semelhantes baseados em silagem de milho e concentrado.

Quanto ao tipo de excreta, apesar de não ser considerada uma fonte de emissão de metano, a urina quando depositada no solo promove o aumento da umidade e fornece substrato aos micro-organismos metanogênicos, o que pode ter equilibrado a emissão em relação ao metano emitido pelas fezes. A urina

depositada no solo fornece ureia que é transformada em amônia utilizada pelos metanotróficos mas em grande quantidade pode inibir a oxidação de CH_4 .

Em relação as emissões de metano e as concentrações de amônio e nitrato, as concentrações de amônio não interferiram na emissão e oxidação de gás metano, tendo em vista que o amônio apresentou uma longa variação e o metano variou apenas nos primeiros dias após a aplicação das excretas. Já o nitrato, apresentou altas concentrações nos primeiros dias de experimento, podendo ser considerado responsável por grande parte da oxidação do gás metano, quando comparado ao amônio.

6. CONCLUSÃO

Dos resultados desse estudo, pode-se concluir:

- Fluxos de metano para excretas de caprino se mostraram semelhantes a de ovinos, com maiores emissões concentrando-se nos dez primeiros dias após aplicação das excretas;
- Fezes e urina de ovinos e caprinos mostram-se semelhantes quanto a emissão de CH_4 , devido à grande semelhança entre as duas espécies animal.

7. RESUMO

EMISSÕES CUMULATIVAS DE METANO EM EXCRETAS DE PEQUENOS RUMINANTES

O gás metano (CH_4), um importante gás de efeito estufa com alto potencial de aquecimento global é produzido, na agropecuária, principalmente a partir da fermentação entérica, manejo de dejetos animal ou deposição de excretas em pastagens. O objetivo desse trabalho foi quantificar a emissão de metano em excretas (fezes e urina) de pequenos ruminantes (caprinos e ovinos) depositadas em solos de pastagens de clima tropical. Para atingir esse objetivo, foi realizado um experimento adotando o delineamento de blocos casualizados (DBC) com cinco tratamentos e cinco repetições para avaliar a emissão de CH_4 . Os tratamentos utilizados foram fezes de ovinos, fezes de caprinos, urina de ovinos, urina de caprinos e um tratamento sem adição de excretas para avaliar a emissão basal dos GEE. A metodologia utilizada para determinação dos gases foi a da câmara estática e a análise através de cromatografia gasosa. As amostras de gás foram coletadas diariamente durante a primeira semana após a aplicação dos tratamentos, semanalmente durante o período das águas e a cada quinze dias durante o período das secas, durante o período de 1 ano experimental. Fezes e urina de ovinos e caprinos mostraram-se semelhantes quanto a emissão de CH_4 , devido à grande semelhança entre as duas espécies animal e diferença na composição das fezes quando comparado a outros ruminantes.

Palavras-chave: metano, ovinos, caprinos, fezes, urina.

8. SUMMARY

CUMULATIVE METHANE EMISSIONS IN SMALL RUMINANT EXCRETE

Methane gas (CH₄), an important greenhouse gas with a high potential for global warming, is produced in agriculture mainly from enteric fermentation, handling of animal manure or deposition of excreta in pastures. The objective of this work was to quantify the emission of methane in excreta (faeces and urine) of small ruminants (goats and sheep) deposited in soils of pastures in a tropical climate. To achieve this objective, an experiment was carried out adopting a randomized block design (CBD) with five treatments and five replications to evaluate the emission of CH₄. The treatments used were sheep faeces, goat faeces, sheep urine, goat urine and a treatment without addition of excreta to evaluate the basal emission of GHGs. The methodology used to determine the gases was the static chamber and the analysis through gas chromatography. Gas samples were collected daily during the first week after the treatments were applied, weekly during the wet season and every fifteen days during the dry season, during the 1-year experimental period. Sheep and goats faeces and urine were similar in terms of CH₄ emission, due to the great similarity between the two animal species and the difference in faeces composition when compared to other ruminants.

Key words: methane, sheep, goats, faeces, urine.

9. REFERÊNCIAS

Alves, B.J.R., Smith, K.A., Flores, R.A., Cardoso, A.S., Oliveira, W.R.D., Jantalia, C.P., Urquiaga, S., Boddey, R.M., 2012. Selection of the most suitable sampling time for static chambers for the estimation of daily mean N₂O flux from soils. *Soil Biology and Biochemistry* 46, 129–135. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.11.022>.

Bender M., Conrad R., 1992. Kinetics of CH₄ oxidation in oxic soils exposed to ambient air or high CH₄ mixing ratios, *FEMS Microbiol. Ecol.* 101, 261–270.

Bodelier, P.L.E., Laanbroek, H.J., 2004. Nitrogen as a regulatory factor of methane oxidation in soils and sediments. *FEMS Microbiol. Ecol.* 47, 265–277.

Cai, Y., Chang, S.X., Cheng, Y., 2017. Greenhouse gas emissions from excreta patches of grazing animals and their mitigation strategies. *Earth-Science Reviews* 171, 44–57. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.05.013>.

Cardoso, A. da S., Brito, L.F., Januszkiewicz, E.R., Morgado, E. da S., Barbero, R.P., Koscheck, J.F.W., Reis, R.A., Ruggieri, A.C., 2017. Impact of Grazing Intensity and Seasons on Greenhouse Gas Emission in Tropical Grassland Ecosystems 20, 845 – 849. <https://doi.org/10.1007/s10021-016-0065-0>.

Cardoso, A. da S., Oliveira, S.C., Januszkiewicz, E.R., Brito, L.F., Morgado, E. da S., Reis, R.A., Ruggieri, A.C., 2019. Seasonal effects on ammonia, nitrous oxide, and methane emissions for beef cattle excreta and urea fertilizer applied to a tropical pasture. *Soil and Tillage Research* 194, 104341. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104341>.

Cardoso, A. da S., Quintana, B.G., Januszkiewicz, E.R., Brito, L.F., Morgado, E.S., Reis, R.A., Ruggieri, A.C., 2018. How do methane rates vary with soil moisture and compaction, N compound are rate, and dung addition in a tropical

soil?. *International Journal of Biometeorology* 63, 1533-1540.
<https://doi.org/10.1007/s00484-018-1641-0>.

Castaldi, S., Costantini, M., Cenciarelli, P., Ciccioli, P., Valentini, R., 2007. The methane sink associated to soils of natural and agricultural ecosystems in Italy. *Chemosphere* 66, 723–729.

Conrad, R., 2007. Microbial Ecology of Methanogens and Methanotrophs. *Advances in Agronomy* 96, 1–63. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(07\)96005-8](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(07)96005-8).

Doane, T.A., Horwath W.R., 2003. Spectrophotometric determination of nitrate with a single reagent. *Analytical Letter* 36, 2713– 2722.

González-Avalos, E., Ruiz-Suárez, L.G., 2001. Methane emission factors from cattle manure in Mexico. *Bioresource Technology* 80, 63-71.
[https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00052-9](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00052-9).

EMBRAPA (2013). Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Seminário Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Brasília: EMBRAPA, ed. 2, p.306.

Emissões totais. 2022. Disponível em:
https://plataforma.seeg.eco.br/total_emission. Acesso em: 12 set. 2022.

Forster, J. C., 1995. Soil nitrogen. In: Alef K, Nannipieri P (eds) *Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry*. Academic 79–87.

Garcia J.L., Patel B.K.C., Ollivier B., 2000. Taxonomic, phylogenetic, and ecological diversity of methanogenic Archaea, *Anaerobe* 6, 205–226.

Hanson R.S., Hanson T.E., 1996. Methanotrophic bacteria, *Microbiol.* 60, 439–471.

Ho, A., El-Hawwary, A., Kim, S.Y., Meima-Franke, M., Bodelier, P., 2015. Manure-associated stimulation of soil-borne methanogenic activity in agricultural soils. *Biology and Fertility of Soils* 51, 511–516. <https://doi.org/10.1007/s00374-015-0995-2>.

IPCC, 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp., [doi:10.1017/9781009325844](https://doi.org/10.1017/9781009325844).

IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

Jantalia, C. P.; Santos, H. P.; Urquiaga, S.; Boddey, R. M.; Alves, B. J. R., 2008. Fluxes of nitrous oxide from soil under different crop rotations and tillage systems in the South of Brazil. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 82, 161-173.

Jarvis, S.C., Lovell, R.D., Panayides, R., 1995. Patterns of methane emission from excreta grazing animals. *Soil Biology and Biochemistry* 27, 1581–1588. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(95\)00092-S](https://doi.org/10.1016/0038-0717(95)00092-S).

Jiang, Y., Tang, S., Wang, C., Zhou, P., Tenuta, M., Han, G., Huang, D., 2012. Contribution of Urine and Dung Patches from Grazing Sheep to Methane and

Carbon Dioxide Fluxes in an Inner Mongolian Desert Grassland 25, 207-212. <https://doi.org/10.5713/ajas.2011.11261>.

Jones H.A., Nedwell D.B., 1993. Methane emission and methane oxidation in land-fill cover soil, *FEMS Microbiol. Ecol.* 102, 185–195.

King G.M., Roslev P., Skovgaard H., 1990. Distribution and rate of methane oxidation in sediments of the Florida Everglades, *Appl. Environ. Microbiol.* 56, 2902–2911.

King G.M., Schnell, S., 1994. Ammonium and nitrite inhibition of methane oxidation by *Methylobacter albus* BG8 and *Methylosinus trichosporium* OB3b low methane concentrations. *Applied and Environmental Microbiology* 60. 3508-3513. <https://doi.org/10.1128/aem.60.10.3508-3513.1994>

Le Mer, J., Roger, P., 2001. Production, oxidation, emission and consumption of methane by soils: A review. *European Journal of Soil Biology* 37, 25–50. [https://doi.org/10.1016/S1164-5563\(01\)01067-6](https://doi.org/10.1016/S1164-5563(01)01067-6).

Magiero, E.C., 2013. Emissão e balanço de gases do efeito estufa em argissolo subtropical sob integração lavoura-pecuária com ovinos. Tese (doutorado) – curso de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Malyan, S.K., Bhatia, A., Kumar, A., Gupta, D.K., Singh, R., Kumar, S.S., Tomer, R., Kumar, O., Jain, N., 2016. Methane production, oxidation and mitigation: a mechanistic understanding and comprehensive evaluation of influencing factors. *Sci. Total Environ* 572, 874–896.

Mazzetto, A.M., Barneze, A.S., Feigl, B.J., Van Groenigen, J.W., Oenema, O., Cerri, C.C., 2014. Temperature and moisture affect methane and nitrous oxide emission from bovine manure patches in tropical conditions. *Soil Biology and Biochemistry* 76, 242–248. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.05.026>.

Mori, A. Hojito, M., 2015. Methane and nitrous oxide emissions due to excreta returns from grazing cattle in Nasu, Japan. *Grassland Science*, [s.l.]. 61, 109-120.

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

Mosier, A., Schimmel, D., Valentine, D., Bronson, K., Parton, W., 1991. Methane and nitrous oxide fluxes in native, fertilized and cultivated grasslands. *Nature*. 350, 330–332.

Orrico Junior, M. A. P., Orrico, A. C. A., Lucas junior, J. D., Sampaio, A. A. M., Fernandes, A. R. M., Oliveira, E. A. D., 2012. Compostagem dos dejetos da bovinocultura de corte: influência do período, do genótipo e da dieta. *Revista Brasileira de Zootecnia* 1301-1307.

Pastagens brasileiras ocupam área equivalente a todo o estado do Amazonas. MapBiomass, 2022. Disponível em: <https://mapbiomas.org/pastagens-brasileiras-ocupam-area-equivalente-a-todo-o-estado-do-amazonas#:~:text=A%20Cole%C3%A7%C3%A3o%20de%20MapBiomass,com%20exce%C3%A7%C3%A3o%20da%20Mata%20Atl%C3%A2ntica>. Acesso em: 22 de Out. de 2022.

Parkin, T., Mosier, A., Smith, J. et al., 2003. Chamber-based trace gas flux measurement protocol. USDA-ARS GRACE net.

Rastogi, G., Ranade, D.R., Yeole, T.Y., Gupta, A.K., Patole, M.S., Shouche, Y.S., 2008. Molecular analyses of methanogen diversity associated with cattle dung. *World J. Microbiol. Biotechnol* 24, 2973–2979.

Reay, D.S., Nedwell, D.B., 2004. Methane oxidation in temperate soils: effects of inorganic N. *Soil Biology and Biochemistry* 36, 2059-2065. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.06.002>

Rohstoffe, F. N., 2010. Guia prático do biogás: geração e utilização. Ministério da Nutrição, Agricultura e Defesa do Consumidor da Alemanha.

Saari, A., Rinnan, R., Martikainen, P.J., 2004. Methane oxidation in boreal forest soils: kinetics and sensitivity to pH and ammonium. *Soil Biology and Biochemistry* 36, 1037-1046. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.01.018>

Saggar, S., Bolan, N.S., Bhandral, R., Hedley, C.B., Luo, J., 2004. A review of emissions of methane, ammonia, and nitrous oxide from animal excreta deposition and farm effluent application in grazed pastures. *N. Z. J. Agric. Res.* 47, 513–544. <https://doi.org/10.1080/00288233.2004.9513618>.

Schimel, J., 2000. Rice, microbes and methane. *Nature* 403, 375-377. <https://doi.org/10.1038/35000325>

Stein, L.Y., Klots, M.G., 2011. Nitrifying and denitrifying pathways of methanotrophic bacteria. *Biochemical Society Transactions* 39, 1826-1831. <https://doi.org/10.1042/BST20110712>.

Stuedler, P.A., Bowden, R.D., Melolli, J.M., Aber, J.D., 1989. Influence of nitrogen fertilization on methane uptake in temperate forest soils. *Nature* 341, 314-316.

Topp E., Pattey E., 1997. Solos como fontes e sumidouros de metano atmosférico, *Can. J. SoilSci.* 77, 167-178.

Van der weerden, T. J., Luo, J., Di, H. J., Podolyan, A., Phillips, R. L., Saggar, S., De Klein, C. A. M., Cox, N., Ettema, P., Rys, G., 2016. Nitrous oxide emissions from urea fertiliser and effluent with and without inhibitors applied to pasture. *Agriculture. Ecosystems & Environment*, 219, 58-70.

Wang Z.P., Delaune R.D., Masscheleyn P.H., Patrick W.H., 1993. Soil redox and pH effects on methane production in a flooded rice soil, *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57, 382–385.

Wang, X., Huang, D., Zhang, Y., Chen, W., Wang, C., Yang, X., Luo, W., 2012. Dynamic changes of CH₄ and CO₂ emission from grazing sheep urine and dung patches in typical steppe. *Atmospheric Environment* 79, 576-581. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.07.003>.

Wang, Z.P., Lindau, C.W., Delaune, R.D., Patrick, W.H., 1993. Methane emission and entrapment in flooded rice soils as affected by soil properties. *Biol. Fertil. Soils* 16, 163–168.

Whalen S.C., Reeburgh W.S., Sandbeck K.A., 1990. Rapid methane oxidation in a landfill cover soil, *Appl. Environ. Microbiol.* 56, 3405–3411.

Whitehead, D.C., 2000. *Nutrient Elements in Grassland, Soil-Plant-Animal Relationships*. CABI Publishing.

Yamulki, S., Jarvis, S.C., Owen, P., 1999. Methane emission and uptake from soils as influenced by excreta deposition from grazing animals. *J. Environ. Qual.* 28, 676–682.

Ye, L., Wu, X., Liu, B., Yan, D., Kong, F., 2015. Dynamics of dissolved organic carbon in eutrophic Lake Taihu and its tributaries and their implications for bacterial abundance during autumn and winter. *Journal of Freshwater Ecology*, 30:1, 129-142. <https://doi.org/10.1080/02705060.2014.939108>.