



UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL

Luan Hamon Costa

Emissões de gases de efeito estufa em sistema integrado de produção na Caatinga

Petrolina
2023

Luan Hamon Costa

Emissões de gases de efeito estufa em sistema integrado de produção na Caatinga

Dissertação apresentada para aprovação e obtenção de título de mestre em Ciências Ambientais do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade de Pernambuco. Área de concentração: Tecnologia Ambiental Aplicada

Orientador(a): Prof.^a Dra. Diana Signor Deon

Co-orientador: Magnus Dall'Igna Deon

Petrolina

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Universidade de Pernambuco
Núcleo de Gestão de Bibliotecas e Documentação (NBID)

C837e	<p>Costa, Luan Hamon</p> <p>Emissões de gases de efeito estufa em sistema integrado de produção na Caatinga / Luan Hamon Costa. – Petrolina: do autor, 2023. 48 f. : PDF.</p> <p>Orientador(a): Dra. Diana Signor Deon. Coorientador(a): Magnus Dall’Igna Deon. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade de Pernambuco, <i>Campus</i> Petrolina, Petrolina-PE, 2023.</p> <p>1. Semiárido. 2. Gases de Efeito Estufa. 3. Mudanças Climáticas. I. Deon, Diana Signor. II. Deon, Magnus Dall’Igna. III. Universidade de Pernambuco - <i>Campus</i> Petrolina - PPGCTA. IV. Título.</p> <p>CDD 363.7387409154</p>
-------	---

Ficha Catalográfica elaborada pelo Bibliotecário Danilo Trindade Barbosa, CRB 4/2285, Universidade de Pernambuco – Campus Petrolina.

Luan Hamon Costa

Emissões de gases de efeito estufa em sistema integrado de produção na Caatinga

Dissertação apresentada para aprovação e
obtenção de título de mestre em Ciências
Ambientais do Programa de Pós-Graduação em
Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade
de Pernambuco. Área de concentração:
Tecnologia Ambiental Aplicada

Defendida e aprovada em: 04 de Setembro de 2023

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **DIANA SIGNOR DEON**
Data: 21/12/2023 09:11:18-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr(a). Diana Signor Deon

Embrapa Semiárido

Documento assinado digitalmente
 **CLAUDEMIRO DE LIMA JUNIOR**
Data: 21/12/2023 18:13:27-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Claudemiro de Lima Júnior

Universidade de Pernambuco (UPE)

Documento assinado digitalmente
 **ANA PAULA GUIMARAES SANTOS**
Data: 21/12/2023 17:34:55-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Ana Paula Guimarães Santos

Doutora em Engenharia Agrícola

RESUMO

Hamon, Luan Costa. **Emissões de gases de efeito estufa em sistema integrado de produção na Caatinga**. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Pernambuco, Petrolina, 2023.

Os solos do Nordeste brasileiro, de um modo geral, têm baixa fertilidade e podem ser facilmente degradados pelas atividades agrícolas e extrativistas, o que faz diminuir o teor de matéria orgânica, que já é naturalmente baixo nestes solos. Nesta região, encontra-se o bioma Caatinga, único bioma exclusivamente brasileiro que é rico em biodiversidade. Conhecer as emissões de gases do efeito estufa (GEE) em diferentes usos do solo na região semiárida é uma ação necessária para o desenvolvimento de planos de manejo que mitiguem as emissões, assegurando o desenvolvimento sustentável na Caatinga. Este trabalho está dividido em duas partes. Na primeira foi executada uma revisão sistematizada sobre o tema, considerando artigos publicados em todos os países do mundo e que estejam vinculados em duas plataformas de base de dados científicos (Google Scholar e Science Direct), bem como a produção de materiais que pudessem servir de base ao desenvolvimento de análises. Na segunda parte, foi desenvolvido um estudo de campo para avaliação dos GEE emitidos em um sistema de produção, composto por áreas de capim Buffel, Caatinga Pastejada e Caatinga nativa, gerando uma análise e quantificação destes gases a fim de demonstrar e organizar relações e fluxos de gases para cada área. Os resultados da revisão sistematizada permitem evidenciar a importância da China e do Quênia nas avaliações das emissões de GEE em regiões de pastagens Semiáridas e a similaridade de condições climáticas e de cultivos entre os estudos e o que se observa no Semiárido brasileiro. Na Caatinga nativa, os fluxos de CH₄, CO₂ e N₂O foram, respectivamente, 0,83 mg C/m²/h, 24,47 mg C/m²/h, -74,6 µg C/m²/h. Já para Caatinga pastejada os fluxos médios observados foram, -2,68 mg C/m²/h, 24,22 mg C/m²/h, 43,67 µg N/m²/h, enquanto para o capim buffel os fluxos foram de 0,41 mg C/m²/h, 39,07 mg C/m²/h, 81,84 µg N/m²/h, respectivamente para CH₄, CO₂ e N₂O. A análise da matriz de correlação multivariada revela relações importantes entre as variáveis relacionadas aos fluxos de GEEs e às condições ambientais na área de estudo. Os resultados colaboram para o aprimoramento de informações sobre fluxos de GEE e de sistemas de cultivo em regiões semiáridas, contribuindo para o desenvolvimento de ações de mitigação.

Palavras-chave: Semiárido, CO₂, CH₄, N₂O.

ABSTRACT

Hamon, Luan Costa. **Greenhouse gases emissions in an integrated production system in the Caatinga**. Dissertation (Master's) - University of Pernambuco, Petrolina, 2023.

The soils of Brazilian Northeast, in general, have low fertility and can be easily degraded by agricultural and extractive activities, which reduces the organic matter content that is already naturally low in these soils. In this region, it is found the Caatinga biome, which is the only exclusively Brazilian biome and is rich in biodiversity. Understanding greenhouse gases emissions (GHG) in different land uses in the semiarid region is necessary for the development of management plans in order to mitigate these emissions, ensuring sustainable development in the Caatinga biome. This work is divided into two parts. The first one is a systematic review on the topic, considering articles published worldwide and available on two scientific databases (Google Scholar and Science Direct), as well as the production of materials that could serve as a basis for analysis development. In the second part, a field study was conducted to evaluate GHG emissions in a production system, consisting of areas of Buffel grass, Grazed Caatinga, and Native Caatinga, generating an analysis and quantification of these gases to demonstrate and organize gas relationships and flows for each area. The results of the systematic review highlight the importance of China and Kenya in evaluating GHG emissions in semiarid pasture regions and the similarity of climate and crop conditions between the studies and what is observed in the Brazilian Semiarid. In the Native Caatinga, the fluxes of CH₄, CO₂, and N₂O were, respectively, 0.83 mg C/m²/h, 24.47 mg C/m²/h, -74.6 µg N/m²/h. For Grazed Caatinga, the average fluxes observed were -2.68 mg mg C/m²/h, 24.22 mg C/m²/h, 43.67 µg N/m²/h, while for Buffel grass, the fluxes were 0.41 mg C/m²/h, 39.07 mg C/m²/h, 81.84 µg N/m²/h, respectively, for CH₄, CO₂, and N₂O. The analysis of the multivariate correlation matrix reveals important relationships between variables related to GHG fluxes and environmental conditions in the study area. The results contribute to improving information on GHG fluxes and cultivation systems in semiarid regions, thus supporting the development of mitigation actions.

Keywords: Semiarid, CO₂, CH₄, N₂O.

RESUMEN

Hamon, Luan Costa. **Emisiones de gases de efecto invernadero en un sistema de producción integrado en la Caatinga.** Disertación (Maestría) - Universidad de Pernambuco, Petrolina, 2023.

Los suelos del noreste de Brasil, en general, tienen baja fertilidad y pueden ser fácilmente degradados por actividades agrícolas y extractivas, lo que disminuye el contenido de materia orgánica que ya es naturalmente bajo en estos suelos. En esta región se encuentra el bioma de la Caatinga, el único bioma exclusivamente brasileño que es rico en biodiversidad. Conocer las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en diferentes usos del suelo en la región semiárida es una actividad necesaria para el desarrollo de planes de manejo que mitiguen las emisiones, asegurando el desarrollo sostenible en la Caatinga. Este trabajo se divide en dos partes. En la primera parte se realizó una revisión sistematizada sobre el tema, considerando artículos publicados en todos los países del mundo y que estén vinculados en dos plataformas de bases de datos científicas (Google Scholar y Science Direct), así como la producción de materiales que pudieran servir como base para el desarrollo de análisis. En la segunda parte, se llevó a cabo un estudio de campo para evaluar las GEI emitidas en un sistema de producción compuesto por áreas de pasto Buffel, Caatinga Pastada y Caatinga nativa, generando un análisis y cuantificación de estos gases para demostrar y organizar relaciones y flujos de gases para cada área. Los resultados de la revisión sistematizada permiten evidenciar la importancia de China y Kenia en la evaluación de las emisiones de GEI en regiones semiáridas de pastizales, así como la similitud de las condiciones climáticas y de cultivo entre los estudios y lo observado en el Semiárido brasileño. En la Caatinga nativa, los flujos de CH₄, CO₂ y N₂O fueron, respectivamente, 0,83 mg C/m²/h, 24,47 mg C/m²/h, -74,6 µg N/m²/h. Para la Caatinga pastada, los flujos medios observados fueron -2,68 mg C/m²/h, 24,22 mg C/m²/h, 43,67 µg N/m²/h, mientras que para el pasto Buffel, los flujos fueron de 0,41 mg C/m²/h, 39,07 mg C/m²/h, 81,84 µg N/m²/h, respectivamente, para CH₄, CO₂ y N₂O. El análisis de la matriz de correlación multivariada revela relaciones importantes entre las variables relacionadas con los flujos de GEI y las condiciones ambientales en el área de estudio. Los resultados contribuyen a mejorar la información sobre los flujos de GEI y los sistemas de cultivo en regiones semiáridas, lo que a su vez contribuye al desarrollo de acciones de mitigación.

Palabras clave: Semiárido, CO₂, CH₄, N₂O.

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1. Gases estudados, temperatura, país e culturas de cada artigo selecionado.....	19
Tabela 3.2. Número de artigos encontrados na pesquisa em cada faixa de pluviosidade.....	21
Tabela 4. 1 Precipitação acumulada e temperatura média do ar no Campo Experimental da Caatinga, em Petrolina – PE, ao longo do período de avaliação.....	30
Tabela 4. 2 Análise química de em um Argissolo Vermelho-Amarelo em áreas de Caatinga nativa, Caatinga pastejada e buffel, no Campo Experimental da Caatinga, em Petrolina - PE	31
Tabela 4. 3 Umidade gravimétrica de um Argissolo sob diferentes usos da terra em um Argissolo Vermelho-Amarelo em áreas de Caatinga nativa, Caatinga pastejada e buffel, no Campo Experimental da Caatinga, em Petrolina - PE, ao longo do período de avaliação.....	33
Tabela 4. 4 Fluxos de gases de efeito estufa nas épocas seca e chuvosa entre 23/04/2022 a 26/01/2023 em um Argissolo Vermelho-Amarelo em áreas de Caatinga nativa, Caatinga pastejada e buffel, no Campo Experimental da Caatinga, em Petrolina - PE.....	39

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 3.1. Fluxograma da seleção dos artigos buscados pelos termos ““Soil greenhouse gases” AND (arid OR semi-arid) AND rangelands” nas bases de dados Google Scholar e Science Direct, com base em busca realizada em janeiro de 2023.....	18
Figura 3.2. Linha do tempo dos artigos publicados e países onde as pesquisas foram conduzidas.....	22
Figura 4.1 Fluxos de CO ₂ (mg C/m ² /h) entre 23/04/2022 a 26/01/2023 em um Argissolo Vermelho-Amarelo em áreas de Caatinga nativa, Caatinga pastejada e buffel, no Campo Experimental da Caatinga, em Petrolina - PE.....	35
Figura 4.2 Fluxos de CH ₄ (µg C/m ² /h) entre 23/04/2022 a 26/01/2023 em um Argissolo Vermelho-Amarelo em áreas de Caatinga nativa, Caatinga pastejada e buffel, no Campo Experimental da Caatinga, em Petrolina – PE.....	36
Figura 4.3 Fluxos de N ₂ O (µg N /m ² /h) entre 23/04/2022 a 26/01/2023 em um Argissolo Vermelho-Amarelo em áreas de Caatinga nativa, Caatinga pastejada e buffel, no Campo Experimental da Caatinga, em Petrolina - PE.....	37
Figura 4.4 Componentes principais da Análise Multivariada dos dados de emissões de gases de efeito estufa (CO ₂ , CH ₄ e N ₂ O) em áreas de Caatinga nativa, Caatinga pastejada e capim buffel em um Argissolo Vermelho-Amarelo em Petrolina-PE.....	41
Figura 4.5 Variáveis do componente principal 1 da Análise Multivariada dos dados de emissões de gases de efeito estufa (CO ₂ , CH ₄ e N ₂ O) em áreas de Caatinga nativa, Caatinga pastejada e capim buffel em um Argissolo Vermelho-Amarelo em Petrolina-PE.....	41
Figura 4.6 Variáveis do componente principal 2 da Análise Multivariada dos dados de emissões de gases de efeito estufa (CO ₂ , CH ₄ e N ₂ O) em áreas de Caatinga nativa, Caatinga pastejada e capim buffel em um Argissolo Vermelho-Amarelo em Petrolina-PE.....	42
Figura 4.7 Análise Multivariada dos dados de emissões de gases de efeito estufa (CO ₂ , CH ₄ e N ₂ O) em áreas de Caatinga nativa, Caatinga pastejada e capim buffel em um Argissolo Vermelho-Amarelo em Petrolina-PE.....	43
Figura 4.8 Análise Multivariada.....	43

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO	10
1. 2 OBJETIVOS.....	12
1.2.1 Objetivo geral.....	12
1.2.2 Objetivos específicos	12
1.2 Referências	13
3.EMISSIONES DE GASES DE EFEITO ESTUFA EM REGIÕES SEMIÁRIDAS: UMA REVISÃO SISTEMATIZADA ¹	15
3.1 Introdução.....	15
3.2 Tópicos da Revisão.....	17
3.3 Material e métodos	17
3.4 Resultados e discussão.....	18
3.5 Conclusões.....	23
3.6 Referências	23
4 EMISSIONES DE GASES DE EFEITO ESTUFA EM UM SISTEMA INTEGRADO DE ..	26
PRODUÇÃO ANIMAL NA CAATINGA	26
4.1 Introdução.....	27
4.2 Material e métodos	28
4.3 Resultados e discussão.....	35
4.3.1 Análise multivariada dos dados	40
4.4 Conclusões.....	44
4.5 Referências	45
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	48

1.INTRODUÇÃO

As regiões enquadradas como áridas e semiáridas correspondem a 59,86 milhões de km², ou seja, cerca de a 40% das terras emersas do globo, envolvendo 37% da população mundial (Gutiérrez et al., 2017). No Brasil, o clima “semiárido” (termo também atribuído a uma região) se faz presente em grande parte do Nordeste e em menores proporções no Sudeste, sendo essa região densamente habitada e possuidora de grande biodiversidade (Ledru et al., 2020). O Semiárido brasileiro (SAB) estende-se por uma área de 1,12 milhão km² e, segundo o Conselho Deliberativo da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (Sudene), na Resolução 150/2021, a região inclui 1.427 municípios, que apresentam déficit hídrico acima de 60%, alto índice de aridez, média de precipitação abaixo de 800 milímetros e a continuidade territorial (Sudene, 2021).

A Caatinga é a vegetação que predomina no Nordeste do Brasil e está inserida no contexto do clima semiárido. Os índios, primeiros habitantes da região, a chamavam assim porque na estação seca, a maioria das plantas perde as folhas, prevalecendo na paisagem a aparência clara e esbranquiçada dos troncos das árvores. Daí o nome Caatinga (caa: mata e tinga: branca) que significa “mata ou floresta branca” no tupi. Porém, no período chuvoso a paisagem muda de esbranquiçada para variados tons de verde.

A atividade econômica de grande potencialidade no Nordeste brasileiro é a criação de caprinos e ovinos, devido à irregularidade das chuvas que acometem a região, porém, existe pouco incentivo nesse segmento econômico. Por isso, os sistemas produtivos são desenvolvidos de forma rudimentar, com baixo emprego tecnológico. A caprino e ovinocultura desempenham importante papel socioeconômico, principalmente para pequenos e médios produtores rurais, proporcionando renda direta aos mesmos, além de representar uma excelente fonte alimentar, com produtos de alta qualidade e elevado valor biológico (Porto et al., 2013).

Segundo os mesmos autores, na prática, muitas vezes as taxas de lotação são superiores a estes valores de referência, acarretando forte pressão de pastejo e influenciando no processo de compactação e perda dos solos por erosão. Além desse excesso de pastejo, o ciclo vicioso continuado dos rebanhos em uma mesma área, prática habitual de muitos produtores no Semiárido brasileiro, acarreta degradação das pastagens, provocando atenuação na produtividade das forrageiras e sintetizando a lucratividade dos rebanhos (Tinsley et al., 2019).

Já a agricultura, frequentemente praticada em regime de sequeiro na região, representa uma atividade de maior risco quando comparada à pecuária, representando uma diminuta parcela do segmento econômico das propriedades rurais da região do SAB, devido à grande vulnerabilidade dos sistemas produtores aos eventos climáticos acarretando perdas parciais ou totais da produção (Lima et al., 2016).

Os baixos regimes de chuva recorrentes no SAB são um dos principais entraves na produção e oferta regular de forragem nativa ou cultivada em pequenas propriedades familiares, uma vez que, há grande variabilidade intra e interanual na distribuição das chuvas, tendo mais relevância com as projeções das mudanças climáticas, visto que as estimativas são de acréscimo das temperaturas médias e aumento no déficit hídrico (Costa et al., 2020; Ledru et al., 2020).

As regiões áridas e semiáridas do planeta são muito susceptíveis aos impactos negativos decorrentes das mudanças climáticas globais devido ao aumento das concentrações de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera do planeta. O efeito estufa é um fenômeno natural e necessário para a manutenção da temperatura terrestre, porém, em excesso, os GEE formam uma espécie de cobertura muito densa que retém o calor, aquecendo a superfície da Terra além do necessário, produzindo alterações no clima e causando problemas ambientais. A intensidade das alterações e variações climáticas causadas pelo aquecimento global é apontada como uma ameaça às condições de vida da população mundial, com diferenças na amplitude de seus efeitos (Paiva et al., 2015). Os principais GEE são o dióxido de carbono (CO_2) o óxido nitroso (N_2O), o metano (CH_4), os clorofluorcarbonetos (CFC), os hidrofluorcarbonetos (HCFC), os perfluorcarbonetos (PFC) e o hexafluoreto de enxofre (SF_6) (Dalsin, 2021).

Como saída aos efeitos das mudanças climáticas é o aproveitamento do potencial que a Caatinga possui, que é grande número de plantas com potencial forrageiro, as quais apresentam boa adaptação às condições naturalmente impostas pelo ambiente, com uma grande variedade de plantas anuais, cactáceas, gramíneas e leguminosas (Santos et al., 2010).

A utilização de práticas agrícolas insustentáveis são as principais causas do processo de degradação do solo em terras agricultáveis, promovendo alterações na cobertura vegetal, perdas de solo por erosão e queda de rendimento das culturas, motivando o abandono dessas áreas (Salah et al., 2016; Jardim et al., 2017). No entanto, a utilização de práticas que melhorem o aproveitamento dos recursos biofísicos e que aumentem a cobertura do solo é tida como alternativa para ambientes áridos e semiáridos vulneráveis às ações climáticas e antropogênicas, mitigando os processos de desertificação (Qian et al., 2018).

Em ambiente semiárido, os sistemas integrados de produção agropecuária têm sido projetados como forma de lidar com as adversidades agroclimáticas das savanas tropicais, ao

mesmo tempo em que amenizam os efeitos da erosão dos solos e aumentam a disponibilidade de água e nutrientes para as plantas ao longo dos ciclos produtivos (Atangana et al., 2014). De acordo com Cordeiro et al. (2015), os sistemas integrados associam os componentes agrícola, pecuário e florestal em uma mesma área, seja em consórcio, sucessão ou rotação. Estes sistemas, segundo Gontijo Neto et al. (2014), compreendem a integração Lavoura-Pecuária (ILP), Pecuária-Floresta (IPF), Lavoura-Floresta (ILF) e Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), podendo, também, ser denominados por agropastoril, silvipastoril, agroflorestal e agrossilvipastoril, respectivamente. Diferentes estudos mostraram a obtenção de aumento da fertilidade, da qualidade física e da atividade biológica a partir da adoção dos sistemas integrados de produção em diferentes condições edafoclimáticas (Abreu et al., 2020; Almeida et al., 2021; Assis et al., 2015, Stieven et al., 2014; Bonini et al., 2016).

As alterações climáticas estão inter-relacionadas com o aquecimento global, uma vez que é natural que a Terra passe por mudanças do clima. Entretanto, o aquecimento global, no contexto dos debates atuais, se caracteriza pelo aumento da temperatura além do natural, que pode ser causado por processos internos ao sistema atmosférico, ou ainda por influências externas como, por exemplo, pelo resultado da ação humana (Freitas et al., 2015).

Diante do exposto, este trabalho está dividido em duas partes. Na primeira foi executada uma revisão sistematizada sobre as emissões de GEE em pastagens de regiões semiáridas de todo o planeta, por meio de busca de trabalhos em plataformas de base de dados científicos (Google Scholar e Science Direct), bem como a produção de materiais que pudessem servir de base ao desenvolvimento de análises. Na segunda, foi desenvolvido um estudo de campo para avaliação dos GEE emitidos em um sistema integrado de produção animal na Caatinga, gerando uma análise e quantificação destes gases a fim de demonstrar e organizar relações e fluxos de gases para cada área.

1. 2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Estimar as emissões de gases causadores de efeito estufa pelo solo em um sistema integrado de produção animal na Caatinga.

1.2.2 Objetivos específicos

Realizar revisão sistematizada sobre o tema gases do efeito estufa em pastagens de regiões semiáridas.

Determinar os fluxos de CO₂, CH₄ e N₂O do solo em um sistema integrado de produção de caprinos na Caatinga, área de vegetação nativa e área de cultivo de capim buffel.

Acompanhar os fluxos de CO₂, CH₄ e N₂O do solo em um sistema integrado de produção de caprinos na Caatinga, área de vegetação nativa e área de cultivo de capim buffel.

Monitorar variáveis de solo nas áreas em estudo e identificar quais parâmetros possuem maior relação com as emissões de CO₂, CH₄ e N₂O e podem explicar os processos de formação destes gases nos solos da região.

1.2 Referências

ABREU, L. H. G.; FREITAS, I. C.; SANTANA, P. H. L.; BARBOSA, D. L. A.; SANTOS, L. D. T.; SANTOS, M. V.; SANGLARD, D. A.; FRAZAO, L. A. Variation in soil carbon, nitrogen and microbial attributes within a silvopastoral system in the Brazilian Cerrado. **Agroforestry Systems**, v. 94, n. 6, p. 2343-2353, 2020. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10457-019-00449-5>. Acesso em: Jul, 2023.

ALMEIDA, L. L. S.; FRAZÃO, L. A.; LESSA, T. A. M.; FERNANDES, L. A.; VELOSO, Á. L. C.; LANA, A. M. Q.; SOUZA, I. A.; PEGORARO, R. F.; FERREIRA, E. A. Soil carbon and nitrogen stocks and the quality of soil organic matter under silvopastoral systems in the Brazilian Cerrado. **Soil and Tillage Research**, v. 205, 104785, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198721001425>. Acesso em: Jul, 2023.

ASSIS, P. C.; STONE, L. F.; MEDEIROS, J. C.; MADARI, B. E.; OLIVEIRA, J. M.; WRUCK, F. J. Atributos físicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 4, p. 309-316, 2015.

ATANGANA, A.; KHASA, S. C.; DEGRANDE, A. Major agroforestry systems of the semiarid tropics. In: **Tropical Agroforestry**. 2014, Springer, Dordrecht. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-94-007-7723-1_5. Acesso em: Nov, 2022.

CABRAL, B. B.; SALOMON, K. R.; FERREIRA, I. V.L; Tendências do mercado de carbono mundial - Uma análise bibliométrica usando as bases de dados Scopus e SciELO. Disponível em: <http://www.repositorio.ufal.br/jspui/handle/123456789/9131>. Acesso em: Nov, 2022.

COSTA, M. S. da; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F. de; SANTOS, P. J. dos; CORREIA FILHO, W. L.; GOIS, G.; BLANCO, C. J. C.; TEODORO, P. E.; SILVA JUNIOR, C. A.; SANTIAGO, B. D.; SOUZA, E. O.; JARDIM, A. M. R. Filho. Rainfall extremes and drought in Northeast Brazil and its relationship with El Niño-Southern Oscillation. **International Journal of Climatology**, v. 41, p. E2111-E2135, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/joc.6835>. Acesso em: Jul, 2023.

FREITAS, I; FERREIRA, E; ALBUQUERQUE, C; Estratégias para incremento de carbono e retorno econômico em áreas de sequeiro com sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no semiárido. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 10, n. 7, p. E48710716769E48710716769, 2021. Disponível em: [doi:10.33448/rsd-v10i7.16769](https://doi.org/10.33448/rsd-v10i7.16769). Acesso em: Nov, 2022.

- LEDRU, M.-P.; JESKE-PIERUSCHKA, V.; BREMOND, L.; DEVELLE, A.-L.; SABATIER, P.; MARTINS, E. S. P. R.; FREITAS FILHO, M. R.; FONTENELE, D. P.; ARNAUD, F.; FAVIER, C.; BARROSO, F.; ARAÚJO, F. de S. When archives are missing, deciphering the effects of public policies and climate variability on the Brazilian semi-arid region using sediment core studies. **Science of the Total Environment**, v. 723, p. 01-16, 2020.
- LIMA, P. V. P. S.; MENDES, C. M.; ROCHA, L. A. O.; OLIVEIRA, L. A. No rastro da vulnerabilidade às secas: uma análise da produção de grãos no semiárido brasileiro, 2016. **Revista Eletrônica**, v. 19, n. 1, p. 183–196. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/53306>. Acesso em: Nov, 2022.
- PAIVA, D. S.; FERNANDEZ, L. G.; VENTURA, A. C.; ALVAREZ, G. Mercado voluntário de carbono: análises de com benefícios de projetos brasileiros. **Revista de Administração Contemporânea**, v. 19, p. 45-64, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/19827849rac20151240>. Acesso em: Jul, 2023.
- PORTO, P. P.; SALIBA, E. O. da S.; GONÇALVES, L. da C.; RODRIGUEZ, M. N.; BORGES, I.; BORGES, A. L. C. C.; RODRIGUES, J. A. da S.; IBRAHIM, G. H. F. Frações da parede celular e digestibilidade in vitro da matéria seca de três genótipos de girassol ensilados com aditivos. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 58, n. 1, p. 99-107, 2006.
- QIAN, X.; ZANG, H.; XU, H. Relay strip intercropping of oat with maize, sunflower, and mung bean in semi-arid regions of Northeast China: Yield advantages and economic benefits, 2018. **Field Crops Research**, v. 223, p. 33–40, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.04.004>. Acesso em: Nov, 2022.
- SANTOS, M. V. F.; LIRA, M. D. A.; DUBEUX JUNIOR, J. C. B.; GUIM, A.; MELLO, A. C. L.; CUNHA, M. V. da. Potential of Caatinga forage plants in ruminant feeding. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 39, n. SUPPL. 1, p. 204–215, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982010001300023>. Acesso em: Nov, 2022.
- STIEVEN, A.; OLIVEIRA, D.; SANTOS, J.; WRUCK, F.; CAMPOS, D. Impacts of integrated crop-livestock-forest on microbiological indicators of soil, 2014. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 9, n. 1, p. 53-58, 2014. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/1190/119030125010.pdf>. Acesso em: Nov, 2022.
- Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE). Relatório Final sobre a nova delimitação do Semiárido, 2021. Recuperado de <https://www.gov.br/sudene/pt-br/centrais-deconteudo/02semiaridorelatorionv.pdf>. Acesso em: Jul, 2023.
- TINSLEY, T.; CHUMBLEY, S.; MATHIS, C. Managing cow herd dynamics in environments of limited forage productivity and livestock marketing channels: An application to semi-arid Pacific island beef production using system dynamics, 2019. **Agricultural Systems**, v. 173, p. 78–93. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.02.014>. Acesso em: Nov, 2022.

3.EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA EM REGIÕES SEMIÁRIDAS: UMA REVISÃO SISTEMATIZADA¹

Luan Hamon costa; Diana Signor Deon

Resumo

As mudanças climáticas estão relacionadas ao aumento da concentração de gases do efeito estufa (GEE) na atmosfera e têm grande impacto em regiões de clima semiárido. Este trabalho teve como objetivo realizar uma revisão sistematizada sobre emissões de GEE em regiões semiáridas, com intuito de avaliar a dinâmica temporal das pesquisas nestas condições e fornecer subsídios para planejamento de atividades e discussão de resultados relacionados ao monitoramento das emissões de GEE na Caatinga, o bioma brasileiro sob influência de clima semiárido. A revisão sistematizada foi realizada pelo método Prisma nas seguintes bases de dados: Google Scholar e Science Direct. A busca foi realizada no mês de janeiro de 2023, restringindo o período de publicação de 2015 até 2022, utilizando os seguintes termos: "Soil greenhouse gases" AND (arid OR semi-arid) AND rangelands". Foram obtidos 24 resultados, sendo 17 publicações na base de dados Google Scholar e 7 publicações na base de dados Science Direct. A maior parte destes artigos é proveniente de estudos realizados na região semiárida da China (3 artigos) e Quênia (2 artigos). Além disso, a maioria dos trabalhos foi feita em regiões com precipitações anuais entre 200 e 600 mm, sendo o foco dos trabalhos o monitoramento das emissões de GEEs em pastagens e em áreas cultivadas com trigo, seguido pelas áreas florestadas. Os resultados nos permitem evidenciar a importância na China nas avaliações das emissões de GEEs em regiões Semiáridas e a similaridade de condições climáticas e de cultivos com a realidade do Semiárido brasileiro.

Palavras-chave: Prisma, mudanças climáticas, pastagens, método Prisma.

¹ Artigo será submetido a Revista Caatinga, UFERSA.

3.1 Introdução

O efeito estufa é necessário para a manutenção da temperatura terrestre, porém, em excesso, os gases de efeito estufa (GEE) formam uma espécie de cobertura muito densa que retém o calor, aquecendo a superfície da Terra além do necessário, produzindo alterações no

clima e causando problemas ambientais. A intensidade das alterações e variações climáticas causadas pelo aquecimento global é apontada como uma ameaça às condições de vida da população mundial, com diferenças na amplitude de seus efeitos (Paiva et al., 2015).

Os GEE são identificados a partir do Protocolo de Kyoto, tratado internacional entre os países signatários para redução da dispersão desses gases na atmosfera, entre os quais estão o dióxido de carbono (CO₂), o óxido nitroso (N₂O), o metano (CH₄), os clorofluorcarbonetos (CFC), os hidrofluorcarbonetos (HCFC), os perfluorcarbonetos (PFC) e o hexafluoreto de enxofre (SF₆). O aquecimento global, no contexto dos debates atuais, se caracteriza pelo aumento da temperatura além do natural, que pode ser causado por processos internos ao sistema atmosférico, ou ainda por influências externas como as ações antrópicas (Freitas et al., 2015).

A concentração dos principais GEE aumentou significativamente na atmosfera desde a Revolução Industrial, alcançando em 2019 níveis de 410 ppm de CO₂, 1.866 ppb de CH₄ e 332 ppb de N₂O (IPCC, 2021). As implicações das ações antrópicas sobre a natureza, principalmente após a Revolução Industrial, fizeram com que a humanidade, ao vivenciar obstáculos à sua qualidade de vida e ao progresso econômico, voltasse sua atenção e começasse discussões mundiais sobre o problema relacionado a degradações ambientais, dentre elas principalmente aquelas causadas pelas mudanças no clima (Blank, 2015).

As regiões enquadradas como áridas e semiáridas apresentam uma área de 59,86 milhões de km², o que corresponde a 40% das terras emersas do globo, onde vive cerca de 37% da população mundial. Essas zonas apresentam grande variabilidade climática e ocorrem em todos os continentes (Gutiérrez et al., 2017) e são muito susceptíveis aos impactos das mudanças climáticas globais.

No Brasil, a região sob influência do clima semiárido está localizada no Nordeste do país, onde se encontra a Caatinga, rico em diversidade e que apresenta uma vegetação com grande potencial forrageiro, nos estratos herbáceo, arbóreo e arbustivo. As gramíneas e dicotiledôneas herbáceas podem fazer parte da alimentação de ruminantes no período chuvoso com mais de 80% da dieta. Nesta região, os pastos plantados, quase exclusivamente com gramíneas, têm vegetação herbácea, mesclada com subarbustos e arbustos. As lavouras são predominantemente culturas de ciclo curto, com ciclos de três a seis meses entre plantio e colheita, espalhadas em múltiplos roçados, em geral com poucos hectares cada um (Araújo Filho, 2013; Souza et al., 2013).

O impacto e a contribuição das formas de uso da terra, especialmente da agricultura, para o aquecimento global têm sido discutidos pela comunidade científica nacional e

internacional. No Brasil, as emissões do setor agropecuária correspondem a cerca de 25% das emissões nacionais de GEE (MCTI,2022).

O presente trabalho tem como objetivo realizar, através de uma revisão bibliográfica, um levantamento das produções científicas sobre as emissões de gases do efeito estufa relacionadas a pastagens em regiões semiáridas do mundo, com intuito de verificar as metodologias utilizadas para medição dos GEE para essas áreas.

3.2 Tópicos da Revisão

"Soil greenhouse gases AND (arid OR semi-arid) AND rangelands"

3.3 Material e métodos

A revisão sobre o tema seguiu as diretrizes dos Itens de Relatório Proferidos para Revisões Sistemizadas e Meta-análises (PRISMA) (Athayde et al, 2017), a fim de nortear uma revisão sistematizada. A metodologia deste estudo consistiu em um levantamento exploratório de trabalhos publicados nas bases de dados Google Scholar e Science Direct. A busca textual foi feita em janeiro de 2023 utilizando a expressão: "Soil greenhouse gases AND (arid OR semi-arid) AND rangelands", onde se buscou verificar as metodologias utilizadas para medição dos GEE.

A escolha das palavras-chave se fez devido à importância e interesse em publicações científicas que especificassem os termos na região semiárida, visando apresentar o panorama científico das publicações existentes nas bases escolhidas, a partir do ano 2017.

Após as buscas nas bases de dados, foi realizada a leitura dos resumos das publicações e selecionadas apenas as publicações que tratavam sobre o tema e aptidão sobre as palavras-chaves sendo utilizado os seguintes critérios de exclusão: pluviosidade (limitado até 1000 mm), relação com o GEEs (CH₄, CO₂, N₂O). A análise e a discussão dos resultados foram desenvolvidas de acordo com as seguintes etapas: Base, local, ano de publicação, tipo de trabalho (meta-análise ou estudo experimental), cultura, tipos de GEEs avaliados, temperatura média do local de estudo, precipitação média do local de estudo, tipo de solo, adubação, uso de Biochar, preparo de solo. Os dados foram organizados e analisados em planilha eletrônica.

3.4 Resultados e discussão

Os resultados da busca geraram um total de 24 artigos, sendo 17 publicações na base de dados Google Scholar e 7 publicações na base de dados Science Direct (Figura 3.1). Foram observadas 5 publicações catalogadas em ambas as bases. Após a remoção das duplicatas, com base na leitura dos resumos, foram excluídos ainda 8 artigos, por não abordarem os três principais GEE ou por possuírem índice de pluviosidade acima de 1000 mm. Assim, para as análises posteriores foram considerados 11 artigos (Tabela 3.1).

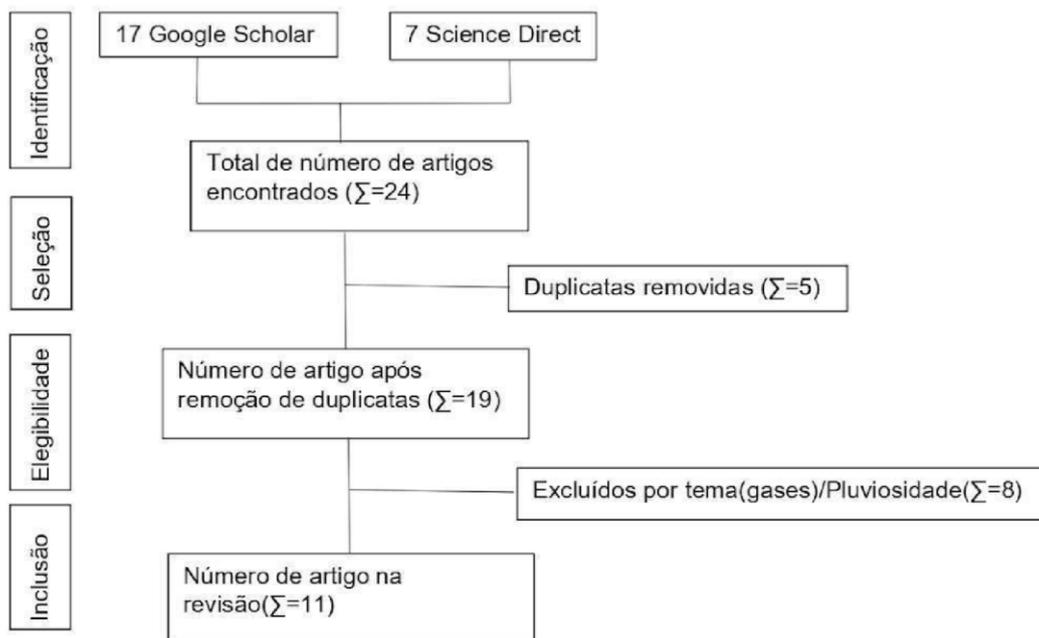


Figura 3.1. Fluxograma da seleção dos artigos buscados pelos termos “Soil greenhouse gases” AND (arid OR semi-arid) AND rangelands” nas bases de dados Google Scholar e Science Direct, com base em busca realizada em janeiro de 2023.

A Tabela 3.1 traz quais gases (CH_4 , CO_2 , N_2O) foram pesquisados nos artigos, bem como suas respectivas temperaturas médias e as principais espécies/culturas existentes nas áreas, e os países de produção.

Tabela 3.1. Gases estudados, temperatura, país e culturas de cada artigo selecionado

Nº	Autor	CO ₂	N ₂ O	Gases		TEMP.(C°)	PAÍS	CULTURAS
				CH ₄	Outros			
1	Prakriti et al. (2017)	X	X	X		22	China	Trigo
2	Hiram et al. (2017)	X	X			17	México	Variadas
3	Stolnikova et al. (2018)	X	X	X		4	Canadá	Pastagem
4	Oduor et al. (2018)	X	X	X		27	Quênia	Pastagem
5	Martinho et al. (2019)	X	X	X		15,2	Portugal	Arvores nativas e pastagem
6	Nduta et al. (2021)	x	x	x		27	Quênia	Pastagem
7	Signor et al. (2022)	X	X	X		27,2	Brasil	Pastagem
8	Hao et al. (2022)	X	X	X		9,1	China	Trigo
9	Chenbe et al. (2022)		X		X	16	China	Milho e Trigo
10	Kahumba et al. (2022)	X	X	X	X	20-37,5	Namíbia	Pastagem
11	Tanveer et al. (2022)	X	X	X		NI	NI	Variadas

Temp: Temperatura média do local onde o estudo foi realizado.

NI: não informado no trabalho

Foram selecionados artigos científicos publicados em periódicos nos idiomas português e inglês, sendo encontrado um total de 8 países na pesquisa. Nota-se um amplo domínio das publicações chinesas, as quais representam 3 artigos da produção científica do período avaliado. Além disso, o Quênia, se destacou a posição de produção nos países africanos com maior número de publicações nos tópicos pesquisados.

A plataforma de dados do Google Scholar mostrou resultados mais expressivos, o que pode ser explicado pela facilidade de acesso ao acervo de artigos e pode ser considerada uma

fonte segura e eficiente na busca por publicações científicas como artigos, resumos e dissertações. A plataforma Science Direct tem um índice de citação, por meio do qual o usuário pode encontrar publicações relacionadas à pesquisa, ou seja, utilizando palavras-chave e expressões é possível encontrar uma diversidade de materiais, que pode incluir artigos, teses e dissertações.

Dos artigos selecionados, a maior parte apresentou-se como trabalho experimental, com 9 publicações experimentais e 2 metas análises. A maior parte destes textos apresentou experimentos que abordam técnicas de medidas de gases de efeito estufa, enquanto outros mostraram modelagens matemáticas para estimar valores de emissão, seja para situações de desmatamento, manejo etc. O cultivo mais presente nos trabalhos avaliados são pastagens e trigo, seguido pelas áreas florestadas.

Além disso, dentre os artigos avaliados, cinco avaliaram o efeito de biocarvão sobre as emissões de GEE. Nesse sentido é importante destacar o potencial do biocarvão para promover retenção de água e nutrientes no solo, o qual ao ser incorporado ao solo, transfere para ele algumas de suas propriedades permitindo uma agricultura mais produtiva, eficiência do uso da água em agroecossistemas e contribui com a mitigação de mudanças climáticas provocadas pelo homem, ressaltando sua importância tanto do ponto de vista agrônomo, quanto ambiental (Barbosa, 2021).

Dentre os trabalhos selecionados nesta revisão, apenas dois trataram do tema adubação, sendo que a adubação, principalmente nitrogenada, é um dos principais fatores que impulsiona a emissão de GEE, em especial de N_2O , pelos solos agrícolas (Signor e Cerri, 2013).

O efeito do preparo de solo sobre as emissões de GEE foi objeto de estudo de três trabalhos. Dentre as principais fontes de GEE para a atmosfera estão as atividades de desmatamento e queima de resíduos vegetais, preparo de solo e aplicação de fertilizantes. Quando estes gases são provenientes do solo, a sua produção é influenciada por práticas que causam alterações nos atributos físicos, químicos e biológicos do mesmo (Bicalho et al., 2017).

A maior parte dos trabalhos foi desenvolvida em regiões onde a precipitação pluviométrica variou de 401 mm a 600 mm e 201 mm a 400 mm (Tabela 3.2), condições similares às observadas na maior parte do semiárido brasileiro. Além disso, nota-se concentração de publicações no último ano (2022) (Figura 3.2), demonstrando a importância do tema para as regiões semiáridas.

Tabela 3.2. Número de artigos encontrados na pesquisa em cada faixa de pluviosidade

Precipitação (mm)	Número de artigos
0<200	1
201-400	3
401-600	3
601-800	2
801-1000	1
Não informado	1

O aumento das emissões de GEE é uma preocupação mundial, especialmente nas últimas décadas pela acentuação das mudanças do clima. Em virtude disso, Estados Unidos, União Europeia e Brasil, três dos sete territórios que mais emitem GEE em escala global (IPCC, 2019), se comprometeram a zerar as emissões desses gases (neutralidade climática) até 2050. Nas atividades rurais, muitas vezes as emissões de CH₄ e N₂O são menores do que de CO₂, no entanto o potencial de aquecimento desses gases são, respectivamente, 25 e 310 vezes superior ao do dióxido de carbono (IPCC, 2019). Além disso, as emissões de metano e óxido nitroso da agricultura têm aumentado rapidamente nas últimas décadas (Tian et al., 2019), sendo que a maior parte dos trabalhos avaliados no presente estudo (aproximadamente 54%) trouxe dados sobre esses três gases juntos.

Maina (2019) coloca a necessidade do planejamento das atividades agropecuárias em relação às mudanças climáticas e emissão de GEE a fim de reduzir as perdas e melhorar a produção agrícola de sequeiro. Também uma das principais manifestações da mudança climática global é seu profundo impacto na emissão de GEE do solo terrestre. Numerosos experimentos de aquecimento de campo exploraram os efeitos de diferentes aumentos de temperatura em intensidades e durações nos fluxos de gases de efeito estufa do solo na estação de crescimento de diferentes ecossistemas terrestres (Wang et al, 2022).



Figura 3.2. Linha do tempo dos artigos publicados e países onde as pesquisas foram conduzidas

3.5 Conclusões

Os resultados da busca geraram 11 artigos após seleção com critérios citados. A maior parte destes artigos é proveniente de estudos realizados na região semiárida da China, mas também se percebe o Quênia como influente no tema. Além disso, a maioria dos trabalhos foi feita em regiões com precipitações anuais entre 200 e 600 mm, sendo o foco dos trabalhos o monitoramento das emissões de GEEs em áreas de vegetação nativa (Pastagens e áreas florestadas) e no cultivo de trigo. Dentre os 11 artigos selecionados após a busca, a análise revelou que a pesquisa sobre gases do efeito estufa está sendo abordada por meio de diferentes metodologias. Destes, 9 artigos foram identificados como estudos experimentais, nos quais foram realizadas medições diretas ou observações in loco das emissões de GEEs. Por outro lado, 2 artigos foram caracterizados como meta-análises, indicando uma abordagem de síntese e análise de dados coletados a partir de múltiplos estudos existentes.

3.6 Referências

ABDUL, D.; JIANG, W.; ARSALAN, T. Environmental stewardship: Analyzing the dynamic impact of renewable energy, foreign remittances, and globalization index on China's CO2 emissions. **Renewable Energy, Elsevier**, v. 201(P1), p. 418-425, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148122016159>. Acesso em: Jul, 2023.

ARAÚJO FILHO, J. A. Manejo Pastoril Sustentável Da Caatinga. Recife, PE: Projeto Dom Helder Câmara,. P.: II, P. 200, 2013. Disponível em: http://www.iicabr.iica.org.br/wpcontent/uploads/2015/06/manejo_pastoril_sustentavel. Acesso em: Nov,2022.

ATHAYDE, F.; MANCUZO, E. V.; CORRÊA, R. De A. Influência ambiental sobre a incapacidade física: uma revisão sistematizada da literatura. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 22, n. 11, p. 3645–3652, nov. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1413812320172211.01992017>. Acesso em: Nov,2022.

BARBOSA, E. S. Biocarvão (Biochar): alternativa potencial para sequestro de carbono no solo e mitigação de gases do efeito estufa, 2021. **Doutorado**, Universidade Federal do Ceará. Disponível em: <https://rvq-sub.sq.org.br/index.php/rvq/article/view/204>. Acesso em: Nov, 2022.

BICALHO, E.; MOITINHO, M. R.; TEIXEIRA, D. D. B. Soil Greenhouse Gases: Relations to Soil Attributes in a Sugarcane Production Area, **Soil Science Society of America Journal**, v.

81, n. 5, p. 1168-1178, 2017. Madison: Soil Sci Soc Amer. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/163556>. Acesso em: Jul, 2023.

BLANK, D. O contexto das mudanças climáticas e as suas vítimas. **Mercator (Fortaleza)**, v. 14, p. 157-172, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.4215/rm2015.1402.0010>. Acesso em: Nov, 2022.

FREITAS, I. C.; FERREIRA, E. A.; ALBUQUERQUE, C. J. Estratégias para incremento de carbono e retorno econômico em áreas de sequeiro com sistemas de integração lavourapecuária-floresta no semiárido. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 10, n. 7, pág. E48710716769-e48710716769, 2021. Disponível em: [doi:10.33448/rsd-v10i7.16769](https://doi.org/10.33448/rsd-v10i7.16769). Acesso em: Nov, 2022.

GUTIÉRREZ, M.; BIAGIONI, R. N.; ALARCÓN-HERRERA. An overview of nitrate sources and operating processes in arid and semiarid aquifer systems, 2017. Disponível em: DOI:10.1016/j.scitotenv.2017.12.252. Acesso em: Nov, 2022.

INTERGOVERNMENTAL PAINEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). "Summary for policymakers". In: **Climate change and land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems** [P.R. Shukla et al. (eds.)]. In press, 2019. Disponível em: http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?pid=S0009-67252021000100004&script=sci_arttext&tlng=pt. Acesso em: Nov, 2022.

MARTINHO, V. Estimating relationships between forest fires and greenhouse gas emissions: circular and cumulative effects or unidirectional causality?, **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 191, p. 581, 2019. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7770-z>. Acesso em: Jul, 2023.

MCTI – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. **Estimativas Anuais De Emissões De Gases De Efeito Estufa No Brasil**. MCTI, 2022. 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: Jan, 2023.

MÉNDEZ RAMÍREZ, J. H. Cambios en las poblaciones de bacterias metanogénicas y en la fermentación ruminal de bovinos alimentados bajo diferentes estrategias de alimentación, 2021. **Maestro en Ciencias de la Salud y de la Producción Animal**, Universidad Nacional Autónoma de México. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Ricardo-BasurtoGutierrez/publication/345969912_Changes_in_methanogenic_bacteria_populations_and_ruminal_fermentation_of_bovine_feed_under_different_feeding_strategies/links/5fb330cf299bf10c3685fb07/Changesin-methanogenic-bacteria-populations-and-ruminal-fermentation-of-bovine-feed-underdifferent-feeding-strategies.pdf. Acesso em: Jul, 2023.

ODUOR, C. O. Establishment Of Pasture Enclosures Restores Soil Organic Carbon And Increases Greenhouse Gas Emissions In A Semi-Arid Rangeland. **Tese de Doutorado**. University of Nairobi, 2018. Disponível em: <http://erepository.uonbi.ac.ke/handle/11295/105238>. Acesso em: Jul, 2023.

PRAKRITI, B.; URSZULA, N.; JAY, N. Effects of tillage system on greenhouse gas fluxes and soil mineral nitrogen in wheat (*Triticum aestivum*, L.)-fallow during drought. **Journal of**

Arid Environments, v. 147, p. 103-113, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2017.09.002>. Acesso em: Jul, 2023.

SIGNOR, D.; CERRI, C. E. P. Emissões de óxido nitroso em solos agrícolas: uma revisão. *Pesquisa Agropecuária Tropical* [online], v. 43, n. 3, p. 322-338, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1983-40632013000300014>. Acesso em: Nov, 2022.

SIGNOR, Diana; Medeiros, Thainay; Moraes, Salete A. de.; Corrêa, Luís C.; Tomazi, Micheli; Moura, Magna S. B. de.; & Deon, Magnus. Soil greenhouse gases emissions in a goat production system in the Brazilian semiarid region, 2022. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 52, e72371. <https://doi.org/10.1590/1983-40632022v5272371>. Acesso em: Jul, 2023.

SOUZA, R.; HARTZELL, S.; FENG, X. Optimal management of cattle grazing in a seasonally dry tropical forest ecosystem under rainfall fluctuations. **Journal of Hydrology**, v. 588, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125102>. Acesso em: Nov, 2022.

STOLNIKOVA, E. Long-term grazing effects on soil greenhouse gases emission and soil microbial communities of Alberta grasslands, 2018. Disponível em: <https://era.library.ualberta.ca/items/e64887ea-c66d-47e5-8839-b4e6c34b06b9>. Acesso em: Jul, 2023.

TIAN, H.; YANG, J.; XU, R.; et al.: Global soil nitrous oxide emissions since the preindustrial era estimated by an ensemble of terrestrial biosphere models: Magnitude, attribution, and uncertainty. **Global Change Biology**; 25: 640–659, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/gcb.14514>. Acesso em: Jul, 2023.

WANG, D.; ZHANG, D.; PAN, Q.; WANG, T.; CHEN, F.: Gas sensing performance of carbon monoxide sensor based on rod-shaped tin diselenide/MOFs derived zinc oxide polyhedron at room temperature. **Sensors and Actuators B: Chemical**, Volume 371, 132481. ISSN 0925-4005. , 2022. Disponível em <https://doi.org/10.1016/j.snb.2022.132481>. Acesso em: Jul, 2023.

WANYAGATHI, M.: The Kenyan Tax Regime for the Oil and Gas Sector: an International Tax Perspective to Policy and Practical Challenges. **Revista Derecho Fiscal N° 14**, enerojunio 2019. Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3385060>. Acesso em: Jan, 2023.

XIONG, X.; ZHANG, L.; HAO, Y.; ZHANG, P.; SHI, Z.; ZHANG, T. How urbanization and ecological conditions affect urban diet-linked GHG emissions: New evidence from China, 2022. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 176, p. 105903, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344921005127>. Acesso em: Jul, 2023.

4 EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA EM UM SISTEMA INTEGRADO DE

PRODUÇÃO ANIMAL NA CAATINGA

Luan Hamon Costa; Tatiane Luzia Gomes Galdino; Álida Maisa Dantas Resende; Salete Alves de Moraes; Magnus Dall'Igna Deon; Magna Soelma Beserra de Moura; Diana Signor Deon

Resumo

Conhecer as emissões de gases do efeito estufa (GEE) em diferentes usos do solo na região semiárida é uma atividade necessária para o desenvolvimento de planos de manejo que mitiguem as emissões, assegurando o desenvolvimento sustentável na Caatinga. O objetivo deste estudo foi estimar os fluxos de CO₂, CH₄ e N₂O pelo solo em áreas do sistema integrado CBL (Caatinga-Buffel-Leguminosas). O estudo foi desenvolvido no Campo Experimental da Caatinga, da Embrapa Semiárido, em Petrolina (PE). Foram avaliados, com o uso de câmaras estáticas, os fluxos dos três GEE em três áreas: (1) capim buffel; (2) Caatinga pastejada e; (3) Caatinga nativa preservada. As coletas foram realizadas no período de abril de 2022 a fevereiro de 2023. Todas as áreas comportam-se como dreno de CH₄ e fonte de CO₂ para a atmosfera. As áreas pastejadas apresentaram fluxos positivos de N₂O, enquanto a área nativa apresentou fluxo negativo deste gás. Na Caatinga nativa os fluxos de CH₄, CO₂ e N₂O foram, respectivamente, 0,83 mg C/m²/h, 24,47 mg C/m²/h, -74,60 μg N/m²/h. Já para Caatinga pastejada os fluxos médios observados foram, -2,68 mg C/m²/h, 24,22 mg C/m²/h, 43,67 μg N/m²/h, enquanto para o capim buffel os fluxos foram de 0,41 mg C/m²/h, 39,07 mg C/m²/h, 81,84 μg N/m²/h, respectivamente para CH₄, CO₂ e N₂O. A análise da matriz de correlação multivariada revela relações importantes entre as variáveis relacionadas aos gases de efeito estufa (GEEs) e às condições ambientais na área de estudo. Os resultados colaboram para o aprimoramento de informações sobre fluxos de GEE e de sistemas de cultivo em regiões semiáridas, contribuindo para o desenvolvimento de ações de mitigação.

Palavras-chave: Semiárido, Gases, CO₂, CH₄, N₂O.

4.1 Introdução

O efeito estufa natural é um fenômeno essencial para a existência da vida no planeta. Ele é causado pelos gases de efeito estufa (GEE), como o vapor de água, dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) e ozônio (O_3), presentes em concentrações baixas na atmosfera. Esses gases desempenham um papel crucial na manutenção da temperatura média global em torno de 16-18°C (IPCC, 2014).

No entanto, as atividades humanas têm contribuído para o aumento das concentrações desses gases na atmosfera, levando ao fenômeno do aquecimento global. O aquecimento global é caracterizado pelo aumento da temperatura média da superfície terrestre, resultante de fatores internos e externos. Fatores internos incluem sistemas climáticos complexos e não lineares, como atividade solar, composição atmosférica, tectonismo e vulcanismo. Fatores externos estão relacionados às emissões antropogênicas de GEE (MMA, 2021).

No Brasil, as emissões de GEE estão associadas a diversos setores, incluindo indústria, energia, agricultura e mudanças no uso e cobertura da terra. O país possui uma extensa vegetação nativa, sendo o segundo em área florestal do mundo, atrás apenas da Rússia, e o primeiro em florestas tropicais (FAO, 2020). No entanto, entre 2010 e 2015, o Brasil sofreu perdas significativas em sua cobertura florestal, e em 2019, o setor de mudança no uso e cobertura da terra foi responsável por 60% das emissões totais de CO_2 do país (SEEG, 2020).

O setor de agricultura, florestas e outros usos da terra foi responsável por 23% das emissões globais de GEE de origem antropogênica no período de 2007 a 2016, de acordo com o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC). No Brasil, a conversão de terras para agricultura foi responsável por 41% das emissões líquidas de CO_2 do setor de uso da terra entre 2010 e 2016 (MCTI, 2020).

Além do CO_2 , outros GEE, como CH_4 e o N_2O , também desempenham um papel significativo nas mudanças climáticas. O CH_4 é o segundo gás de efeito estufa mais abundante na atmosfera e possui um potencial de aquecimento global 25 vezes maior que o CO_2 (IPCC, 2007). O N_2O é um gás de longa duração, com potencial de aquecimento global de 298 (IPCC, 2001).

No contexto da região nordeste do Brasil, a Caatinga, um bioma caracterizado por um clima semiárido, desempenha um papel importante nas emissões de GEE. Estudos demonstram que as emissões de GEE na Caatinga são menores em comparação a outros biomas brasileiros (Ribeiro et al., 2016). No entanto, é importante ressaltar que as pesquisas sobre emissões de

gases na Caatinga ainda são incipientes e necessitam de maior embasamento (Signor et al., 2022).

Diante desse cenário, é fundamental avaliar as emissões de GEE em diferentes usos do solo na região semiárida, como a Caatinga, a fim de desenvolver planos de manejo adequados que contribuam para o desenvolvimento sustentável. Os sistemas integrados de produção agropecuária têm sido projetados como uma forma de lidar com as adversidades agroclimáticas da região, ao mesmo tempo que contribuem para a redução da erosão do solo e disponibilizam água e nutrientes para as plantas ao longo dos ciclos produtivos (Atangana et al., 2014).

Para mitigar as emissões de GEE, é necessário fortalecer o manejo da matéria orgânica do solo na região Nordeste do Brasil, levando em consideração a diversidade edafoclimática, o histórico de ocupação e uso da terra, os modelos agrícolas vigentes e os processos associados à degradação, como a salinização, erosão e desertificação (Giongo, 2021).

Nesse contexto, é importante destacar a importância da adoção de políticas públicas voltadas para a conservação da Caatinga e o uso de espécies nativas como ferramentas para a recuperação de áreas degradadas e a proteção da biodiversidade. Além disso, o estabelecimento de mecanismos de pagamento pelos serviços ambientais, incluindo os relacionados à regulação climática, pode ser uma estratégia eficaz para promover a mitigação e adaptação às mudanças climáticas (Anderson-Teixeira et al., 2012).

O entendimento das emissões de GEE, suas fontes e impactos na região Nordeste do Brasil, especialmente na Caatinga, é essencial para o desenvolvimento de estratégias de manejo e políticas públicas efetivas que promovam a sustentabilidade ambiental e o enfrentamento das mudanças climáticas. O presente trabalho tem como objetivo estimar as emissões de gases causadores de efeito estufa pelo solo em um sistema integrado de produção na Caatinga.

4.2 Material e métodos

O estudo foi desenvolvido no Campo Experimental da Caatinga, da Embrapa Semiárido, em Petrolina (PE), com coordenadas 09°04'S e 40°19'W e altitude 389 m. Foram utilizadas nesse estudo áreas que compõem o sistema silvipastoril de produção de caprinos de corte implantado do Campo Experimental da Embrapa Semiárido, conhecido como sistema CBL (Caatinga-Buffel-Leguminosas). Nesse sistema, os animais permanecem sob pastejo em área de Caatinga durante os meses chuvosos e, durante os meses de seca, ficam alocados em piquetes de capim Buffel (*Cenchrus ciliaris*), recebendo suplementação de misturas com leguminosas

(Signor et al., 2022). Além disso, uma área de Caatinga nativa não pastejada também foi avaliada para fins de comparação.

A temperatura média histórica (1991-2020) da região é de 27,2°C e a precipitação anual média histórica (1991-2020) é de 419 mm, com regime de chuvas irregularmente distribuído e concentrado entre os meses de novembro a abril. Temperatura e precipitação observadas ao longo do período de estudo são apresentadas na Tabela 4.1. O clima da região é BSw^h, segundo a classificação de Köppen, o que a caracteriza como semiárido quente. O solo é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo, situado em relevo plano, cuja caracterização química é apresentada na Tabela 4.2. Dados de umidade gravimétrica do solo ao longo do período de avaliação são apresentados na Tabela 4.3.

Nas áreas experimentais, foram avaliados três tratamentos: (1) capim buffel; (2) caatinga pastejada e; (3) caatinga nativa preservada. O tratamento 1 era originalmente ocupado com Caatinga nativa, tendo sido desmatado há mais de 50 anos, e, atualmente, encontra-se cultivado com capim buffel, sendo utilizado para o livre pastejo por caprinos de corte. Já o tratamento 2 representa uma área de Caatinga nativa que vem sendo pastejada por caprinos há cerca de 30 anos. O tratamento 3 consiste apenas em vegetação nativa de Caatinga, que será tomada como área de referência.

Tabela 4. 1 Precipitação acumulada e temperatura média do ar no Campo Experimental da Caatinga, em Petrolina – PE, ao longo do período de avaliação

Data de coleta	Precipitação acumulada entre as coletas (mm)	Temperatura média do período (°C)
23/04/2022	26,5	26,5
12/05/2022	0,5	25,9
27/05/2022	30,7	25,9
09/06/2022	26,7	24,5
21/06/2022	10,2	24,0
07/07/2022	21,1	23,3
20/07/2022	3,8	24,6
04/08/2022	2,3	24,6
16/08/2022	0,5	24,6
08/09/2022	2,3	25,8
06/10/2022	0,0	26,0
28/10/2022	31,2	27,2
17/11/2022	89,7	26,3
19/12/2022	97,0	26,2
11/01/2023	107,9	26,4
26/01/2023	7,4	26,4

Fonte: Próprio Autor

Tabela 4. 2 Análise química de em um Argissolo Vermelho-Amarelo em áreas de Caatinga nativa, Caatinga pastejada e buffel, no Campo Experimental da Caatinga, em Petrolina - PE

Área	Profundidade (cm)	CE	pH	MO	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	V	Cu	Fe	Mn	Zn
		mS cm ⁻¹	-	g dm ⁻³	mg kg ⁻¹	-----cmol _c dm ⁻³ -----							%	-----mg dm ⁻³ -----				
CAPIM BUFFEL	0-10 cm	0,33	5,26	4,58	7,52	0,33	0,10	1,24	0,60	0,38	2,48	2,26	4,78	49,04	1,95	99,20	53,73	3,12
	10-20 cm	0,45	5,02	2,78	1,77	0,26	0,09	1,00	0,44	0,43	3,10	1,80	4,88	36,94	1,90	110,45	21,41	2,33
	20-30 cm	0,22	5,00	2,64	1,11	0,26	0,11	1,10	0,48	0,64	3,22	1,98	5,18	37,80	2,03	89,52	17,76	1,12
	30-40 cm	0,27	5,06	1,70	1,41	0,22	0,11	1,26	0,60	0,44	2,82	2,18	5,02	44,48	1,55	69,30	22,68	1,15
	40-60 cm	0,24	4,50	0,10	0,49	0,20	0,26	1,80	1,00	0,15	2,60	3,30	5,90	55,30	1,55	56,84	16,87	2,31
	60-80 cm	0,26	5,20	0,80	1,07	0,09	0,25	1,80	0,70	0,40	2,90	2,80	5,70	49,70	1,31	58,26	25,33	0,69
	80-100 cm	0,45	6,00	0,30	1,28	0,08	0,41	1,60	1,00	-	1,90	3,10	5,00	61,70	1,29	58,71	15,86	0,63
CAATINGA PASTEJADA	0-10 cm	0,40	5,76	9,86	6,17	0,24	0,06	1,50	0,74	0,04	1,64	2,54	4,18	61,14	1,45	65,77	98,40	1,90
	10-20 cm	0,32	5,26	4,56	3,70	0,20	0,07	1,06	0,53	0,18	2,34	1,86	4,20	44,48	1,54	68,60	45,87	1,12
	20-30 cm	0,23	5,24	4,16	1,41	0,23	0,07	1,14	0,55	0,42	2,78	1,98	4,78	41,20	1,65	60,97	40,32	1,11
	30-40 cm	0,22	5,00	0,40	1,07	0,28	0,09	1,60	0,90	1,00	3,80	2,90	6,70	42,80	2,22	56,73	28,56	1,11
	40-60 cm	0,14	5,00	0,50	0,35	0,34	0,11	2,20	1,30	1,00	3,40	4,00	7,30	54,00	1,77	46,07	30,18	1,02
	60-80 cm	0,56	5,00	0,40	1,14	0,31	0,12	2,40	1,30	0,55	2,90	4,10	7,00	58,90	1,42	36,49	22,78	0,89
	80-100 cm	0,28	5,10	0,40	0,49	0,17	0,09	2,80	1,60	0,20	2,40	4,70	7,10	66,00	1,09	38,89	13,14	0,69

CAATINGA	0-10 cm	0,43	5,76	36,89	4,63	0,27	0,15	2,59	1,31	0,05	1,51	4,33	5,80	69,30	1,56	53,99	57,56	2,34
NATIVA	10-20 cm	0,37	5,56	6,77	0,47	0,19	0,10	1,53	0,83	0,23	1,87	2,67	4,53	58,07	1,57	57,65	30,01	1,55
	20-30 cm	0,55	5,43	5,10	0,31	0,25	0,13	1,19	0,57	0,17	2,06	2,16	4,21	51,99	1,72	60,35	13,94	1,04
	30-40 cm	0,21	5,05	3,65	0,60	0,16	0,05	1,00	0,45	0,60	3,40	1,60	5,00	32,35	1,61	88,60	5,50	0,65
	40-60 cm	0,26	5,00	2,90	0,06	0,18	0,07	1,10	0,55	0,83	3,60	1,90	5,50	34,65	2,06	73,16	9,52	0,76
	60-80 cm	0,32	5,05	2,65	0,06	0,16	0,07	2,00	1,15	0,60	3,25	3,35	6,65	50,85	1,75	81,14	13,74	0,61
	80-100 cm	0,23	5,35	2,80	0,35	0,10	0,13	1,85	0,90	0,10	1,90	2,95	4,85	60,70	1,52	51,37	5,84	0,47

Fonte: Próprio Autor

Tabela 4. 3 Umidade gravimétrica de um Argissolo sob diferentes usos da terra em um Argissolo Vermelho-Amarelo em áreas de Caatinga nativa, Caatinga pastejada e buffel, no Campo Experimental da Caatinga, em Petrolina - PE, ao longo do período de avaliação

Datas Coletas	Caatinga nativa (%)	Capim Buffel (%)	Caatinga pastejada (%)
23/04/2022	5,12	3,09	3,93
12/05/2022	2,05	3,63	0,95
27/05/2022	5,22	4,92	4,91
09/06/2022	4,91	5,22	4,92
21/06/2022	1,19	1,01	3,25
07/07/2022	3,35	1,67	4,61
20/07/2022	1,86	1,93	1,92
04/08/2022	1,33	0,73	0,58
16/08/2022	1,41	0,39	0,51
08/09/2022	1,22	0,40	0,40
06/10/2022	0,84	0,33	0,45
28/10/2022	4,95	4,70	4,73
17/11/2022	13,80	1,48	2,14
11/01/2023	4,19	5,36	2,65
26/01/2023	12,55	2,79	1,51
MÉDIA	4,27	2,51	2,50

Fonte: Próprio Autor

A área total do sistema de produção CBL no Campo Experimental da Caatinga é composta por 35 ha de capim Buffel e 120 ha de Caatinga pastejada, a qual é dividida em quatro piquetes para uso rotacionado. A área de capim Buffel é dividida em seis piquetes, dos quais quatro são para pastejo direto (aproximadamente 8 ha cada) e dois são piquetes de reserva com aproximadamente 1,5 ha cada (Signor et al., 2022).

Nessas áreas foram avaliadas as emissões de N_2O , CH_4 e CO_2 pelo solo, com uso de câmaras estáticas de topo fechado, compostas por bases confeccionadas em aço galvanizado, em formato retangular com dimensões de 60 cm x 40 cm x 5 cm (Signor et al., 2022). As bases

foram instaladas no campo no início das avaliações e permaneceram no mesmo local durante todo o período de avaliação, a fim de evitar perturbações no solo.

Amostras de ar para análise da concentração de GEE emitidos pelo solo foram coletadas nas áreas entre abril de 2022 e janeiro de 2023. No momento das coletas, o topo das câmaras foi acoplado à base e amostras de ar e retiradas no momento no fechamento das câmaras (tempo 0) e, em seguida, aos 10, 20 e 40 minutos após o fechamento. As amostras foram coletadas em seringas de polipropileno de 20 mL por meio de uma válvula de três vias do tipo luer lock instalada no topo. Para análise de concentração dos gases, as amostras de ar foram acondicionadas em frascos de vidro evacuados (-80 KPa) e lacrados com septo de silicone, onde permaneceram armazenadas até o momento da análise.

A análise foi realizada na Embrapa Semiárido, em cromatógrafo gasoso Agilent, modelo 7890A. O equipamento possui forno de injeção a 60°C, detector do tipo FID (120°C), para determinações das concentrações de CO₂ e CH₄ e, detector μ ECD (300°C) para determinação das concentrações de N₂O, conforme descrito em Signor et al. (2022).

Para entender e prever os processos de produção de gases e as taxas de emissão, alguns parâmetros auxiliares de clima e solo que influenciam diretamente na magnitude dos fluxos dos gases do solo foram monitorados durante o período de avaliação. Para isso, em todas as coletas de gases, foram coletadas também amostras de solo para determinação dos teores de umidade gravimétrica e pH do solo. As coletas de amostras de solo deformadas foram realizadas próximo às câmaras estáticas, com o auxílio de um trado Holandês na profundidade de 0-10 cm.

Os dados foram tabulados em planilhas eletrônicas. Para cada área, os fluxos médios nas estações seca e chuvosa foram comparados por testes de média. A fim de compreender melhor os fatores que interferem nas emissões de GEE em cada área, os dados de cada uso da terra foram submetidos à análise de componentes principais. Foi realizada a análise multivariada dos dados para fins exploratórios, considerando os atributos químicos e físicos dos solos e os fluxos de GEE em todas as áreas estudadas. Na Análise de Componentes Principais (PCA) os tratamentos foram plotados em relação aos dois primeiros componentes (PC1 e PC2) utilizando o programa estatístico R (R Core Team, 2018). Após a primeira avaliação dos dados através da análise multivariada, foram excluídas da análise as variáveis respostas que não tiveram contribuições igual ou superior a 0,05% para os dois primeiros componentes. Para a confecção das figuras utilizou-se o software SigmaPlot versão 2014.

4.3 Resultados e discussão

Com base nas coletas iniciadas no mês de abril de 2022, foram realizadas 16 coletas de gases, as quais forneceram dados sobre os fluxos médios de CH₄, N₂O e CO₂ de cada área avaliada (Figuras 4.1, 4.2 e 4.3)

Os fluxos médios de CO₂ variaram de -4,13 a 120,05 mg C /m²/h (Figura 4.1). Não foi observada uma tendência clara de separação entre os tratamentos avaliados. No entanto, a partir de novembro, houve um crescimento em todas as áreas, refletindo o aumento da respiração do solo devido à ocorrência de chuvas na região. Esse aumento na respiração do solo pode ser atribuído ao aumento da umidade resultante das chuvas, o que favorece os processos microbianos envolvidos na decomposição da matéria orgânica lábil do solo e, conseqüentemente, a produção e emissão de CO₂ (Brito et al., 2015; Sharkhuu et al., 2016), no caso de fluxos negativos isso implica que a quantidade de CO₂ retirada da atmosfera é maior do que a quantidade de CO₂ adicionada a ela.

Ribeiro et al. (2016), avaliando as emissões de GEE em pastagem e Caatinga, em Garanhuns - PE, também não observaram diferença significativa entre áreas, indicando que a cobertura do solo não teve influência direta na formação de gás no substrato. Os resultados daqueles autores sugeriram que outros fatores não abordados no estudo regularam essa emissão, sendo que a quantidade de água disponível no solo foi identificada como um fator determinante.

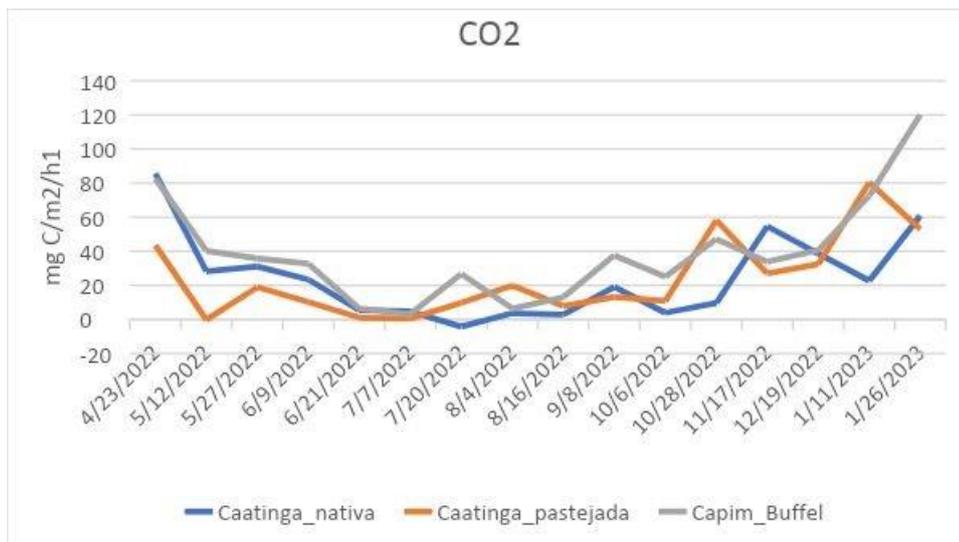


Figura 4.1 Fluxos de CO₂ (mg C/m²/h) entre 23/04/2022 a 26/01/2023 em um Argissolo Vermelho-Amarelo em áreas de Caatinga nativa, Caatinga pastejada e buffel, no Campo Experimental da Caatinga, em Petrolina - PE

Os fluxos de CH₄ variaram de -22,58 a 23,22 µg C /m²/h (Figura 4.2). Os fluxos apresentaram valores negativos ou próximos a zero, indicando atividade metanogênica no solo na primeira coleta e um equilíbrio entre a atividade metanogênica e a metanotrófica nas coletas subsequentes. A produção de CH₄ ocorre principalmente em condições anaeróbicas, quando a matéria orgânica é decomposta anaerobicamente por microrganismos metanogênicos. Por outro lado, a oxidação de CH₄ ocorre na presença de oxigênio, sendo as bactérias metanotróficas aeróbicas obrigatórias. Portanto, a disponibilidade de oxigênio regula a atividade metanotrófica e as condições de anaerobiose resultam na produção de CH₄ (Besen et al., 2018; Garcia, 2022).

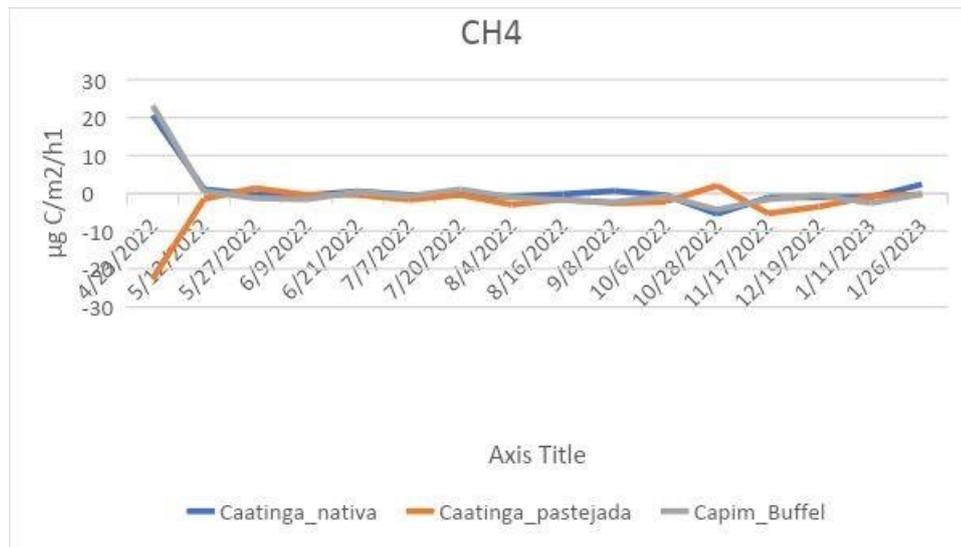


Figura 4.2 Fluxos de CH₄ (µg C/m²/h) entre 23/04/2022 a 26/01/2023 em um Argissolo Vermelho-Amarelo em áreas de Caatinga nativa, Caatinga pastejada e buffel, no Campo Experimental da Caatinga, em Petrolina – PE

Já os fluxos de N₂O variaram de -653,02 a 737,97 µg N/m²/h (Figura 4.3). Houve um aumento em todos os tratamentos da primeira para a segunda coleta e, nos períodos subsequentes, os fluxos foram reduzidos em relação à coleta anterior. Essa variação pode estar relacionada a fatores como a disponibilidade de substratos para os microrganismos nitrificantes e desnitrificantes e às condições ambientais, como a umidade do solo e a temperatura (Chen et al., 2016).

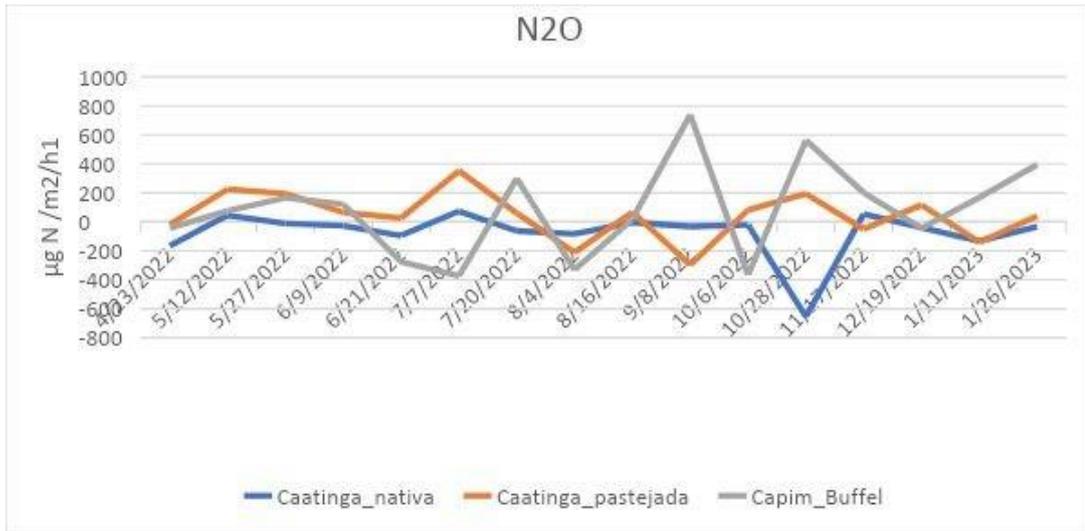


Figura 4.3 Fluxos de N₂O (µg N /m²/h) entre 23/04/2022 a 26/01/2023 em um Argissolo Vermelho-Amarelo em áreas de Caatinga nativa, Caatinga pastejada e buffel, no Campo Experimental da Caatinga, em Petrolina - PE.

Os maiores fluxos de CO₂ foram associados aos maiores eventos pluviométricos observados neste estudo e sugerem que, nessa região, a umidade do solo é o principal fator limitante para a decomposição. Esses resultados são consistentes com estudos anteriores que relataram maiores emissões de CO₂ em períodos chuvosos e quentes, em comparação com períodos secos e frios, em pastagens e solos em geral (Brito et al., 2015; Sharkhuu et al., 2016). A umidade do solo aumenta a respiração das raízes e os processos microbianos envolvidos na decomposição da matéria orgânica, favorecendo a produção e emissão de CO₂ (Wagner; Wolf, 1999). Após os eventos de chuva, como o solo é bem drenado, a decomposição de compostos de carbono ocorre por meio de uma via aeróbica, o que leva a uma liberação rápida de CO₂ (Neff et al. 2008, Notaro et al. 2014). Além disso, é esperado que o aumento da respiração do solo após a chuva seja resultado da resposta rápida dos microrganismos à oferta de água (Borken e Matzner 2009). Na região semiárida, o CO₂ é o principal gás de efeito estufa emitido pelos solos, em conformidade com relatos de outros autores (Potter et al. 2010, Bernardi et al. 2011, Signor et al. 2013).

Em relação aos fluxos de CO₂ e CH₄ na Caatinga nativa, foram observados fluxos positivos de CH₄ em algumas ocasiões. Isso pode parecer contraditório em um ambiente semiárido, onde o solo permanece predominantemente em condições aeróbicas. No entanto, nas áreas de Caatinga nativa, a maior parte da biomassa aérea produzida pelas plantas durante a estação chuvosa é adicionada ao solo na forma de serapilheira, que não é consumida pelos animais como ocorre em áreas de pastagens. Essa serapilheira acumulada na superfície do solo se decompõe lentamente durante a estação seca, devido à escassez de água, diminuindo a população microbiana e a decomposição da matéria orgânica. Na próxima estação chuvosa, os

restos vegetais da serapilheira são facilmente decompostos por microrganismos do solo, gerando condições anaeróbias que favorecem a produção de CH_4 . Nas áreas de pastagens, a disponibilidade de resíduos no solo seria menor devido à remoção de material pelo pastejo (Signor et al., 2022), porém também foram encontrados fluxos positivos, sendo possível ocorrer a acumulação de resíduos vegetais, especialmente em condições de pastejo moderado ou baixo, onde a vegetação não é consumida em sua totalidade. Esses resíduos vegetais podem se decompor lentamente durante períodos de escassez de água, como na estação seca, resultando em condições favoráveis para a produção de metano em ambiente anaeróbico, bem como os resíduos animais produzidos por esse pastejo.

Os resultados das coletas de gases mostraram variações nos fluxos médios de CO_2 , CH_4 e N_2O ao longo do tempo, com influência dos eventos pluviométricos e das condições de umidade do solo. Os valores de CO_2 foram mais elevados, indicando uma maior atividade de respiração do solo, enquanto os valores de CH_4 foram negativos ou próximos a zero, sugerindo atividade metanotrófica no solo. De acordo com estudos anteriores (Borrel et al., 2011; Guérin; Abril, 2007), foi observado que a atividade metanotrófica é influenciada pela disponibilidade de oxigênio e água. Esses resultados são consistentes com estudos anteriores (Signor et al., 2022, Ribeiro et al., 2016) e fornecem insights importantes sobre os processos de emissão de gases do solo em diferentes condições ambientais e de uso da terra.

Em relação ao dióxido de carbono (CO_2), durante a época seca, a Caatinga nativa apresentou um fluxo médio de 11,10 mg C/m²/h, enquanto a Caatinga pastejada registrou uma média de 9,23 mg C/m²/h e o capim Buffel apresentou o fluxo de 22,34 mg C mg C/m²/h (Tabela 4.4). Durante a época chuvosa, os valores médios aumentaram significativamente em todas as áreas, com a Caatinga nativa atingindo 36,01 mg C/m²/h, a Caatinga pastejada registrando 41,75 mg mg C/m²/h e o capim Buffel com a maior média de 66,20 mg C/m²/h. Esses resultados indicam que o CO_2 é liberado durante a respiração das plantas e da atividade microbiana do solo, sendo influenciado pelas condições climáticas e pelo tipo de vegetação.

Tabela 4. 4 Fluxos de gases de efeito estufa nas épocas seca e chuvosa entre 23/04/2022 a 26/01/2023 em um Argissolo Vermelho-Amarelo em áreas de Caatinga nativa, Caatinga pastejada e buffel, no Campo Experimental da Caatinga, em Petrolina - PE.

Fluxos de gases de efeito estufa	Época Seca	Época Chuvosa
	Caatinga nativa	
CO ₂ (mg C/m ² /h)	11,10 B	36,01 A
CH ₄ (µg C/m ² /h)	-0,13 A	-6,11 B
N ₂ O (µg N /m ² /h)	-16,24 A	-218,71 A
	Caatinga pastejada	
CO ₂ (mg C/m ² /h)	9,23 B	41,75 A
CH ₄ (µg C/m ² /h)	-1,04 A	-5,34 B
N ₂ O (µg N /m ² /h)	47,94 A	25,45 A
	Capim Buffel	
CO ₂ (mg C/m ² /h)	22,34 B	66,20 A
CH ₄ (µg C/m ² /h)	-0,74 A	8,67 A
N ₂ O (µg N /m ² /h)	46,51 A	146,93 A

Em relação ao CH₄, durante a época seca, a Caatinga nativa apresentou uma média de -0,13 µg C /m²/h, enquanto a Caatinga pastejada registrou uma média de -1,04 µg C /m²/h e o capim Buffel apresentou uma média de -0,74 µg C /m²/h. Durante a época chuvosa, a Caatinga nativa e a Caatinga pastejada apresentaram redução nos fluxos de CH₄ do solo (atividade metanotrófica), com fluxos médios de -6,11 µg C/m²/h e -5,34 µg C/m²/h, respectivamente, enquanto o capim Buffel registrou fluxo semelhante à época seca (8,67 µg C/m²/h).

Quanto ao N₂O, não foram observadas diferenças significativas entre as épocas de amostragem para nenhuma das áreas avaliadas. Durante a época seca, a Caatinga nativa registrou uma média de -16,24 µg N /m²/h, enquanto a Caatinga pastejada apresentou 25,45 µg N /m²/h e o capim Buffel registrou 46,51 µg N /m²/h. Durante a época chuvosa, a Caatinga nativa registrou um fluxo médio de -218,71 µg N /m²/h, a Caatinga pastejada de 47,94 µg N /m²/h e o capim Buffel de 146,93 µg N /m²/h. A atividade microbiana do solo, a disponibilidade de nitrogênio e as condições ambientais influenciam a produção e a emissão de N₂O. Além

disso, o manejo do solo, como o pastejo, pode ter um papel significativo na liberação de N₂O (Signor e Cerri, 2013).

De acordo com estudos anteriores (Ribeiro et al., 2016), foi observado que os fluxos de N₂O durante as estações chuvosa foram significativamente maiores do que aqueles observados na estação seca. A umidade do solo apresenta uma correlação forte e positiva ($r^2=0,99$) com a emissão de N₂O, indicando que a presença de água estimula a atividade dos microorganismos responsáveis pela emissão desse gás.

No contexto das análises dos fluxos de GEE, observou-se que o tipo de vegetação, o manejo do solo e as condições climáticas desempenham papéis cruciais. As variações nos fluxos de CO₂, N₂O e CH₄ ao longo do tempo indicam sensibilidade a fatores temporais, chuvas concentradas afetando CH₄ na Caatinga e a quantidade irregular de chuva influenciando a emissão de GEE. A temperatura também desempenha um papel significativo, com altas temperaturas na região semiárida da Caatinga. A disponibilidade de água é essencial para a vegetação nativa da Caatinga e a fauna local. Além disso, dados de temperatura do solo e do ar revelam diferenças entre áreas de vegetação nativa, pastejada e com a cultura do Buffel, evidenciando a influência do tipo de vegetação nas condições térmicas do ambiente.

Esses resultados destacam a importância de considerar a variabilidade temporal e espacial dos fluxos de GEEs ao realizar estudos sobre as emissões de GEE. Compreender os fatores que influenciam essas emissões em diferentes áreas e ao longo do tempo é fundamental para a elaboração de estratégias eficazes de mitigação das mudanças climáticas.

4.3.1 Análise multivariada dos dados

A análise multivariada demonstra que foram necessários 8 componentes principais para explicar 100% dos dados (Figura 4.4) de modo que os dois primeiros componentes explicam 75,30% da variação dos dados.

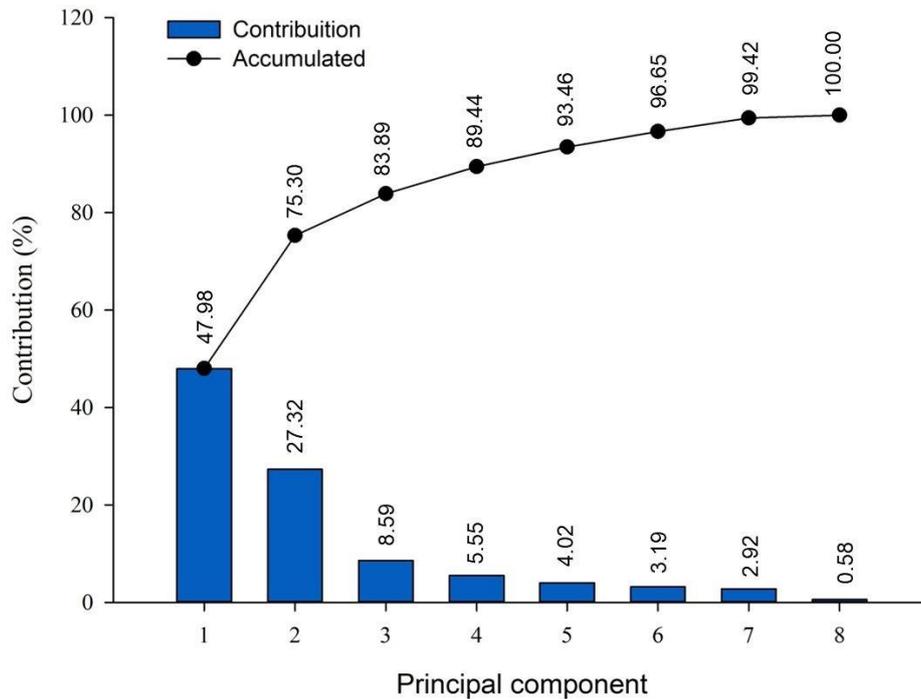


Figura 4.4 Componentes principais da Análise Multivariada dos dados de emissões de gases de efeito estufa (CO_2 , CH_4 e N_2O) em áreas de Caatinga nativa, Caatinga pastejada e capim buffel em um Argissolo Vermelho-Amarelo em Petrolina-PE

As variáveis que mais contribuem para o componente principal 1 (CP1) foram o C (10,28%), Ca (10,02%), Mg (10,03%) e o P (7,33%). (Figura 4.7)

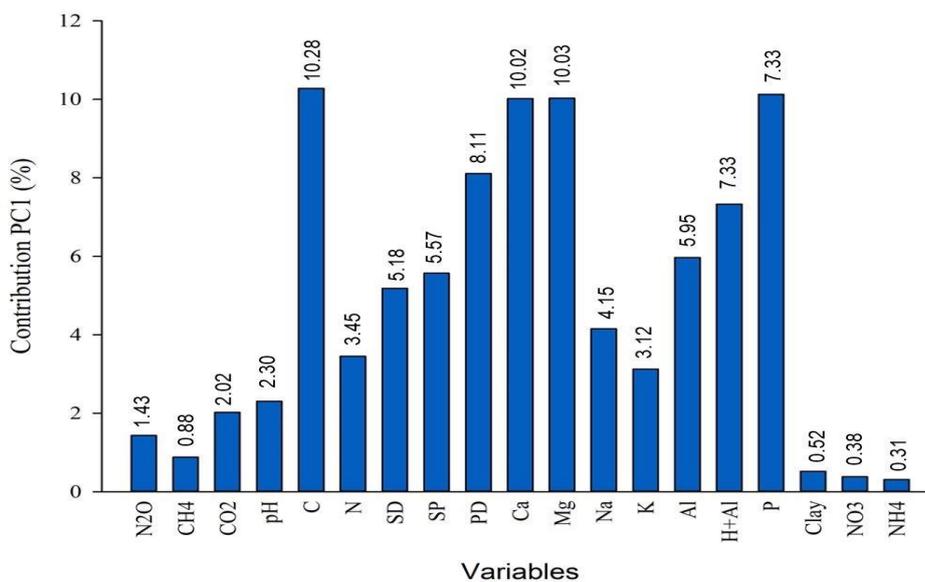


Figura 4.5 Variáveis do componente principal 1 da Análise Multivariada dos dados de emissões de gases de efeito estufa (CO_2 , CH_4 e N_2O) em áreas de Caatinga nativa, Caatinga pastejada e capim buffel em um Argissolo Vermelho-Amarelo em Petrolina-PE

O CP2 teve maiores contribuições da argila (14,05%), K (12,41%) e N (12,00%) (Figura 4.6).

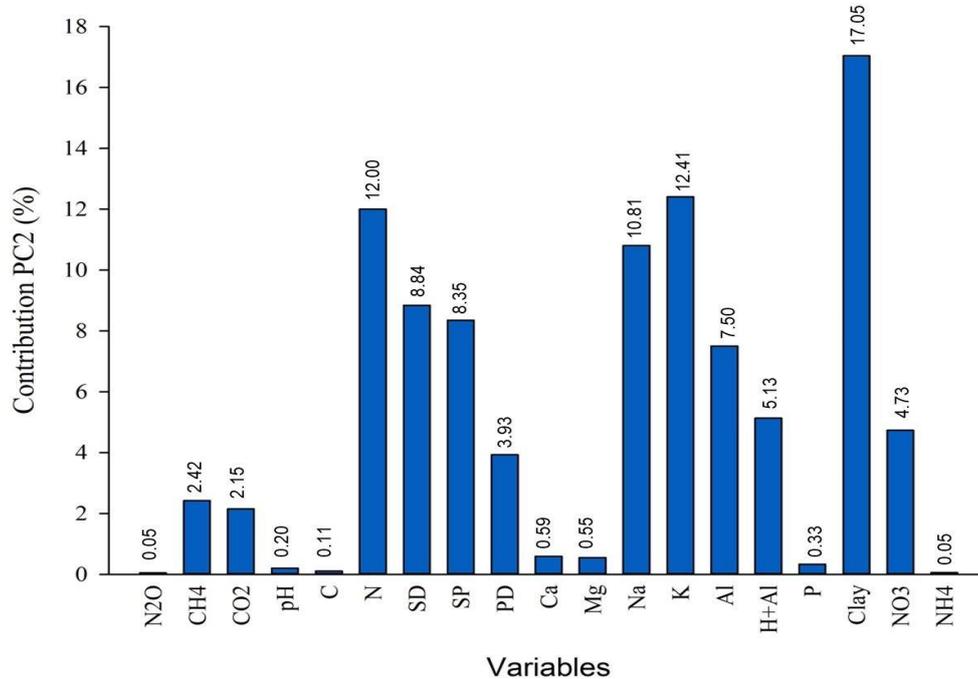


Figura 4.6 Variáveis do componente principal 2 da Análise Multivariada dos dados de emissões de gases de efeito estufa (CO₂, CH₄ e N₂O) em áreas de Caatinga nativa, Caatinga pastejada e capim buffel em um Argissolo Vermelho-Amarelo em Petrolina-PE

Dentro do plano multivariável, as observações revelaram distintos agrupamentos entre os sistemas estudados (figura 4.7). Notavelmente, a área de capim buffel na época seca (BGD) e de capim buffel na época chuvosa (BGR) mostraram baixas distâncias euclidianas, destacando densidade do solo (SD), Al e H+Al como características químicas preponderantes nesses solos.

Por outro lado, as áreas de Caatinga pastejada na época seca (GCD) e na época chuvosa (GCR) apresentaram maior representatividade da argila, com menor distância euclidiana, indicando uma maior contribuição para o CP1 e menor contribuição para o CP2.

Por sua vez, a área de Caatinga nativa na época seca (NCD) e na época chuvosa (NCR) exibiu uma disposição positiva para o CP1 e negativa para o CP2, sugerindo que os teores de Ca, C e Mg são as características mais marcantes nesse uso da terra.

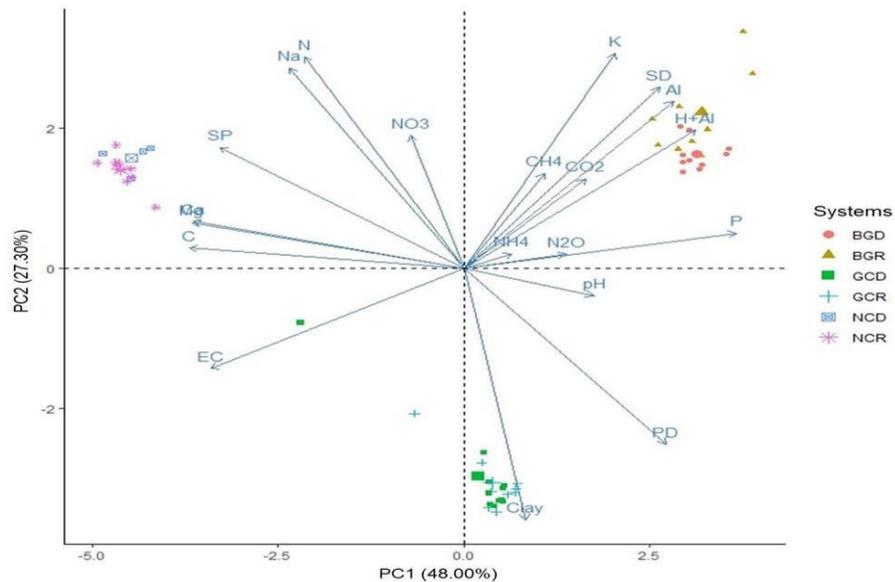


Figura 4.7 Análise Multivariada dos dados de emissões de gases de efeito estufa (CO_2 , CH_4 e N_2O) em áreas de Caatinga nativa, Caatinga pastejada e capim buffel em um Argissolo Vermelho-Amarelo em Petrolina-PE

A figura 4.8 destaca os agrupamentos distintos entre os sistemas, demonstrando que as variáveis C, Ca, Mg, P, argila, N e K são cruciais para explicar a variação dos dados no plano multivariável dos dois primeiros componentes principais da análise.

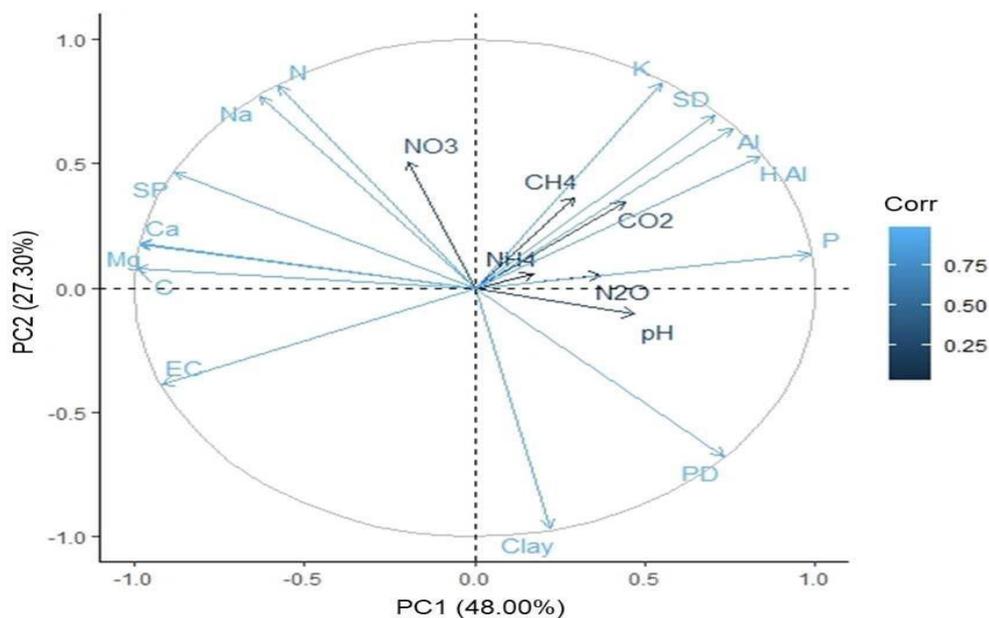


Figura 4.8 Análise Multivariada

Além disso, os resultados aqui apresentados convergem com as descobertas de Jones et al. (2020), que destacaram a importância das variáveis C, Ca e Mg na determinação da qualidade do solo em contextos agrícolas. Essa consistência entre estudos fortalece a validade e a relevância dos achados deste trabalho.

4.4 Conclusões

No estudo de campo realizado, foram avaliados os fluxos de CH₄, CO₂ e N₂O em diferentes áreas de produção, incluindo capim Buffel, Caatinga Pastejada e Caatinga nativa. Os resultados indicaram que as emissões variaram entre as áreas, com valores diferentes para cada gás. Esses valores representam uma média dos fluxos observados em cada área e são influenciados pelas condições ambientais. A análise da matriz de dinâmica multivariada revelou relações importantes entre as variáveis relacionadas aos fluxos de gases de efeito estufa e às condições ambientais, principalmente chuva e umidade. Essas relações fornecem direcionamentos para aprimorar o entendimento dos fluxos de GEE e ajudam no desenvolvimento de estratégias de mitigação.

O aumento dos fluxos de CO₂ observado está relacionado ao aumento da umidade resultante das chuvas. Isso beneficia os processos microbianos envolvidos na matéria orgânica do solo. Embora os valores médios de fluxo de CO₂ tenham sido semelhantes entre os tratamentos, o tratamento com Capim Buffel registrou a maior média de fluxo de CO₂.

Os fluxos médios de CH₄ foram baixos em todos os tratamentos e apresentaram variações mínimas ao longo do tempo. Isso indica uma ação metanotrófica no solo na primeira coleta e um equilíbrio entre a ação metanogênica e metanotrófica nas coletas subsequentes.

Os fluxos de N₂O mudaram em função de variações relacionadas à disponibilidade de substratos para os microrganismos nitrificantes e desnitrificantes, além das condições ambientais, como umidade do solo e temperatura. A umidade do solo influencia esses fluxos, visto que os valores de N₂O aumentaram na segunda coleta em todos os tratamentos e diminuíram nas coletas subsequentes.

A análise multivariada destaca-se ao utilizar oito componentes principais para elucidar 100% da variação, sendo os dois primeiros responsáveis por 75,30%. Agrupamentos distintos entre os sistemas evidenciam a singularidade química as áreas de buffel, Caatinga nativa e Caatinga pastejada, independentemente da época do ano (estação seca ou chuvosa).

Essas conclusões ressaltam a importância de considerar os fatores ambientais e as características do solo ao avaliar as emissões de gases de efeito estufa em ecossistemas de Caatinga. Essas observações podem contribuir para o desenvolvimento de estratégias de manejo e mitigação adequadas, visando reduzir o impacto dessas emissões no aquecimento global e nas mudanças climáticas.

4.5 Referências

- ANDERSON-TEIXEIRA, K.; SNYDER, P.; TWINE, T.; CUADRA, S. V.; COSTA, M. H.; DELUCIA, E. H. Climate-Regulation Services Of Natural And Agricultural Ecoregions Of The Americas. **Nature Climate Change**, v. 2, p. 177-181, 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/216809851_Climate-Regulation_Services_Of_Natural_And_Agricultural_Ecoregions_Of_The_Americas. Acesso em: Nov, 2022
- ATANGANA, A.; KHASA, S. C.; DEGRANDE, A.. Major Agroforestry Systems Of The Semiarid Tropics. In: **Tropical Agroforestry**. Springer, Dordrecht, 2014. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-94-007-7723-1_5. Acesso em: Nov, 2022.
- BESIN, G. R.; FRACALANZA, A. P.. Challenges For The Sustainable Management Of Municipal Solid Waste In Brazil. **Routledge-Disp** 205, v. 52, n. 2, p. 49-56, 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asoc/a/grwglfsqbf7dnsxb64gqvtg/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: Nov, 2022.
- BORKEN, W.; MATZNER, E.. Reappraisal Of Drying And Wetting Effects On C And N Mineralization And Fluxes In Soils. **Global Change Biology**, v. 15, p. 808-824, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01681.x>. Acesso em: Jan, 2023.
- BORREL, G.; JÉZÉQUEL, D.; BIDERRE-PETIT, C.. Production And Consumption Of Methane In Freshwater Lake Ecosystems. **Revista Microbiology**, v. 162, n. 9, p. 832-847, 2011. DOI: 10.1016/j.resmic.2011.06.004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.resmic.2011.06.004>. Acesso em: Nov, 2022.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. "The State Of Forest Ecosystems". **The State Of The World's Forests - Forests, Biodiversity And People**, Roma, 2020. Disponível em: <http://www.fao.org/state-of-forests/en/>. Acesso em: Nov, 2022.
- GIONGO, V., G.; SILVA GALVÃO, S. R. da; SALVIANO MENDES, A. M. Soil Organic Carbon In The Brazilian Semi-Arid Tropics. **Dynamic Soil, Dynamic Plant**, v. 5, n. 1, p. 12-20, 2021. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/225010/1/SolosSustentaveisPt1.cap3.p81-112.pdf>. Acesso em: Nov, 2022.
- IPCC - INTERGOVERNMENTAL PAINEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). "Summary For Policymakers". In: *Climate Change And Land: An IPCC Special Report On Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, And Greenhouse Gás Fluxes In Terrestrial Ecosystems* [P.R. Shukla Et Al. (Eds.)]. In Press, 2019. Disponível em: http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?pid=S000967252021000100004&script=sci_arttext&lng=pt. Acesso em: Nov, 2022.
- IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. *Climate Change. Fourth Assessment Report On Climate Change Impacts, Adaptation And Vulnerability Of The Intergovernmental Panel On Climate Change*. Cambridge, Cambridge University, 2007.

939p. 2007. Disponível em: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar4_wg2_full_report.pdf. Acesso em: Nov, 2022.

MCTI – Ministério Da Ciência, Tecnologia E Inovações. ESTIMATIVAS ANUAIS DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA NO BRASIL. MCTI, 2022. 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: Jan, 2023.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Efeito Estufa E Aquecimento Global. Brasília: MMA, 2021. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/informma/item/195-efeitoestufa-e-aquecimento-global>. Acesso em: Nov. 2022.

NEFF, K.; PISITSUNGKAGARN, K.; HSIEH, Y.-W. Self-Compassion And Self-Construal In The United States, Thailand, And Taiwan. *Journal Of Cross-Cultural Psychology*, 39, 267285, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/0022022108314544>. Acesso Em: Nov, 2022.

POTTER, P.; DESHIELDS, T.; KUHRIK, M. Delegation Practices Between Registered Nurses And Nursing Assistive Personnel. *Journal Of Nursing Management*, 18, 157–165, 2010. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.13652834.2010.01062.x>. Acesso em: Nov, 2022.

RIBEIRO, K.; NETO, E. R. S.; JUNIOR, J. A. C.; LIMA, J. R. S.; MENEZES, R. S. C.. Land Cover Changes And Greenhouse Gas Emissions In Two Different Soil Covers In The Brazilian Caatinga. *Science Of The Total Environment*, v. 571, n. 1, p. 1048-1057, 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pat/a/mbb89hkdtjxh9thdwgjhpsn/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: Nov, 2022.

RIBEIRO, K.. Mudança No Uso Do Solo E Emissões De Gases Defeito Estufa (GEE) Em Diferentes Coberturas Vegetais Na Caatinga Brasileira, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.095>. Acesso em: Jul, 2023.

SIGNOR, D.; MEDEIROS, T.; MORAES, S. A. de.; CORRÊA, L. C.; TOMAZI, M.; MOURA, M. S. B. de.; DEON, M. Soil Greenhouse Gases Emissions In A Goat Production System In The Brazilian Semiarid Region. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 2022. 52, E72371. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1983-40632022v5272371>. Acesso em: Jul, 2023.

RENHUI, M.; YINZHAN, L.; LIQI, W.. Effects Of Fencing And Grazing On Soil Carbon And Nitrogen In A Degraded Sandy Grassland In Inner Mongolia, China. *Land Degradation & Development*, v. 27, n. 7, p. 1623-1632, 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asoc/a/grwglfsqbf7dnsxb64gqvtg/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: Nov, 2022.

SOUZA, J. P.; BORTOLON, E.; BORTOLON, L.. Carbon Dioxide Emissions From Soil In The Brazilian Caatinga: Origin, Seasonality And Response To Environmental Drivers. *Environmental Research Letters*, v. 10, n. 11, 114018, 2015. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1113622?locale=en>. Acesso em: Nov, 2022.

SIGNOR, D.; CERRI, C. Emissões De Óxido Nitroso Em Solos Agrícolas: Uma Revisão. **Pesquisa Agropecuária Tropical [Online]**. 2013, v. 43, n. 3, pp. 322-338. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1983-40632013000300014>. Acesso em: Jul, 2023.

SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA (SEEG). Observatório Do Clima. Disponível em: http://plataforma.seeg.eco.br/total_emission. Acesso em: Nov, 2022.

WAGNER, G.; WOLF, D. Carbon Transformations And Soil Organic Matter Formation. In: Sylvia, D. M.; Fuhrmann, J. J.; Hartel, P. G.; Zuberer, D. A. **Principles And Applications Of Soil Microbiology**. New Jersey: Prentice Hall. p. 218-256, 1999 <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/cpac-2010/31495/1/doc-264.pdf>. Acesso em: Nov, 2022.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados da revisão sistematizada e do estudo de campo realizado neste trabalho, é possível concluir algumas considerações importantes sobre as emissões de GEE em sistemas integrados de produção na Caatinga.

Primeiramente, a revisão sistematizada revelou a importância da China e do Quênia nas avaliações das emissões de GEE em regiões de pastagens Semiáridas. Isso indica que esses países têm enfrentado desafios semelhantes aos encontrados no Semiárido brasileiro, tanto em termos de condições climáticas quanto de cultivos. Portanto, os estudos realizados nesses locais podem fornecer informações relevantes para a compreensão das emissões de GEE na Caatinga.

No estudo de campo, foram avaliados os fluxos de CH₄, CO₂ e N₂O em diferentes áreas de produção, incluindo capim Buffel, Caatinga Pastejada e Caatinga nativa. Os resultados indicaram que as emissões variaram entre as áreas, com diferentes valores para cada gás.

É importante ressaltar que esses valores representam uma média dos fluxos observados em cada área e que as condições ambientais podem influenciar significativamente essas emissões. Além disso, a análise da matriz de correlação multivariada revelou relações importantes entre as variáveis relacionadas aos fluxos de GEEs e às condições ambientais na área de estudo. Essas relações podem fornecer insights para o aprimoramento de informações sobre os fluxos de GEEs e auxiliar no desenvolvimento de estratégias de mitigação.

Os resultados obtidos neste trabalho contribuem para um melhor entendimento das emissões de GEE em sistemas integrados de produção na Caatinga. Essas informações podem ser utilizadas para o desenvolvimento de planos de manejo que visem a redução das emissões e o desenvolvimento sustentável na região. No entanto, é importante ressaltar que este trabalho se baseia em uma revisão sistematizada e em um estudo de campo específico, portanto, recomenda-se a realização de pesquisas adicionais para obter uma visão mais abrangente e precisa sobre o tema.