

FATOR DE EMISSÃO DE N₂O EM PASTAGEM DE *Urochloa brizantha* L. ADUBADA COM NITRATO DE AMÔNIO

Thaís Alves de **Carvalho**¹; Larissa Maria **Vaso**²; Marcos Antônio Vieira **Ligo**³; Viviane Cristina **Bettanin**⁴; Cristiano Alberto de **Andrade**⁵

Nº 20412

RESUMO – Considerando que a intensificação do manejo das pastagens é o caminho para o desenvolvimento da atividade pecuária no Brasil e que essa atividade se baseia em práticas de fertilização, principalmente nitrogenada, torna-se importante conhecer os impactos dessa prática nas emissões de óxido nitroso (N₂O). Diante disto, o objetivo com este trabalho foi avaliar a emissão de N₂O proveniente de pastagens de *Urochloa brizantha* L. adubada com nitrato de amônio. O experimento foi conduzido de novembro de 2019 a fevereiro de 2020, no Instituto de Zootecnia, Nova Odessa-SP. A pastagem é formada com *Urochloa brizantha* cv. Marandu e o sistema de pastejo é com lotação variável, em função da disponibilidade de forragem. Para o monitoramento dos fluxos de N₂O, foram instaladas doze câmaras do tipo estática em meio hectare. As coletas foram executadas em um período de 89 dias, iniciando-se 19 dias antes da fertilização nitrogenada. A coleta das amostras foi feita em intervalos regulares de tempo (0, 20 e 40 minutos) a partir do fechamento das câmaras, na sequência, as análises foram realizadas por cromatografia gasosa. Os valores médios dos fluxos diários foram obtidos com seus respectivos desvios e depois os valores acumulados, discriminando-se aquele proveniente da adubação, para cálculo do fator de emissão de N₂O. Conclui-se a partir dos resultados obtidos, que a emissão de N₂O, derivada de 60 kg ha⁻¹ de nitrogênio a partir de fertilizante nitrogenado na forma de nitrato de amônio aplicado em *Urochloa brizantha* L., está abaixo (0,33%) do valor recomendado pelo IPCC (1%).

Palavras-chaves: Oxido nitroso, fertilizante nitrogenado, aquecimento global, gases do efeito estufa, recuperação de pastagem, mudanças climáticas.

¹ Autora, Bolsista CNPq (PIBIC): Graduação em Processos Químicos, Fatec, Campinas-SP; thaisalvesdecarvalho1995@hotmail.com;

² Bolsista CAPES: Mestranda do Instituto Agrônomo de Campinas, IAC, Campinas-SP.

³ Colaborador: Pesquisador da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna-SP.

⁴ Colaboradora: Técnica da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna-SP;

⁵ Orientador: Pesquisador da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna-SP; cristiano.andrade@embrapa.br.



ABSTRACT – *Considering that the intensification of pastures is the path for the development of livestock activity in Brazil and that this activity is based on fertilization practices, mainly nitrogen, it is important to know the impacts of this practice on N₂O emissions. Given the context presented, the objective of the study was to evaluate the emission of N₂O from pastures of Urochloa brizantha L. fertilized with ammonium nitrate. The experiment was carried out from November 2019 to February 2020, at the Zootechnics Institute of Nova Odessa-SP. The pasture is formed with Urochloa brizantha cv. Marandu and the grazing system vary in capacity, depending on forage availability. For the monitoring of N₂O flows, twelve municipal chambers of the static type were installed in half a hectare. The collections were carried out in a period of 89 days, starting 19 days before fertilization with nitrogen. The samples were collected at regular intervals of time (0, 20 and 40 minutes) after the cameras were closed. Then, the analyzes were performed by gas chromatography. The average values of the daily flows with their respective deviations were obtained and then the accumulated values, discriminating that of fertilization, to calculate the N₂O emission factor. It is concluded, by the results obtained, that the emission of N₂O, derived from 60 kg ha⁻¹ of nitrogen from the nitrogen fertilizer in the form of ammonium nitrate applied in Urochloa brizantha L., is below (0.33%) of the recommended value per the IPCC (1%).*

Keywords: Nitrous oxide, nitrogen fertilizer, global warming, greenhouse gases, pasture restoration, climate changes.

1 INTRODUÇÃO

O enfrentamento e a adaptação às mudanças climáticas globais representam importantes desafios do século XXI (MARTIN *et al.*, 2016), em que diferentes países assumem compromissos e metas de redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE), dentre outras medidas. É reconhecido que as mudanças climáticas globais estão associadas ao aumento das emissões antrópicas de GEE que ocorrem em vários setores e por meio de diversas atividades. Esses gases intensificam o efeito estufa natural, trazendo consequências importantes no equilíbrio dos sistemas ecológicos naturais e manejados, no ciclo hidrológico e na vulnerabilidade social e econômica dos países (IPCC, 2014). No Brasil, ao contrário do que ocorre em países industrializados como os pertencentes a Comunidade Europeia, os Estados Unidos e a China, a maior parcela das emissões de GEE, provem do setor agropecuário e da mudança de uso da terra (CARDOSO *et al.*, 2016),



com destaque para a emissão de metano (CH_4) pelo rebanho bovino nacional e de óxido nitroso (N_2O) pelo uso de fertilizantes nitrogenados.

O Brasil está entre os dez principais países emissores de GEE (WORLD BANK, 2016), o que tem motivado a assumir compromissos voluntários de controle e/ou redução de suas emissões perante órgãos internacionais. Um desses compromissos foi assumido em Paris, durante a COP15, em que o país se comprometeu por meio de iniciativas reduzir as emissões de GEE no valor de 37% e 43%, em 2025 e 2030 respectivamente; considerando como base o ano de 2005 (FACCIN, 2019).

As emissões de N_2O têm recebido atenção especial devido ao seu potencial de aquecimento global, aproximadamente 300 vezes superior ao do CO_2 (IPCC, 2007). O N_2O é o terceiro GEE em termos de forçamento radiativo positivo na atmosfera e cresce a uma taxa média global de $0,73 \pm 0,03$ ppb ano⁻¹, considerando as últimas três décadas (BRASIL, 2010). No Brasil, mais de 90% das emissões deste gás vem do setor agropecuário (BRASIL, 2013).

Pastagens ocupam cerca de 183 milhões de hectares no Brasil (MAPBIOMAS, 2018), com 218 milhões de bovinos (IBGE, 2016), constituindo o principal uso agrícola da terra no país. Estas pastagens são usadas principalmente para bovinos de corte e de leite, para abastecer uma cadeia produtiva correspondente a aproximadamente 8,7% do PIB nacional em 2019 (ABIEC, 2019).

De forma geral, boa parte das pastagens nacionais mostra algum nível de degradação, com baixa capacidade de suporte animal, o que não está de acordo com o modelo contemporâneo de desenvolvimento global, que busca aliar produtividade e sustentabilidade. Estima-se que 80% das pastagens da região central do Brasil estejam em processo de degradação (PERON; EVANGELISTA, 2004); e em nível nacional este valor não é inferior a 50% (MACEDO, 2013).

Considerando que a intensificação no manejo das pastagens é o caminho para o desenvolvimento da atividade pecuária no Brasil e que essa atividade se baseia em práticas de fertilização, principalmente nitrogenada, torna-se importante conhecer os impactos dessa prática nas emissões de N_2O .

Em termos de emissões de GEE, de forma geral, os resultados nacionais mostram baixas emissões de N_2O em solos de pastagens formadas há mais de seis anos, quando o investimento em práticas de manejo é baixo (MEURER *et al.*, 2016; MELILLO *et al.*, 2001). No caso de intensificação da produção pelo uso de fertilização nitrogenada, verificam-se valores mais altos de emissão de N_2O (MAZZETTO *et al.*, 2016; CARDOSO *et al.*, 2019), mas com fator de emissão ($\text{FE-N}_2\text{O}$) ainda inferior ao padrão do IPCC de 1% (EGGLESTON, 2006).



O N_2O é formado durante os processos microbiológicos de nitrificação e desnitrificação, os quais dependem da complexa interação entre os processos do solo sob diferentes condições ambientais e sistemas de manejo (LUO *et al.*, 2010). Fatores como disponibilidade de nitrogênio e carbono prontamente disponíveis no solo, temperatura, volume de poros preenchidos por água, pH do solo, tipo e forma (líquido e sólido) do dejetos e quantidade e disponibilidade do C e N presente neles, podem influenciar a atividade microbiana. A nitrificação em solos tropicais tem demonstrado papel importante na emissão de N_2O , evidenciada principalmente em estudos utilizando inibidores de nitrificação e adubação nitrogenada (SOARES *et al.*, 2015; MEURER *et al.*, 2016). Os solos de pastagem, por sua vez, geralmente apresentam baixos níveis de NO_3^- (MATSON *et al.*, 1990; NEILL *et al.*, 1995; WICK *et al.*, 2005) e isso está relacionado a algum efeito inibidor da nitrificação (SUBBARAO *et al.*, 2009), resultando em baixas perdas de N_2O , mesmo sob condições favoráveis a essas emissões e com o uso de ureia e fertilizantes amoniacais (MAZZETTO *et al.*, 2020). Há, no entanto, necessidade de maior número de trabalhos nacionais em pastagens adubadas com nitrogênio para estimativas mais robustas das emissões de N_2O nessas condições.

O manejo adequado das pastagens tropicais possibilita o acabamento de animais exclusivamente a pasto, ou seja, sem a necessidade de confinamento, e pode ainda contribuir com questões ambientais (OLIVEIRA, *et al.*, 2015). Resultados de emissão de N_2O a partir de solos com pastagens em ambiente tropical são relativamente escassos, o que tem relação com a provável baixa representatividade do fator de emissão de $N-N_2O$ a partir de fontes nitrogenadas minerais recomendado em nível de tier 1 pelo IPCC (EGGLESTON, 2006). Isso dificulta a contabilidade de carbono de sistemas produtivos em ambiente tropical e não permite a adequada avaliação da contribuição do setor agropecuário nacional nas emissões de GEE.

Diante do contexto apresentado, o objetivo com este trabalho foi avaliar a emissão de N_2O proveniente de pastagens de *Urochloa brizantha* L. adubada com nitrato de amônio.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área experimental

O experimento foi conduzido de novembro de 2019 a fevereiro de 2020, em pastagem do Centro de Pesquisa de Nutrição Animal e Pastagens do Instituto de Zootecnia, localizado na cidade de Nova Odessa-SP (22°46' S, 47°18' W; altitude de 729 m), sob clima tropical semiúmido (KOPPEN) (ROLIM *et al.*, 2007), com temperatura média anual de 26°C e precipitação pluviométrica de 1317 mm. O solo da área foi classificado como Argissolo Vermelho-amarelo de textura média de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS *et al.*, 2018).

A pastagem estabelecida no local é de *Urochloa brizantha* cv. Marandu e o sistema de pastejo é contínuo, com lotação variável em função da disponibilidade de forragem.

2.2 Amostragem e quantificação de N₂O

O monitoramento do N₂O foi realizado em piquete de 0,5 ha, com a instalação de doze câmaras do tipo estática, em transecto diagonal ao sentido do declive principal da área experimental (Figura 1a e b). Quatro das câmaras ocuparam a porção superior do piquete, em local não fertilizado com nitrogênio e as oito demais câmaras foram posicionadas em transecto. Na figura as câmaras destacadas no retângulo vermelho ocuparam a porção mais elevada no piquete e não foram adubadas. As oito câmaras em transecto foram fertilizadas com nitrato de amônio, o que foi representado pela coloração interna azul na Figura 1a.

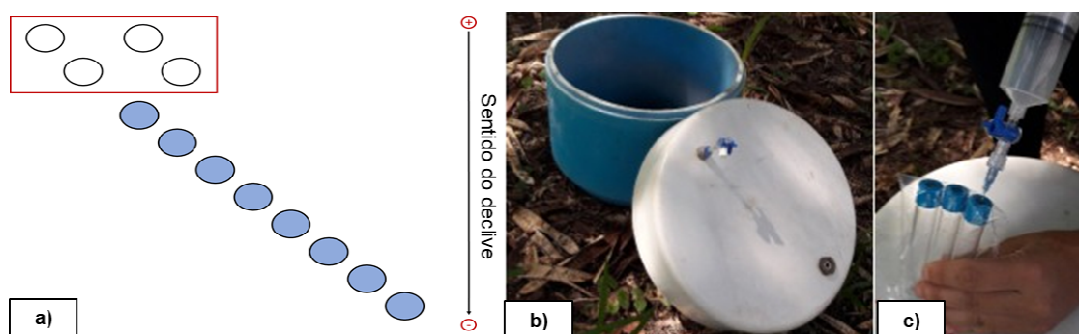


Figura 1. Esquema de disposição das câmaras no piquete, com identificação daquelas que receberam adubação nitrogenada pela coloração interna azul (a); e vista do conjunto base-tampa utilizado nas amostragens (b) e procedimento para transferência da amostra de gás coletadas para o interior dos *vials* (c).

As câmaras são compostas por conjunto base e tampa de policloreto de vinila (Figura 1b). As câmaras possuem formato cilíndrico, com diâmetro interno e altura igual a 30 cm. A base possui formato de bisel na extremidade inferior, que permite sua inserção no solo a cerca de 5 cm de profundidade. A tampa contém orifícios de 5 mm de diâmetro, sendo um para acoplamento da seringa usada na amostragem de gás e o outro para equalizar as pressões interna e externas quando do fechamento da câmara.

Todo o piquete, exceto a área ocupada pelas câmaras controle (Figura 1a), foi adubado com formulado NPK 20-00-20, em dose para fornecimento de 60 kg ha⁻¹ de nitrogênio (nitrato de amônio) e 60 kg ha⁻¹ de potássio. (K₂O, na forma de KCl). Para adubação dentro das câmaras foram realizadas pesagens individuais do fertilizante por câmara e colocado a quantidade exata de fertilizantes.

Os fluxos de N₂O foram monitorados por 89 dias, iniciando-se 19 dias antes da fertilização nitrogenada. Foram realizadas três coletas do N₂O antes da adubação e 20 coletas após a adubação.



As amostras de N₂O foram coletadas sempre no período da manhã, entre 8 e 10 horas, uma vez que este horário é indicado como representativo do valor médio diário de fluxo de GEE (HUTCHINSON; LIVINGSTON, 2001). A coleta das amostras foi feita em intervalos regulares de tempo (0, 20 e 40 minutos) a partir do fechamento das câmaras (ROCHETTE, 2011). As amostras foram retiradas com auxílio de seringa de polietileno (20 ml) equipada com válvula de três vias, com transferência imediata para frascos de 12 mL LABCO, previamente evacuados (Figura 1c).

Paralelamente à coleta do gás, foram realizadas três medidas de altura antes da abertura das câmaras, do solo até o topo da tampa, além de medidas de temperatura do ar e de pressão atmosférica. Esses dados são usados para calcular o volume molar do gás de acordo com a equação de estado dos gases perfeitos de Clapeyron.

As análises foram realizadas por cromatografia gasosa, em cromatógrafo Shimadzu modelo 2014 *Greenhouse*, equipado com detector de captura de elétrons (ECD) para a quantificação do N₂O. As condições cromatográficas empregadas foram, ECD a 250°C, colunas empacotadas de sílica fundida 80/100 Porapack-Q (Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO) a 70°C, forno a 120°C e nitrogênio gasoso (N₂) como gás de arraste a um fluxo de 26 µL min⁻¹. A unidade dos resultados obtidos no equipamento foi de nmol mol⁻¹ (ppb) para N₂O.

2.3 Cálculos

2.3.1 Fluxo diário do N₂O

Os fluxos diários foram obtidos a partir do ajuste linear da concentração do gás no interior da câmara em função do tempo de amostragem, corrigidos para as condições de temperatura, pressão volume de cada câmara no momento da coleta, seguindo os pressupostos da lei dos gases ideais conforme descrito em Rochette e Hutchinson (2005) e exemplificado na equação 1.

$$f = (\Delta C \times V \times m) / (\Delta t \times A \times V_m) \quad (1)$$

Em que: f (N₂O, mg m⁻² h⁻¹) é o fluxo do GEE na interface solo atmosfera; $\Delta C / \Delta t$ (mol mol⁻¹ h⁻¹) é a variação da concentração do GEE no tempo t ; V (m³) é o volume interno da câmara; A (m²) é a área interna da câmara; m (N₂O, mg mol⁻¹) é o peso molecular do GEE; V_m (m³ mol⁻¹) é o volume molecular que o GEE ocupava nas condições de temperatura e pressão no momento da amostragem.

2.3.2 Fator de emissão de N₂O



O fator de emissão de N_2O ($F-N_2O$, %), é a estimativa do percentual das perdas de N obtido pela razão da diferença entre a emissão acumulada de N_2O do solo com aplicação recente da fonte nitrogenada e a emissão do solo sem aplicação recente de N e do total de N aplicado ao solo via fonte nitrogenada, conforme equação 2:

$$F-N_2O (\%) = (N_2O_{fertilizante} - N_2O_{controle}) / N_{fertilizante} \times 100 \quad (2)$$

Em que: $F-N_2O$ (%) é o fator de emissão de N_2O ; $N_2O_{fertilizante}$ é o N_2O emitido ($kg\ ha^{-1}$ de N) pelo solo fertilizado com N; $N_2O_{controle}$ é o N_2O emitido ($kg\ ha^{-1}$ de N) pelo solo sem fertilização nitrogenada; e $N_{fertilizante}$ é quantidade de N aplicada na forma de fertilizante ($kg\ ha^{-1}$ de N).

2.4 Análise dos resultados

Os dados foram tratados inicialmente com estatística descritiva e BoxPlot para exclusão de valores discrepantes (*outliers*). Os valores médios dos fluxos diários foram apresentados com seus respectivos desvios e depois os valores acumulados, discriminando-se o proveniente da adubação, para cálculo do fator de emissão de N_2O . Os valores acumulados foram obtidos pela integração das áreas usando o método do trapézio.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o período antecedente a fertilização, o fluxo de N_2O variou entre 2,10 a 3,63 $g\ ha^{-1}\ dia^{-1}$ (Figura 3a) com um fluxo médio de 2,2 $g\ ha^{-1}$. Após a fertilização (tempo zero) com 60 $kg\ ha^{-1}$ de N + 60 $kg\ ha^{-1}$ de K_2O via formulado 20-00-20 (nitrato de amônio e KCl), o maior pico de N_2O foi observado no primeiro dia de amostragem (Figura 3a), com valor médio de 4,52 $g\ ha^{-1}\ dia^{-1}$. Após esse período foram verificados fluxos crescentes de N_2O , atingindo novo pico aos 50 dias. De forma semelhante BASTOS, *et al.* (2020) e SORDI, *et al.* (2011) também verificaram dois picos de emissão de N_2O , o que foi relacionado com as formas nítricas e amoniacais presentes no fertilizante. Sem a aplicação da fonte nitrogenada, no qual aplicou-se 60 $kg\ ha^{-1}$ de K_2O via KCl, os fluxos diários de N_2O foram mais modestos (Figura 3b), como esperado, com fluxo médio de todo o período igual a 2,2 $g\ ha^{-1}\ dia^{-1}$.

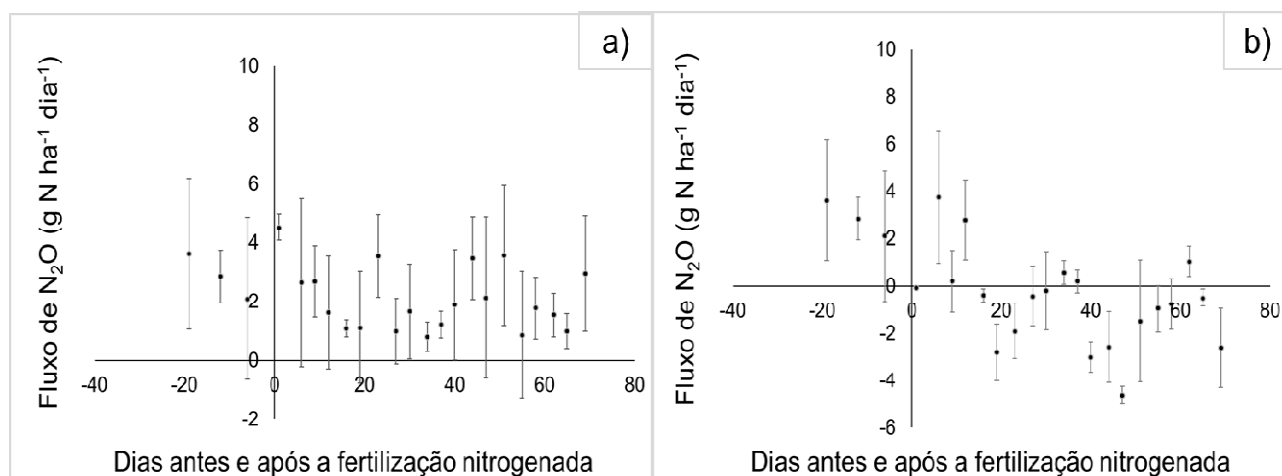
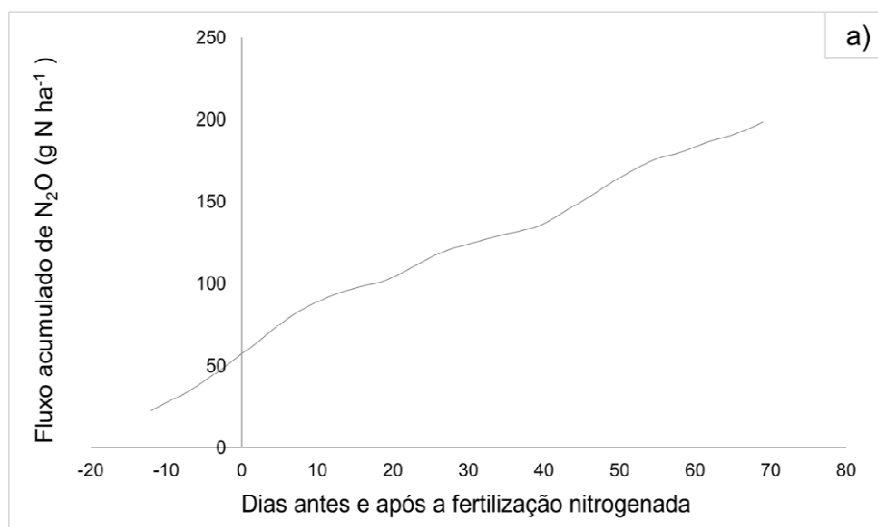


Figura 3. Fluxos diários de N_2O durante o período experimental, com fertilização nitrogenada (a); e sem fertilização nitrogenada (b), em pastagem de *Urochloa brizantha* cv. Marandu, no Instituto de Zootecnia, Nova Odessa-SP, entre novembro de 2019 e fevereiro de 2020.

O fluxo acumulado de N_2O com fertilizante foi de 22,27 a 198,5 $g\ ha^{-1}$ mostrando valores crescentes (Figura 4a). Os fluxos acumulados sem fertilizante, assim como os fluxos diários sem fertilizante, apresentaram valores negativos, acarretando no fluxo acumulado decrescente. As emissões de N_2O são maiores na estação chuvosa do que na estação seca, e variam com o manejo do sistema de produção (SORDI. *et al.*, 2014).



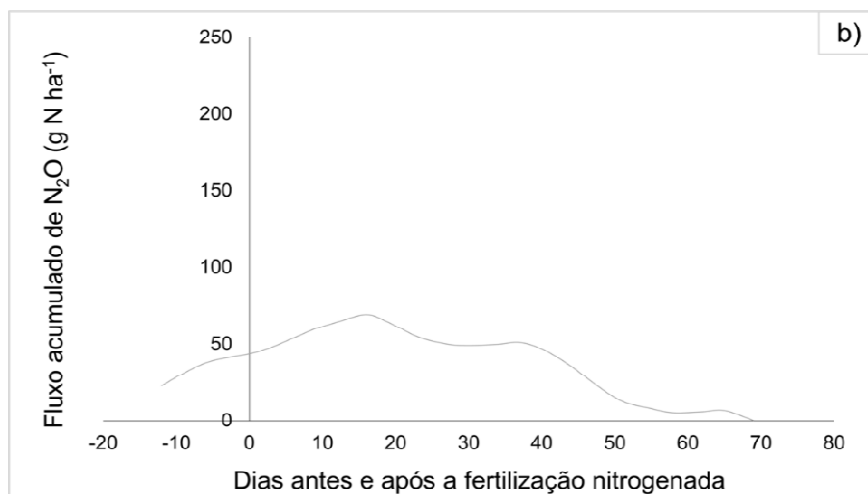


Figura 4. Fluxos acumulados de N_2O a partir do solo sob pastagem de *Urochloa brizantha* cv. Marandu fertilizado com N (a) e que não recebeu N (b). Valores medidos entre novembro de 2019 e fevereiro de 2020, em área experimental do Instituto de Zootecnia, Nova Odessa-SP.

Os fluxos médios que se seguiram apresentaram variações em função da ocorrência de chuvas no período (Figura 5), mas tenderam a uma redução até o 30º dia pós fertilização (Figura 4b). A chuva é um fator determinante para o fluxo de N_2O , devido à umidade do solo (CARDOSO, *et al.*, 2019) que é uma a chave determinante do fluxo de N_2O durante as avaliações da estação seca. Isso acontece, porque após a precipitação, as condições anaeróbicas favorecem a desnitrificação.

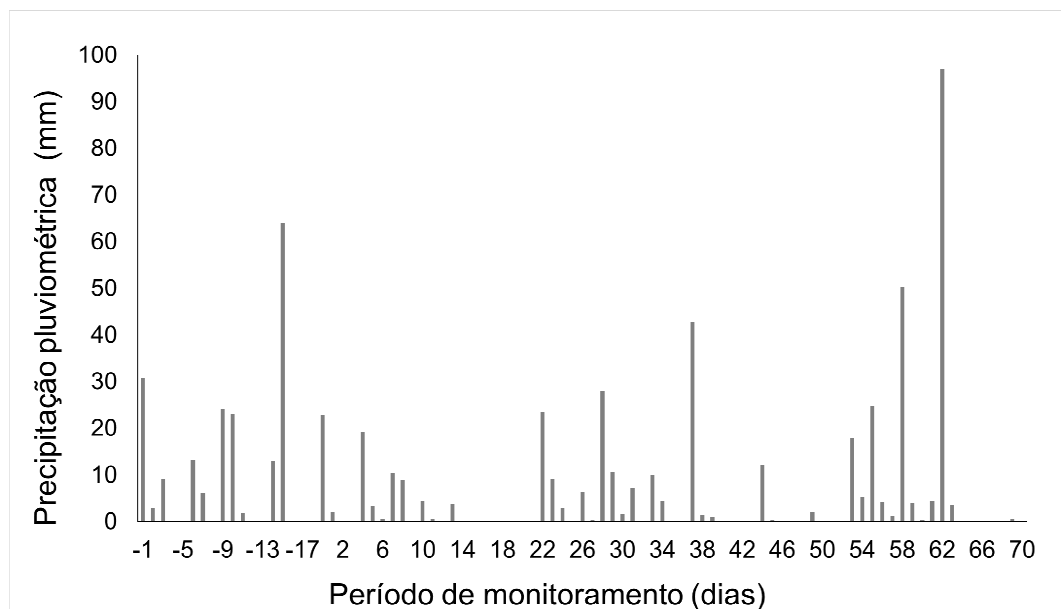


Figura 5. Monitoramento de precipitação pluviométrica durante o experimento em pastagem de *Urochloa brizantha* cv. Marandu, no Instituto de Zootecnia, Nova Odessa-SP, entre novembro de 2019 e fevereiro de 2020. Fonte: INMET, 2020.

As emissões acumuladas de N_2O (Figura 6) provenientes do fertilizante nitrogenado aplicado na dose de 60 kg ha^{-1} de N corresponderam a $198,5 \text{ g ha}^{-1}$ de N, enquanto o tratamento sem fertilização nitrogenada exibiu valor praticamente nulo de emissão ($0,183 \text{ g ha}^{-1}$ de N). Solos sob pastagens extensivas, não fertilizadas, geralmente tem baixa disponibilidade de formas minerais de N, o que resulta em baixas emissões de N_2O (NEILL *et al.*, 1995).

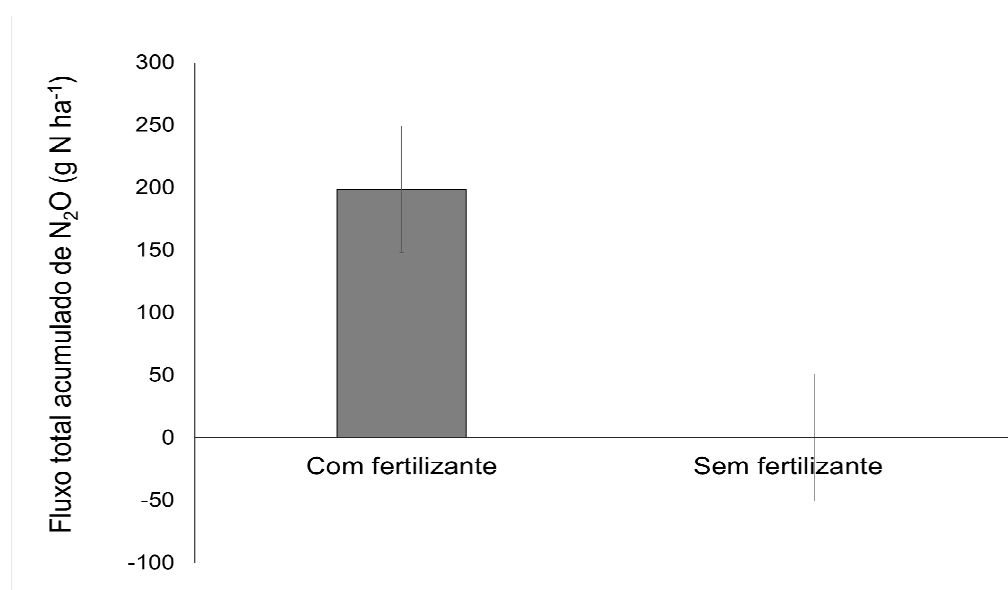


Figura 6. Emissões acumuladas de N_2O sem e com o fertilizante a partir da aplicação na forma de nitrato de amônio (60 kg ha^{-1} de N) em pastagens de *Urochloa brizantha* cv. Marandu, com os valores médios acumulados (\pm intervalo de confiança 95%), durante o experimento no Instituto de Zootecnia, Nova Odessa-SP, entre novembro de 2019 e fevereiro de 2020.

Os valores acumulados de emissão de N_2O , expressos como percentual em relação a dose de N aplicada como nitrato de amônio, resultou em fator de emissão de $N-N_2O$ igual a 0,33%. Esse valor para o fator de emissão de $N-N_2O$ é inferior ao valor *default* recomendado pelo IPCC, que é de 1% (IPCC, 2007); e também inferior ao valor médio de 1,12% encontrado em revisão de literatura realizada por MAZZETTO *et al.* (2020) para fontes nitrogenadas no Brasil. Os autores da revisão destacam, no entanto, que fertilizantes sem N-ureia, como por exemplo nitrato e sulfato de amônio, apresentam fator de emissão de N_2O entre 0,6 e 1,07%, podendo, dessa forma, ser inferior ao *default* do IPCC.

4 CONCLUSÃO

As emissões de N_2O associadas a adubação nitrogenada com nitrato de amônio em pastagem de *Urochloa brizantha* L. são um terço do valor *default* recomendado pelo IPCC, o que significa menor impacto ambiental negativo dessa prática utilizada na recuperação ou aumento da capacidade produtiva de pastagens.



AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPQ – PIBIC, pela bolsa concedida, à FAPESP pela participação de um projeto, à Embrapa Meio Ambiente, pela oportunidade de estágio, e a todos que colaboraram para realização do trabalho.

5 REFERÊNCIAS

- ABIEC. **Beef report: perfil da pecuária brasileira**, 2019. 47p. Disponível em: <<http://abiec.siteoficial.ws/control/uploads/arquivos/sumario2019portugues.pdf>>. Acesso em: 22 jul, 2020.
- BASTOS, D.F. et al. A 3-year assessment of nitrous oxide emission factors for urine and dung of grazing sheep in a subtropical ecosystem. **Journal of Soils and Sediments**, v. 20, n. 2, p. 982-991, 2020.
- BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, 2 ago. 2010. p. 2.
- BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Relatórios de referência: emissões de óxido nitroso de solos agrícolas e manejo de dejetos**. Brasília, DF: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2013. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/310922.html>>. Acesso em 18 jul, 2020.
- CARDOSO, A. S. et al. Impact of the intensification of beef production in Brazil on greenhouse gas emissions and land use. **Agricultural Systems**, v.143, p. 86-96, 2016.
- CARDOSO, A. S. et al. 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**, v.194, 2019.
- EGGLESTON, H.S. et al. (Ed). 2006 **IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories**. Hayama, Kanagawa: IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme Disponível em: <<https://www.ipcc353.nggip.iges.or.jp/public/2006gl>>. Acesso em: 20 jul. 2020.
- FACCIN, F. **Impactos das metas do acordo de Paris sobre a economia brasileira: uma abordagem de equilíbrio geral computável**. 2019. 58 p. Tese (Doutorado em Economia) – FGV, São Paulo.
- HUTCHINSON, G. L.; LIVINGSTON, G. P. Vents and seals in non-steady-state chambers used for measuring gas exchange between soil and the atmosphere. **European Journal of Soil Science**, v. 52, n. 4, p. 675-682, 2001.
- IBGE **Produção da Pecuária Municipal**. Rio de Janeiro, v. 44, 2016. 53 p. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/84/ppm_2016_v44_br.pdf>. Acesso em: 02 de ago. 2020.
- INMET. **Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 02 ago. 2020.
- IPCC. **Intergovernmental panel on climate change**, 2014. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar5_wg2_spmport-1.pdf>. Acesso em: 22 jul, 2020.
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change, Fourth Assessment Report (AR4), Working Group I, Chapter 2, 2007. **Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing**, Geneva, 2007. p. 131-234.
- LUO, J. et al. Management options to reduce nitrous oxide from intensively grazed pasture: a review. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 136 p. 282-291, 2010.



MACEDO, M. C. M. et al. Degradação de pastagens, alternativas de recuperação e renovação, e formas de mitigação. In: ENCONTRO DE ADUBAÇÃO DE PASTAGENS DA SCOT CONSULTORIA - TEC - FÉRTIL, 1, Ribeirão Preto, SP. **Anais...** Bebedouro: Scot Consultoria, 2013. p. 158-181.

MAPBIOMAS. **MapBiomas 4.1. estatísticas 2018.** Disponível em: <<https://plataforma.mapbiomas.org/map#coverage>>. Acesso em: 07 jun, 2020.

MARTIN, J. L.; MARIS, V; SIMBERLOFF, D. S. The need to respect nature and its limits challenges society and conservation science. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 113, n. 22, p. 6105-6112, 2016.

MATSON, P.A.et al. Sources of variation in nitrous oxide flux from Amazonian ecosystems. *Journal of Geophysical Research: Atmosphere*, v. 95, n. 16, p. 789-798, 1990.

MAZZETTO, A. M. et al. Nitrogen fertilizer effects on nitrous oxide emission from Southwest Brazilian Amazon pastures. **Journal of Fertilizers and Pesticides**, v. 7, n. 167, 2016.

MAZZETTO, A. M. et al. Region-specific emission factors for Brazil increase the estimate of nitrous oxide emissions from nitrogen fertiliser application by 21%. **Atmospheric Environment**, v. 230, 2020.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Relatórios de referência: emissões de óxido nitroso de solos agrícolas e manejo de dejetos.** Brasília, DF: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2013. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/310922.html>>. Acesso em 18 jul, 2020.

MELILLO, J. M. Nitrous oxide emissions from forests and pastures of various ages in the Brazilian Amazon. **Journal of Geophysical Research**, v. 106, p. 4179–34188, 2001.

MEURER, K. H. E.et al. Direct nitrous oxide (N₂O) fluxes from soils under different land use in Brazil—a critical review. **Environmental Research Letters**, v. 11, 2016.

NEILL, C. et al. Nitrogen dynamics in soils of forests and active pastures in the western Brazilian Amazon basin. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 27, n. 9, p. 1167–1175, 1995.

OLIVEIRA, P.P.A et al. Emissões de GEE e amônia em sistemas pastoris: mitigação e boas práticas de manejo. *Sistemas de Produção, Intensificação e Sustentabilidade da Produção Animal*. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 27., 2015. **Anais...** Piracicaba, 2015. p.179-223.

PERON, A. J.; EVANGELISTA, A. R. Degradação de pastagens em regiões de cerrado. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 28, n. 3, p. 655-661, 2004.

ROCHETTE, P. Towards a standard non-steady-state chamber methodology for measuring soil N₂O emissions. **Animal Feed Science and Technology**, v.166, p.141-146, 2011.

ROCHETTE, P; HUTCHINSON, G.L. Measurement of soil respiration in situ: chamber techniques. **Micrometeorology in agricultural systems**, v. 47, p. 247-286, 2005.

ROLIM, G. S. et al. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo. **Bragantia**, v. 66, n. 4, 2007.

SANTOS, H. G. et al. Sistema brasileiro de classificação de solos. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SORDI, A. et al. Nitrous oxide emission factors for urine and dung patches in a subtropical Brazilian pastureland. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 190, p. 94-103, 2014.

SOARES, J. R. et al. Enhanced-efficiency fertilizers in nitrous oxide emissions from urea applied to sugarcane. **Journal of Environmental Quality**, v. 44, p. 423–430, 2015.

SORDI, A. et al. Emissão de óxido nitroso a partir de urina e esterco de bovinos em pastagem. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., 2011, Uberlândia. **Solos nos biomas brasileiros: sustentabilidade e mudanças climáticas: anais.** [Uberlândia]: SBCS: UFU, ICIAG, 2011.



SUBBARAO, G. V.et al. Evidence for biological nitrification inhibition in Urochloa pastures. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 106, n. 41, p. 7302–17307, 2009.

WORLD BANK; WORLD BANK GROUP. World development report 2016: digital dividends. Washington: **World Bank Publications**, 2016.

WICK, B.et al. Nitrous oxide fluxes and nitrogen cycling along a pasture chronosequence in Central Amazonia. **Biogeosciences**, v. 2, p. 175-187, 2005.