

Quantificação de Fluxos de Óxido Nitroso (N_2O) em Pastagem por Meio de Câmaras Estáticas Manuais e de um Método Micrometeorológico



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Arroz e Feijão
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

**BOLETIM DE PESQUISA
E DESENVOLVIMENTO
53**

**Quantificação de Fluxos de Óxido Nitroso (N₂O)
em Pastagem por Meio de Câmaras Estáticas
Manuais e de um Método Micrometeorológico**

*Rubia Santos Corrêa
Beáta Emöke Madari
Selma Regina Maggiotto
João Carlos Medeiros
Márcia Thais de Melo Carvalho
Janaína de Moura Oliveira
Pedro Luiz Oliveira de Almeida Machado
Mateus de Leles Lima
Mellissa Ananias Soler da Silva
Maria da Conceição Santana Carvalho*

**Embrapa Arroz e Feijão
Santo Antônio de Goiás, GO
2018**

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Arroz e Feijão
Rod. GO 462, Km 12, Zona Rural
Caixa Postal 179
75375-000 Santo Antônio de Goiás, GO
Fone: (62) 3533-2105
Fax: (62) 3533-2100
www.embrapa.br
www.embrapa.br/fale-conosco/sac/

Comitê Local de Publicações

Presidente
André Ribeiro Coutinho

Secretária-Executiva
Tereza Cristina de Oliveira Borba

Membros
Alúcio Goulart Silva, Ana Lúcia Delalibera de Faria, Fábio Fernandes Nolêto, Luiz Roberto Rocha da Silva, Luciene Frões Camarano de Oliveira, Luis Fernando Stone, Márcia Gonzaga de Castro Oliveira, José Manoel Colombari Filho, Roselene de Queiroz Chaves

Supervisão editorial
Luiz Roberto Rocha da Silva

Revisão de texto
Luiz Roberto Rocha da Silva

Normalização bibliográfica
Ana Lúcia Delalibera de Faria

Tratamento das ilustrações
Fabiano Severino

Editoração eletrônica
Fabiano Severino

Foto da capa
Beáta Emöke Madari

1ª edição
On-line (2018)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Arroz e Feijão

Quantificação de fluxos de óxido nítrico (N₂O) em pastagem por meio de câmaras estáticas manuais e de um método micrometeorológico / Rubia Santos Corrêa... [et al.]. - Santo Antônio de Goiás : Embrapa Arroz e Feijão, 2018. 22 p. - (Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Arroz e Feijão, ISSN 1678-9601 ; 53)

1. Efeito estufa - gases. 2. Fertilizante nitrogenado. 3. Pastagem - Cerrado. 4. Integração lavoura-pecuária. I. Corrêa, Rubia Santos. II. Embrapa Arroz e Feijão. III. Série.

CDD 363.7

Ana Lúcia D. de Faria (CRB 1/324)

© Embrapa, 2018

Sumário

Resumo	5
Abstract	7
Introdução.....	8
Material e Métodos	11
A área de estudo	11
O método das câmaras estáticas manuais	12
O método de fluxo-gradiente	14
Análise de dados.....	16
Resultados e Discussão	16
Conclusões.....	20
Referências	21

Quantificação de Fluxos de Óxido Nitroso (N₂O) em Pastagem por Meio de Câmaras Estáticas Manuais e de um Método Micrometeorológico

Rubia Santos Corrêa¹

Beáta Emöke Madari²

Selma Regina Maggiotto³

João Carlos Medeiros⁴

Márcia Thaís de Melo Carvalho⁵

Janaína de Moura Oliveira⁶

Pedro Luiz Oliveira de Almeida Machado⁷

Mateus de Leles Lima⁸

Mellissa Ananias Soler da Silva⁹

Maria da Conceição Santana Carvalho¹⁰

Resumo - A caracterização de fluxos de gases de efeito estufa (GEE) em agroecossistemas tropicais é relevante devido à crescente importância relativa da contribuição do setor agropecuário para as emissões nacionais de GEE. No Brasil, as emissões de óxido nitroso (N₂O) aumentaram sensivelmente nas duas últimas décadas, onde as principais fontes são a criação de animais em pastagem e o uso de fertilizantes minerais sintéticos. O método mais utilizado para quantificar os fluxos de N₂O em todos os ecossistemas é

¹ Engenheira-agrônoma, doutoranda em Agronomia, estagiária da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO.

² Engenheira-agrônoma, doutora em Ciência do Solo e Nutrição de Plantas, pesquisadora da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO.

³ Engenheira-agrônoma, Ph.D. em Ciências Atmosféricas, professora adjunta da Universidade de Brasília, Brasília, DF.

⁴ Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, professor da Universidade Federal do Sul da Bahia, Itabuna, BA.

⁵ Engenheira-agrônoma, Ph.D. em Produção Ecológica e Conservação de Recursos, pesquisadora da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO.

⁶ Engenheira-agrônoma, doutora em Agronomia, professora adjunta da Faculdade Metropolitana de Anápolis, Anápolis, GO.

⁷ Engenheiro-agrônomo, Ph.D. em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO.

⁸ Engenheiro-agrônomo, mestre em Agronomia, estagiário da Embrapa Agrossilvipastoril, Sinop, MT.

⁹ Engenheira-agrônoma, doutora em Agronomia, pesquisadora da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO.

¹⁰ Engenheira-agrônoma, doutora em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisadora da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO.

o das câmaras estáticas manuais. Contudo, muitas vezes, há dificuldades em se obter dados representativos, devido à grande heterogeneidade espacial dos fluxos de N_2O e à frequência relativamente baixa de amostragem, tanto no espaço quanto no tempo. Por outro lado, os métodos micrometeorológicos, como o do fluxo gradiente utilizado neste trabalho, possibilitam medições automatizadas em áreas de produção e com alta resolução temporal. O objetivo deste trabalho foi avaliar o método das câmaras estáticas manuais em comparação com o método do fluxo-gradiente em pastagem sob o sistema Integração Lavoura-Pecuária (ILP) no Cerrado, em Goiás. O método das câmaras estáticas manuais foi satisfatório na quantificação de picos de emissão maiores que $50 \text{ ng m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ de $N-N_2O$, porém, geralmente subestimou os fluxos baixos ($<50 \text{ ng m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ de $N-N_2O$) em comparação com o método do fluxo-gradiente. Como neste estudo os fluxos baixos caracterizaram mais de 95% das emissões de N_2O , concluiu-se que essa subestimação na faixa de fluxos mais baixos poderia contribuir para a subestimação da emissão total de N_2O em determinado período de interesse. Esses resultados são relevantes para o conhecimento do nível de erro e avaliação crítica de estudos de emissão de N_2O do solo realizados com o método das câmaras estáticas manuais, sobretudo em agroecossistemas que incluem pastagens.

Termos para indexação: Gases de efeito estufa, método do fluxo-gradiente, fezes, urina, adubação nitrogenada, Cerrado.

Quantification of Nitrous Oxide (N₂O) Fluxes in Pasture Using Manual Static Chambers and a Micrometeorological Method

Abstract - The characterization of greenhouse gas (GHG) fluxes in tropical agroecosystems is relevant due to the increasing relative importance of the contribution of the agricultural sector to national GHG emissions. In Brazil, nitrous oxide (N₂O) emissions have risen sharply in the last two decades, the main sources being grazing livestock and the use of synthetic mineral fertilizers. The most widely used method for quantifying N₂O fluxes in all ecosystems is that of the manual static chambers. However, there are often difficulties in obtaining representative data with this approach because of the large spatial heterogeneity of N₂O fluxes and the relatively low frequency of sampling in both space and time. On the other hand, micrometeorological methods such as the flux-gradient used in this work, allow automated measurements in production areas with high temporal resolution. The objective of this work was to evaluate the manual static chamber method in comparison with the flux-gradient method in pasture under an integrated crop-livestock system (ICL) in the Brazilian savanna, in Goiás State. The manual static chamber method was satisfactory in the quantification of fluxes greater than 50 ng m⁻² s⁻¹ de N-N₂O, while generally underestimating low fluxes (<50 ng m⁻² s⁻¹ de N-N₂O) compared to the flux-gradient method. As in this study low fluxes characterized more than 95% of N₂O emissions, we concluded that this underestimation in the lower flux range could contribute to the underestimation of the total N₂O emission in a given period of interest. These results are relevant to the knowledge of the level of error and critical evaluation of soil N₂O emission studies performed using the manual static chamber method, especially in agroecosystems with pastures.

Index terms: Greenhouse gases, flux-gradient method, feces, urine, nitrogen fertilization, neotropical savanna.

Introdução

A amostragem de gás em estudos de emissão de GEE é de importância fundamental. O método mais utilizado é o das câmaras estáticas manuais. Variações desse método são aplicadas, mas, como princípio, baseia-se na concentração medida do gás emitido pelo solo durante um determinado período de incubação dentro de uma câmara fechada, instalada sobre a superfície do solo. As amostras de gás retiradas das câmaras são posteriormente analisadas em laboratório com cromatografia a gás. A vantagem desse método é o custo relativamente baixo e, conseqüentemente, é amplamente conhecido e utilizado, possibilitando assim comparações entre estudos. Permite o cálculo dos fluxos de GEE do solo e é uma metodologia aceita pelo Painel Intergovernamental sobre a Mudança do Clima (IPCC, 2006) para a elaboração de inventários nacionais de GEE (Jones et al., 2011). É também utilizado por redes nacionais no Brasil, como a Pecu, Saltus (Zanatta et al., 2014) e a Fluxus (Alves et al., 2017), que investigam as emissões de GEE e o balanço do carbono em sistemas de produção de pecuária, florestas plantadas e de grãos (culturas anuais). No entanto, as incertezas relacionadas às estimativas de emissões anuais usando medidas feitas com câmaras estáticas manuais podem ser altas devido à grande variabilidade temporal e espacial da concentração dos gases no solo e, conseqüentemente, dos fluxos (Flechard et al., 2007), o que geralmente não é representado por esse método de amostragem. Normalmente, uma câmara cobre uma área menor que 1 m² e as amostragens raramente são tomadas mais de uma vez por dia, devido à alta laboriosidade com mão de obra especializada. Outra desvantagem do método das câmaras estáticas manuais é a alteração do microambiente nas câmaras em que as medições são feitas. As câmaras permanecem fechadas durante o período de incubação, não havendo troca de ar natural acima do solo, o que pode afetar localmente a cinética dos gases em estudo (Davidson et al., 2002). Assim, mesmo tomando o cuidado necessário na preparação e adequação das câmaras, por exemplo com a utilização de ventos ou ventiladores para regular a pressão interna nas câmaras e assegurar a difusão normal dos gases durante o período de incubação, esse método deve ser aplicado com

cautela para descrever as variações de fluxos diários ou durante um determinado período de tempo (Jones et al., 2011). Os métodos de amostragem de gás que permitem a aquisição de dados com maior resolução temporal, como métodos que usam câmaras de amostragem automáticas, representam avanço na caracterização da dinâmica temporal dos fluxos, no entanto os problemas com a baixa resolução espacial persistem.

Métodos que utilizam técnicas micrometeorológicas para quantificar e caracterizar a dinâmica dos fluxos dos gases têm a vantagem de apresentar melhor representatividade espacial e temporal, quando comparados com o método das câmaras estáticas. No caso desses métodos, supõe-se que as medições são realizadas em uma área relativamente uniforme e ampla, sem barreiras para os fluxos de ar (vento) (Jones et al., 2011), e estão associadas à amostragem automatizada de alta resolução temporal. Nos últimos 25-30 anos, o desenvolvimento da espectroscopia de absorção na faixa do infravermelho da radiação eletromagnética, gerada por lasers, permitiu a avaliação da concentração de vários gases atmosféricos em tempo real (Edwards et al., 2003). Alguns lasers viabilizam a quantificação de moléculas específicas, possibilitando a determinação da concentração de gases traço com precisão adequada. A combinação dessa técnica de medição com técnicas micrometeorológicas para o cálculo dos fluxos é uma ferramenta sofisticada para a medição de fluxos de GEE de baixa concentração, como o N_2O , cuja concentração no ar está na faixa de partes por bilhão, mil vezes menor que a do dióxido de carbono (CO_2) ou do metano (CH_4). Com o método do fluxo-gradiente, o fluxo de gás é calculado com base na variação vertical da concentração do gás de interesse acima da superfície da vegetação e na estrutura da camada limite atmosférica (Denmead, 2008). A área sobre a qual o fluxo de gás é estimado por esse método pode variar de, aproximadamente, 0,01 a 1,00 km², dependendo da altura da vegetação e das condições micrometeorológicas, como a direção e a velocidade do vento. Na Tabela 1 está a comparação de três métodos de quantificação de fluxos.

O objetivo foi quantificar os fluxos de N_2O e comparar sua dinâmica utilizando dois métodos: o método de câmaras estáticas manuais e o método micrometeorológico do fluxo-gradiente. A área de estudo apresentava pastagem plantada em sistema de integração lavoura-pecuária (ILP).

Tabela 1. Comparação geral de três métodos para a quantificação de fluxos de óxido nítrico (N_2O) em agroecossistemas.

	Método das câmaras estáticas manuais	Método das câmaras estáticas automatizadas*	Métodos associados a técnicas de micrometeorologia (fluxo-gradiente ou outro)
Princípio geral	Acumulação de gás em câmara fechada durante um tempo determinado de incubação	Acumulação de gás em câmara fechada durante um tempo determinado de incubação	Varição vertical da concentração do gás acima da superfície solo-vegetação
Mais adequada aplicação	Experimentos com parcelas pequenas comparando tratamentos	Experimentos com parcelas pequenas, comparando tratamentos	Observação em campo em situação de lavoura - caracterização de agroecossistemas
Resultado	Após processamento de dados	Após processamento de dados	Quase imediato
Custo operacional em campo	Baixo	Médio	Médio
Demanda de apoio em campo	Alta	Baixa	Baixa
Custo de equipamento em campo	Baixo	Médio/alto	Alto
Custo operacional em laboratório	Médio	Não se aplica	Não se aplica
Custo de equipamento em laboratório	Médio	Não se aplica	Não se aplica
Resolução temporal	Baixa	Média	Alta
Resolução espacial	Baixa	Baixa	Alta

*O método das câmaras estáticas automatizadas não foi avaliado neste estudo, mas é um método baseado no mesmo princípio que o método das câmaras estáticas manuais, entretanto, devido à automatização da amostragem de gás nas câmaras, pode melhorar a resolução temporal da informação (dados) coletada, em comparação com o método das câmaras estáticas manuais. Dependendo do número de câmaras utilizadas como repetição, pode também melhorar a resolução espacial, o que requer investimento de grandes recursos, comparável ao caso de métodos micrometeorológicos.

Material e Métodos

A área de estudo

O estudo foi conduzido em área da Embrapa Arroz e Feijão, no município de Santo Antônio de Goiás, GO, localizada na região Centro-Oeste do Brasil, em um ecossistema de savana neotropical. As coordenadas geográficas do local do estudo foram: 16° 29'59" a 16° 29'44" O e 49° 17'35" a 49° 17'54" S. A altitude da área é de 804 m acima do nível do mar e a inclinação de aproximadamente 0,3%. O solo é o Latossolo Vermelho Ácrico típico, textura argilosa (53% argila), a moderado, caulínítico-oxidico e gibbsítico-oxidico, mesoférrico (Fe₂O₃ 13%-15%) (Oliveira; Rodrigues, 2012), contendo caulinita como argilomineral predominante (Santos et al., 2010). De acordo com a classificação de Köppen, o clima é tropical de savana megatérmico (Aw) com estações de clima chuvoso (outubro a abril, primavera/verão) e seco (maio a setembro, outono/inverno) bem definidas. A precipitação anual média dos últimos 33 anos foi de 1.490 mm (Agritempo, 2017).

O tamanho da área estudada foi de 7,5 ha sob sistema de integração lavoura-pecuária (ILP) desde 2000. O sistema ILP se caracterizava pela rotação de seis anos de fases de produção de grãos e pastagem para pecuária de corte. O presente estudo foi realizado no terceiro ano da fase de pastagem de rotação, entre 5 de fevereiro e 30 de setembro de 2013. A área sob pastagem foi utilizada para a criação de bovinos de corte da raça Nelore "BRGN". A área foi pastejada a uma lotação média de 12 (inverno) e 16 (verão) unidade animal (UA) por hectare com ganho de peso médio diário de 0,6 kg e 0,3 kg por cabeça, respectivamente. Houveram animais na área experimental durante os seguintes períodos: 30 de janeiro a 5 de fevereiro; 18 de fevereiro a 6 de março; 26 de março a 6 de abril; 15 a 17 de abril; 24 de maio a 2 de julho; 8 a 14 de agosto; 14 a 20 de setembro (Figura 4B). A ureia foi aplicada na área a lanço, em cobertura, nos dias 11 de março (70 dias julianos; 45 kg ha⁻¹ N) e 8 de julho (189 dias julianos; 100 kg ha⁻¹ N) (Figura 4B). Dentro de cada câmara foi aplicada a quantidade equivalente.

O método das câmaras estáticas manuais

Os fluxos de N_2O foram medidos usando-se câmaras estáticas de aço retangulares galvanizadas, cada uma com área de $0,24 \text{ m}^2$ e com altura de $0,15 \text{ m}$ (Figura 1). As medições foram feitas em 25 pontos na pastagem estudada (Figura 2 - pontos C1 a C25). As datas de amostragem foram definidas de acordo com as atividades no campo (presença de gado ou fertilização nitrogenada, por exemplo) ou condições climáticas (ocorrência de precipitação).

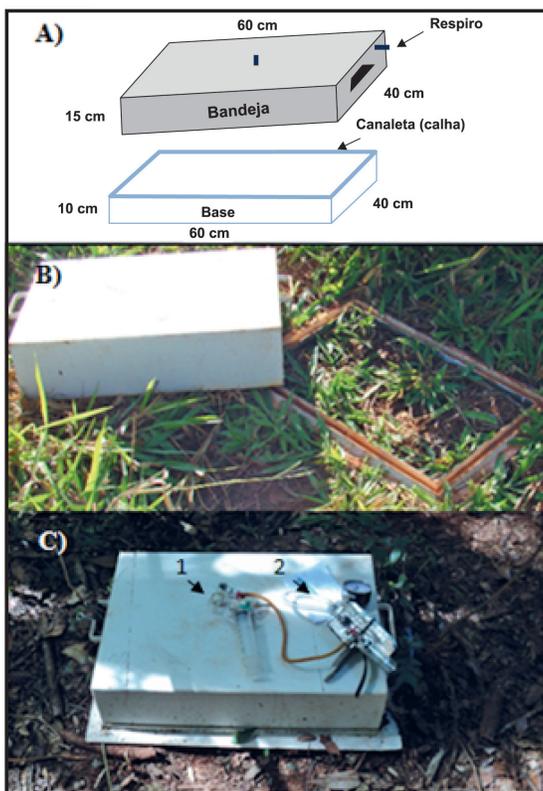


Figura 1. A) Desenho esquemático da câmara estática manual. B) Câmara estática presente na área sob pastagem com moldura de ferro cravada no solo para fixação da câmara. C) Câmara estática instalada na área sob floresta: 1. Conexões instaladas no topo da câmara para facilitar a coleta de amostras por meio da sucção do ar do interior das câmaras; 2. Bomba de vácuo manual para coleta de amostras de ar dentro da câmara para pequenos frascos de vidro, para serem transferidos para laboratório.

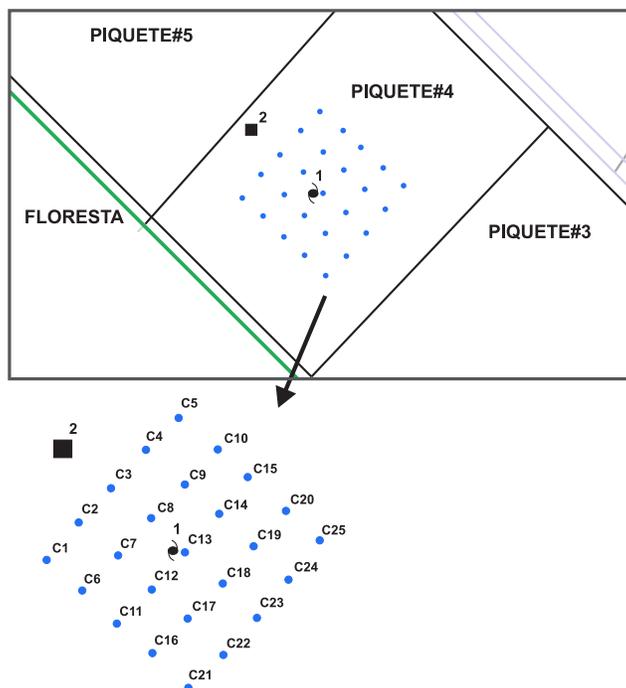


Figura 2. Croqui da área experimental sob pastagem plantada com disposição das câmaras estáticas - pontos C1 a C25. 1. Localização dos amostradores de ar do analisador de gases traço (TDLAS-TGA200) pelo método fluxo-gradiente. 2. Trailer com o analisador de gases traço.

Fonte: Corrêa (2014)

Amostras de ar foram coletadas das câmaras uma vez por dia, entre 09h e 11h. O horário adequado para a amostragem foi determinado anteriormente, observando o período do dia em que os fluxos representaram melhor a média diária (Corrêa, 2014). O período selecionado correspondeu ao recomendado por Alves et al. (2012), das 9h às 10h. Essas medidas foram utilizadas para representar os fluxos médios diários. As amostras de ar foram coletadas e acondicionadas em frascos de vidro a vácuo, em três tempos de amostragem após o fechamento da câmara (0, 15 e 30min). As concentrações de N_2O foram posteriormente analisadas em cromatógrafo a gás (XL System, Perkin Elmer, Waltham, MA) equipado com detector Ni-63 ECD. O fluxo de N_2O em cada câmara (F_c , $nL L^{-1} h^{-1} N_2O$) foi calculado utilizando a função sugerida por Hutchinson & Mosier (1981):

$$F_c = \frac{(C_1 - C_0)^2}{t_1(2C_1 - C_2 - C_0)} \times \ln \left(\frac{C_1 - C_0}{C_2 - C_1} \right)$$

Em que: C_0 , C_1 e C_2 são as concentrações de N_2O (ppbv) medidas a 0, 15 e 30min, respectivamente, e t_1 é o intervalo de tempo entre medições.

Segundo Parkin & Venterea (2010), a função Hutchinson & Mosier (HM) é ajustável aos dados quando: a) a razão $[(C_1 - C_0)/(C_2 - C_1)]$ for superior a 1; b) há um adequado fluxo aparente $(C_2 - C_0)/T_d$, sendo T_d o tempo de incubação da medição, entre o tempo “zero” e o último tempo de amostragem da câmara; e c) a curva de decisão de utilização do método HM ou linear é uma função do índice de curvilinearidade dos dados e do fluxo de N_2O aparente, devendo levar em consideração a precisão do cromatógrafo. O modelo linear foi utilizado em situações quando a função HM não foi aplicável e apenas quando o modelo linear atendeu ao critério de $R^2 > 0,8$. Caso contrário, os dados foram rejeitados. Os fluxos calculados foram então convertidos em unidades de massa, usando a equação da lei de gás universal e a média de todas as câmaras foi considerada como a medida diária para comparação, expressa como $ng\ m^{-2}\ s^{-1}$ de $N-N_2O$.

As medições utilizando as câmaras estáticas foram realizadas em 50 dias, em diferentes intervalos de tempo, que variaram de 1 a 20 dias. O número de dias com medição representou 21% do período experimental total.

O método de fluxo-gradiente

Fluxos de N_2O utilizando o método do fluxo-gradiente (F_{fg} , $ng\ m^{-2}\ s^{-1}$ $N-N_2O$) foram calculados utilizando a equação:

$$F_{fg} = -K \frac{\partial C}{\partial z}$$

Em que: K é o coeficiente de transferência turbulento ($m^2\ s^{-1}$) e $\partial C/\partial z$ é o gradiente de concentração do gás ($ng\ m^{-3}\ m^{-1}$). Os gradientes de concentração foram estimados usando a diferença finita na concentração (∂C , $ng\ m^{-3}$ N_2O) ocorrendo sobre uma distância vertical (∂z , m). A difusividade integrada dos redemoinhos foi estimada usando um método aerodinâmico baseado na teoria da semelhança e da covariância (Denmead, 2008). Um anemômetro sônico tridimensional (CSAT3, Campbell Sci., Inc.) foi instalado a 2 m de al-

tura na área de estudo e usado para calcular a velocidade de fricção (u^*) necessária para estimar K. Correções de estabilidade para condições atmosféricas estáveis e instáveis foram calculadas com base no comprimento de Obukhov (Denmead, 2008) e aplicadas para corrigir K. Devido aos requisitos com relação ao limite estimado para a área amostrada (*fetch*), os amostradores foram instalados a uma distância mínima de 90 m da borda da área de estudo. Na Figura 3 tem-se a ilustração do sistema utilizado no método do fluxo-gradiente.



Figura 3. Sistema analisador de gases traço com espectrômetro de absorção com laser diodo sintonizável (sigla do inglês: TDLAS-TGA200) na fazenda experimental Capivara, da Embrapa Arroz e Feijão.

A amostragem do ar foi feita a duas alturas acima da superfície da vegetação, mantendo uma distância vertical de 0,4 m entre os dois amostradores. O amostrador inferior foi mantido em torno de 0,4 m acima da superfície média da vegetação. O sistema de amostragem conduzia as amostras até o analisador de gases (TDLAS-TGA200, Campbell Sci. Inc., Logan, UT), onde as concentrações de N₂O foram medidas usando a técnica de espectrometria de absorção a laser. O analisador de gases traço (TGA) foi instalado dentro de um contêiner localizado na borda da área de estudo (Figura 2), com cli-

matização para manter a temperatura controlada (24 °C) dentro do contêiner. O TGA coletava dados em uma frequência de 10 Hz e a cada 30 minutos calculava uma média da concentração do gás em cada altura de medição. As diferenças de concentração entre as duas alturas e, conseqüentemente, os fluxos de N₂O de cada meia hora foram calculados ao longo do período experimental, sendo esses dados utilizados para calcular os fluxos diários.

Interrupções na coleta dos dados durante o período experimental ocorreram devido a falhas de alimentação de energia, manutenção do sistema e operações de campo. Além disso, a filtragem de dados causou uma redução no número das medidas utilizáveis de fluxo de meia hora. Os dados foram rejeitados quando o desvio padrão das médias de 30 minutos da diferença nas concentrações (∂C) foi superior a 20 ppb e quando a velocidade média de fricção de 30 minutos (u^*) foi inferior a 0,1 m s⁻¹. Após a aplicação desses filtros, foi possível calcular o fluxo de cerca de 45% dos possíveis períodos de 30 minutos. Com isso, os fluxos médios diários foram obtidos para 194 dias, que representam 82% do período experimental.

Análise de dados

Para a comparação entre os fluxos de N₂O, medidos usando os dois métodos, utilizou-se o teste t pareado. A relação entre os dados coletados com os dois métodos foi descrita utilizando a correlação bivariada de Pearson.

Resultados e Discussão

As medições de fluxos de N₂O usando o método das câmaras estáticas manuais (Fc) foram realizadas em 50 dias ao longo de todo o período experimental (237 dias), enquanto que as medições de fluxo com o método do fluxo-gradiente (Ffg) foram contínuas com dados válidos em 194 dias ao longo de todo o período experimental (Figuras 4A e 4B). As medidas de Fc e Ffg coincidiram em 43 dias ao longo de todo o período experimental (Figura 4A). Durante esses dias, as medidas diárias com o método das câmaras variaram entre $-25,8 \pm 105,3$ e $215,1 \pm 589,2$ ng m⁻² s⁻¹ de N-N₂O, enquanto os fluxos de N₂O medidos pelo método do fluxo-gradiente variaram de $-44,1 \pm 37,9$ a $256,5 \pm 48,5$ ng m⁻² s⁻¹ de N-N₂O.

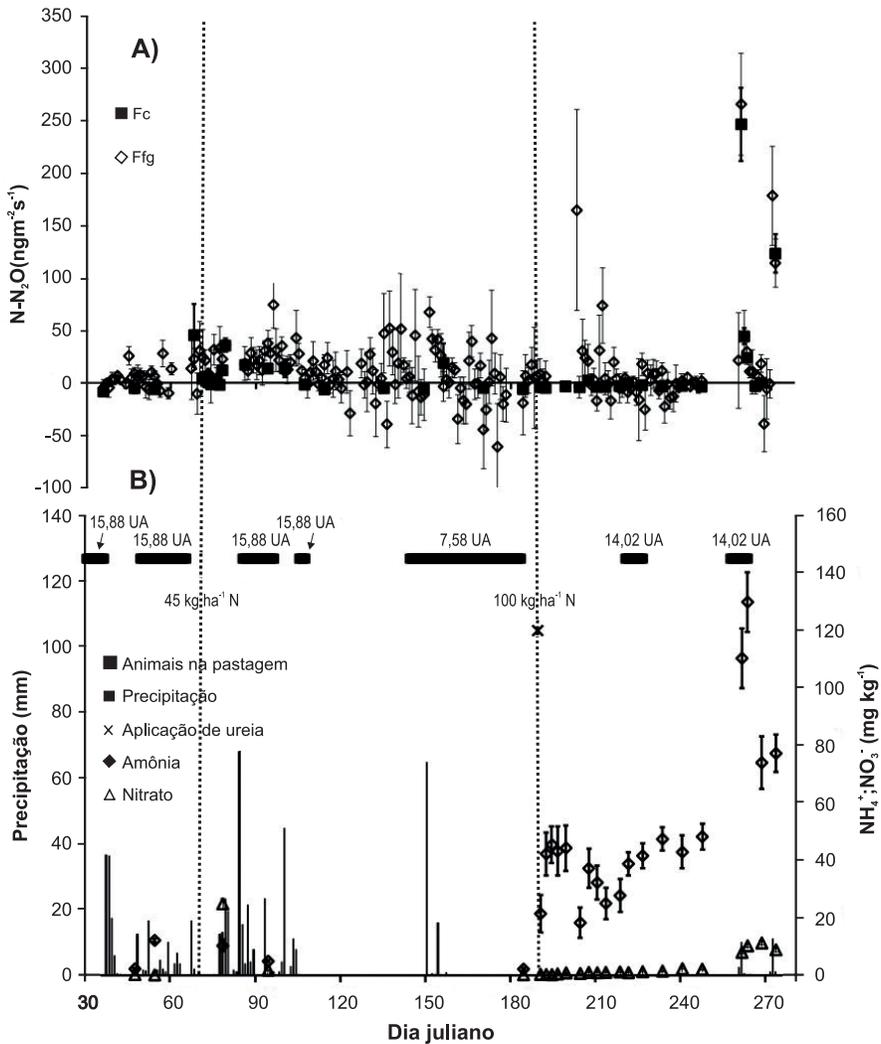


Figura 4. A) Média diária de fluxos de N_2O ($ng\ m^{-2}\ s^{-1}$) durante o período experimental, de 5 de fevereiro a 30 de setembro de 2013 (36 a 273 dias julianos), usando dois métodos: das câmaras estáticas manuais (Fc) e do fluxo-gradiente (Ffg); B) Concentrações de amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-) no solo ($mg\ kg^{-1}$), períodos com presença de animais na pastagem e datas de aplicação de ureia (45 $kg\ ha^{-1}$ e 100 $kg\ ha^{-1}$, respectivamente). As barras verticais representam erro padrão das médias. Onde as barras de erro não são visíveis, significa que são menores do que a representação do dado de fluxo no gráfico. Santo Antônio de Goiás, Brasil.

O fluxo diário máximo de $\text{N-N}_2\text{O}$, medido usando ambos os métodos, ocorreu no dia 18 de setembro (261 dias julianos, $F_c = 215,1$ e $F_{fg} = 256,5 \text{ ng m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ N-N}_2\text{O}$), após a ocorrência da primeira precipitação ao final do período da estação seca, e o segundo maior fluxo foi medido no dia 30 de setembro (273 dias julianos, $F_c = 108,7$ e $F_{fg} = 117,2 \text{ ng m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ N-N}_2\text{O}$), após outra ocorrência de chuva.

Durante os 43 dias em que as medições em ambos os métodos coincidiram, fluxos negativos de $\text{N-N}_2\text{O}$ foram observados em 67,4% das medidas via câmaras estáticas (29 dias), e em 25,6% das medidas pelo fluxo-gradiente (11 dias). As medidas com câmaras estáticas apresentaram valores mais baixos do que as medidas com fluxo-gradiente em 70% dos dias de medição e, conseqüentemente, o fluxo diário médio usando o método do fluxo-gradiente foi maior ($F_{fg} = 18,2 \pm 45,7 \text{ ng m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ de $\text{N-N}_2\text{O}$) do que com o método das câmaras estáticas ($F_c = 12,3 \pm 42,9 \text{ ng m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ de $\text{N-N}_2\text{O}$). Nesses dias, observou-se que 88% das medições obtidas pelo método do fluxo-gradiente estavam dentro da faixa de valores mensurados pelo método das câmaras estáticas. Quando analisados todos os dias de medição pelo método do fluxo-gradiente (194 dias), tem-se que 96% de tais valores estavam dentro da faixa de valores medidos com as câmaras. De acordo com o teste t, pareado para os 43 pares de dados, os valores F_c e F_{fg} eram comparáveis. Além disso, a correlação (bivariada de Pearson) entre F_c - F_{fg} foi de 0,93 ($p < 0,001$) e a regressão linear (R^2) foi de 0,87 ($p < 0,001$), considerando todos os 43 pares (Figura 5).

Vale ressaltar, no entanto, que uma pequena proporção (4,65%) dos pares representava fluxos superiores a $50 \text{ ng m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ de $\text{N-N}_2\text{O}$ e eles foram responsáveis pela alta correlação geral observada na Figura 5. Ao desconsiderar fluxos superiores a $50 \text{ ng m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ de $\text{N-N}_2\text{O}$, a correlação linear foi reduzida para $R^2 = 0,26$. Portanto, a comparabilidade dos dois métodos foi severamente reduzida quando os fluxos eram menores do que $50 \text{ ng m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ de $\text{N-N}_2\text{O}$. Importante fluxo de N_2O ocorre quando alto teor de amônio (NH_4^+) no solo coincide com condições edafoclimáticas favoráveis às emissões de N_2O , principalmente quando ocorre maior precipitação e, conseqüentemente, maior proporção de espaço poroso preenchido por água no solo (Lessa et al., 2014). Neste estudo, essas condições ocorreram no final do período de observação, entre 18 e 30 de setembro (261 e 273 dias julianos), quando a concentração de NH_4^+ no solo foi entre 100 e 120 mg kg^{-1} em comparação à

concentração entre 18 e 40 mg kg⁻¹ no período antecedente, entre 8 de julho e o início de setembro. Nesse período, precisamente na madrugada do dia 18 de setembro, ocorreu a primeira precipitação (~30 mm) após a estação seca. A alta concentração de NH₄⁺ no solo ocorreu devido à aplicação de 100 kg ha⁻¹ de N, no dia 8 de julho, durante a estação seca antecedente à primeira precipitação. A aplicação da dose de 100 kg ha⁻¹ de N na pastagem na estação seca aconteceu justamente para simular o efeito do N acumulado sobre os fluxos de N₂O, na virada entre as estações seca e chuvosa.

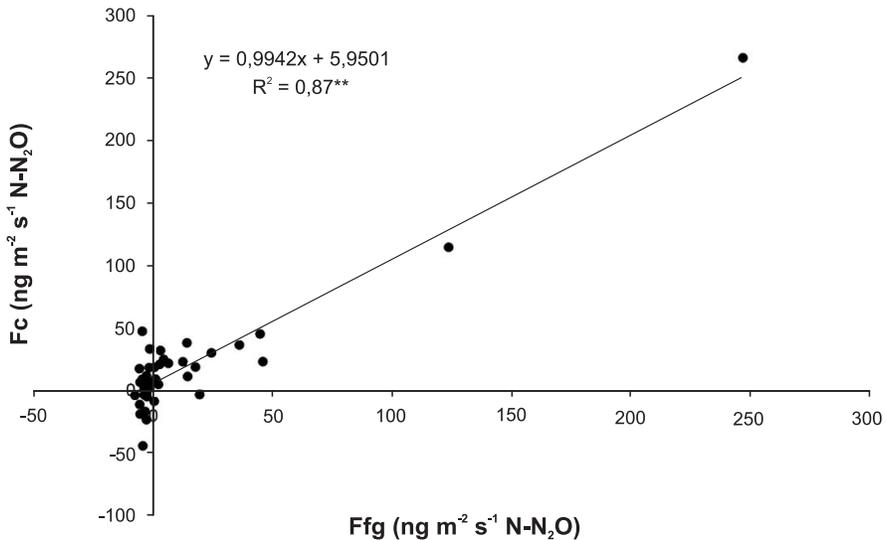


Figura 5. Regressão linear entre os valores médios dos fluxos de N₂O obtidos pelo método das câmaras estáticas manuais e pelo método do fluxo-gradiente (n = 43).

Fonte: Corrêa (2014)

Com as câmaras estáticas manuais, portanto, foi possível capturar os fluxos eminentes de N₂O. Com isso, o método das câmaras estáticas manuais se mostrou adequado para descrever a dinâmica dos fluxos de N₂O e detectar fluxos importantes, desde que as amostragens sejam feitas em períodos e frequência adequados, determinados por condições e eventos edafoclimáticos e de manejo. Entretanto, houve subestimação dos fluxos menores, que representam a maioria, pelo método das câmaras estáticas, quando comparado ao método do fluxo-gradiente, o que pode ter repercussão na estimativa das emissões totais por determinado período.

Propõe-se duas possibilidades como causa da baixa correlação dos fluxos diários menores que $50 \text{ ng m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ de $\text{N-N}_2\text{O}$ obtidos pelos dois métodos. Uma é que o método das câmaras estáticas manuais subestima os fluxos quando as concentrações de N_2O são menores nas amostras devido ao limite de detecção do método (Parkin et al., 2012). Outra possível explicação é que com o método do fluxo-gradiente, os fluxos de N_2O de outras fontes, não provenientes diretamente do solo, são também detectados e quantificados (Davidson, 2009). Em pastagens onde ocasionalmente há presença de animais, há também deposição de fezes e urina. Os fluxos de N_2O oriundos dos dejetos animais são quantificados pelo método do fluxo-gradiente, mas com o método das câmaras estáticas isso se dá somente se a deposição acontecer dentro da câmara. Assim, há possibilidade de que com o método das câmaras estáticas, manuais ou automatizadas, parte das emissões de N_2O , oriunda de dejetos animais, seja somente esporadicamente quantificada.

Conclusões

- a) O método das câmaras estáticas manuais para a medição dos fluxos do gás de efeito estufa N_2O é comparável ao método do fluxo-gradiente, quando os fluxos de N_2O são maiores do que $50 \text{ ng m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ de $\text{N-N}_2\text{O}$;
- b) Os fluxos medidos pelo método das câmaras estáticas manuais são, em geral, inferiores aos medidos pelo método do fluxo-gradiente, quando os fluxos de N_2O são menores do que $50 \text{ ng m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ de $\text{N-N}_2\text{O}$;
- c) Em sistemas de produção pecuária ou em sistemas mais complexos, como o de integração lavoura-pecuária, o método de quantificação de fluxos mais recomendado é o do fluxo-gradiente ou outro método acoplado a técnicas de micrometeorologia, pois fornecerá dados que melhor representam os fluxos diários médios de N_2O .
- d) Em solos sob pastagem, especialmente com alta lotação de animais, as câmaras estáticas dificilmente capturam os fluxos de N_2O oriundos da urina e das fezes em maneira representativa, devido à alta variabilidade espacial da deposição desses dejetos animais.

Referências

- AGRITEMPO. Sistema de monitoramento agrometeorológico. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária. Disponível em: <<http://www.agritempo.gov.br/index.php>>. Acesso em: 20 nov. 2017.
- ALVES, B. J. R.; SCIVITTARO, W. B.; JANTALIA, C. P.; SOUSA, R. O.; BAYER, C.; RODRIGUES, R. A. R.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S.; MADARI, B. E. **Protocolo para medições de fluxos de gases de efeito estufa em sistemas aeróbicos e alagados de produção de grãos - Rede Fluxus**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2017. 55 p. (Embrapa Agrobiologia. Documentos, 306).
- ALVES, B. J. R.; SMITH, K. A.; FLORES, R. A.; CARDOSO, A. S.; OLIVEIRA, W. R. D.; JANTALIA, C. P.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Selection of the most suitable sampling time for static chambers for the estimation of daily mean N₂O flux from soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 46, p. 129-135, 2012. DOI: 10.1016/j.soilbio.2011.11.022
- CORRÊA, R. S. **Fluxos de N₂O em sistema integração lavoura-pecuária no bioma Cerrado: comparação entre a câmara estática e o método fluxo-gradiente**. 2014. 98 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia, Goiânia.
- DAVIDSON, E. A. The contribution of manure and fertilizer nitrogen to atmospheric nitrous oxide since 1860. **Nature Geoscience**, v. 2, n. 9, p. 659-662, Sept. 2009. DOI:10.1038/ngeo608
- DAVIDSON, E. A.; AVAGE, K.; VERCHOT, L. V.; NAVARRO, R. Minimizing artifacts and biases in chamber-based measurements of soil respiration. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 113, n. 1/4, p. 21-37, Dec. 2002. DOI: 10.1016/S0168-1923(02)00100-4
- DENMEAD, O. T. Approaches to measuring fluxes of methane and nitrous oxide between landscapes and the atmosphere. **Plant and Soil**, v. 309, n. 1/2, p. 5-24, Aug. 2008. DOI: 10.1007/s11104-008-9599-z
- EDWARDS, G. E.; THURTELL, G. W.; KIDD, G. E.; DIAS, G. M.; WAGNER-RIDDLE, C. A diode laser based gas monitor suitable for measurement of trace gas exchange using micrometeorological techniques. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 115, n. 1/2, p. 71-89, Feb. 2003. DOI: 10.1016/S0168-1923(02)00166-1
- FLECHARD, C. R.; NEFTEL, A.; JOCHER, M.; AMMANN, C.; LEIFELD, J.; FUHRER, J. Temporal changes in soil pore space CO₂ concentration and storage under permanent grassland. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 142, n. 1, p. 66-84, Jan. 2007. DOI: 10.1016/j.agrformet.2006.11.006
- HUTCHINSON, G. L.; MOSIER, A. R. Improved soil cover method for field measurement of nitrous oxide fluxes. **Soil Science Society of America Journal**, v. 45, n. 2, p. 311-316, Mar. 1981. DOI: 10.2136/sssaj1981.03615995004500020017x
- IPCC 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. In: EGGLESTON, S.; BUENDIA, L.; MIWA, K.; NGARA, T.; TANABE, K. (Ed.). **Agriculture, forestry and other land use**. Japan: Institute for Global Environmental Strategies, 2006. v. 4.
- JONES, S. K.; FAMULARI, D.; DI MARCO, C. F.; NEMITZ, E.; SKIBA, U. M.; REES, R. M.; SUTTON, M. A. Nitrous oxide emissions from managed grassland: a comparison of eddy covariance and static chamber measurements. **Atmospheric Measurement Techniques Discussions**, v. 4, n. 10, p. 2179-2194, Oct. 2011. DOI: 10.5194/amt-4-2179-2011

LESSA, A. C. R.; MADARI, B. E.; PAREDES, D. S.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S.; JANTALIA, C. P.; ALVES, B. J. R. Bovine urine and dung deposited on Brazilian savannah pastures contribute differently to direct and indirect soil nitrous oxide emissions. **Agriculture, Ecosystems and Environmental**, v. 190, p. 104-111, June 2014.
DOI:10.1016/j.agee.2014.01.010

OLIVEIRA, V. A. de; RODRIGUES, C. **Levantamento detalhado dos solos da Fazenda Capivara, município de Santo Antônio de Goiás - GO**: relatório técnico. Goiânia: Viasat Geotecnologia e Meio Ambiente, 2012. 104 p.

PARKIN, T. B.; VENTEREA, R. T. **USDA-ARS GRACEnet Project Protocols**: chamber-based trace gas flux measurements. Fort Collins: USDA-ARS, 2010. 39 p.

PARKIN, T. B.; VENTEREA, R. T.; HARGREAVES, S. K. Calculating the detection limits of chamber-based soil greenhouse gas flux measurements. **Journal of Environmental Quality**, v. 41, n. 3, p. 705-715, May-June 2012. DOI:10.2134/jeq2011.0394

SANTOS, G. G.; SILVEIRA, P. M. da; MARCHÃO, R. L.; BECQUER, T.; RIOS, A. J. W.; RODRIGUES, C. **Descrição morfológica de perfis de solos da Fazenda Capivara da Embrapa Arroz e Feijão**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2010. 51 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 258).

ZANATTA, J. A.; ALVES, B. J. R.; BAYER, C.; TOMAZI, M.; FERNANDES, A. H. B. M.; COSTA, F. S.; CARVALHO, A. M. de. **Protocolo para medição de fluxos de gases de efeito estufa do solo**. Colombo: Embrapa Florestas, 2014. 80 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 265).



Arroz e Feijão

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO

GOVERNO
FEDERAL

CGPE 14726