

Emissões de N₂O de um Latossolo Após a Aplicação de Fertilizantes Nitrogenados

Diana Signor¹; Carlos Eduardo Pellegrino Cerrí²; Magnus Dall'igna Deon³

Resumo

O óxido nitroso (N₂O) é o principal gás do efeito estufa emitido pelos solos agrícolas e sua emissão é influenciada pelo uso de fertilizantes nitrogenados. Este trabalho avaliou, sob condições controladas, o comportamento das emissões de N₂O em amostras de um Latossolo Vermelho, em função da aplicação de duas fontes (nitrato de amônio e ureia) e de três doses (0,11 mg; 0,15 mg e 0,22 mg de N g⁻¹ de solo) de nitrogênio. Os tratamentos foram aplicados na forma de solução, em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições. Todos os tratamentos aumentaram as emissões de N₂O em relação ao controle. O efeito da dose de N sobre as emissões de N₂O foi mais pronunciado para a ureia. As emissões foram maiores e ocorreram mais rapidamente nos tratamentos com ureia do que naqueles com nitrato de amônio (maior emissão diária aos 9 e aos 12 dias, respectivamente). As emissões acumuladas ajustaram-se adequadamente a modelos logísticos em todos os tratamentos, indicando que estas curvas representam bem as emissões de N₂O induzidas pela aplicação de fertilizantes nitrogenados sob condições controladas. Os resultados podem auxiliar no planejamento de pesquisas similares a serem conduzidas no campo.

Palavras-chave: solo, gases do efeito estufa, aquecimento global, ureia, nitrato de amônio.

Introdução

O N₂O, apesar de ter menor concentração atmosférica que o CO₂, possui elevado potencial de aquecimento global (298 vezes superior ao CO₂) e é um importante gás do efeito estufa (GEE) (INTERGOVERNMENTAL PANNEL ON CLIMATE CHANGE, 2007). O uso de fertilizantes nitrogenados na agricultura é a principal fonte antrópica de N₂O (BERGSTROM et al., 2001; PASSIANOTO et al., 2003). Em algumas áreas agrícolas, o N₂O representa 90% das emissões de GEE (TENUTA et al., 2010). No Brasil, a agricultura é responsável por 18,9% das emissões de GEE e por 83,7% das emissões totais de N₂O (BRASIL, 2010).

A emissão de gases nitrogenados (N₂O, NO e N₂) é resultado de inúmeros processos que ocorrem no solo (STEVENS; LAUGHLIN, 1998) e depende de um balanço entre produção, consumo e difusão dos gases do solo para a atmosfera (FIRESTONE; DAVIDSON, 1989). Em solos aerados, o principal produto emitido é o NO; em solos úmidos, maior proporção de NO será convertida a N₂O no solo; já em solo supersaturado e em condições anaeróbicas, maior proporção de N₂O é reduzido a N₂ antes de ser emitido (DAVIDSON et al., 2000).

¹ Engenheira-agrônoma, M.Sc. em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisadora da Embrapa Cocais, São Luís, MA, diana.signor@embrapa.br.

² Professor, Departamento de Ciência do Solo, ESALQ-USP, Piracicaba-SP.

³ Engenheiro-agrônomo, D.Sc. em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador da Embrapa Semiárido, Petrolina, PE.

Mais de 50% das emissões de N₂O induzidas pela adição de fertilizantes nitrogenados ao solo ocorrem no primeiro mês após a aplicação (LIU et al., 2005) e os maiores fluxos diários se dão na primeira semana após a fertilização (SCHILS et al., 2008). Em laboratório, Zhang et al. (2009) avaliaram por 20 dias as emissões de N₂O do solo provocadas pela adição de N-NH₄⁺. Ao final da avaliação, independente da quantidade de N, as emissões foram similares às do tratamento controle.

Neste contexto, levanta-se a hipótese de que as emissões de N₂O variam em função da dose de fertilizante nitrogenado aplicada ao solo, de forma diferenciada para fontes de N. O trabalho objetivou avaliar, em condições controladas, as emissões de N₂O em função da aplicação de duas fontes (ureia e nitrato de amônio) e de três doses de fertilizantes nitrogenados em amostras de solo deformadas.

Material e Métodos

Amostras de solo foram coletadas na camada 0-10 cm, em um Latossolo Vermelho cultivado com cana-de-açúcar, em Iracemápolis, SP. Os conteúdos de areia, silte e argila eram 41 g kg⁻¹, 22 g kg⁻¹ e 37 g kg⁻¹, respectivamente. Os valores de pH em água e em KCl 1M eram 6,4 e 5,7; os teores de Ca, Mg, K, Al, H+Al eram 56 mmol_c kg⁻¹; 23 mmol_c kg⁻¹; 141 mmol_c kg⁻¹; 1,6; 42 mmol_c kg⁻¹; o teor de P-Mehlich1 era 75 mg kg⁻¹; os teores de C e N eram 2,6 g kg⁻¹ e 0,2 g kg⁻¹, respectivamente.

Para a montagem do experimento, 100 g de solo seco ao ar e peneirado (malha 2 mm) foram colocados em anéis de aço inoxidável (5 cm de diâmetro e 5 cm de altura) fechados na base com tela de 180 fios cm⁻². A umidade do solo foi ajustada em mesa de tensão, atingindo em torno de 60% da capacidade de campo (LIMA; SILVA, 2008). Cada anel foi transferido para um recipiente de vidro de 600 ml e cada frasco recebeu 1 mL de solução de ureia ou nitrato de amônio (as duas fontes de N mineral mais utilizadas na fertilização dos canaviais) nas concentrações de: 0,11 mg; 0,15 mg e 0,22 mg de N g⁻¹ de solo. Os tratamentos foram denominados U-0,11; U-0,15; U-0,22 (com adição de ureia); N-0,11; N-0,15; N-0,22 (com adição de nitrato de amônio) e C (tratamento controle, adição de 1 mL de água). Os frascos foram hermeticamente fechados com tampa de metal e incubados sob temperatura controlada de 20 °C, que representa a temperatura média entre os meses de agosto e setembro (quando são feitas as adubações na cana-de-açúcar) na mesorregião da coleta, conforme os dados climáticos obtidos entre 1917 e 2009 (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2003). Frascos vazios foram incubados como prova em branco. O delineamento foi inteiramente casualizado, com quatro repetições.

Amostras de gases de cada frasco foram coletadas a cada 24 horas através de um septo de borracha no centro de cada tampa. As coletas se iniciaram no quarto dia após a aplicação dos fertilizantes, para garantir produção de N₂O suficiente para ser quantificado, e prosseguiram até o 33° dia de incubação. Após as coletas, os frascos eram abertos em ambiente ventilado por aproximadamente 5 minutos para evitar que a amostra do dia seguinte ultrapassasse o limite de detecção do aparelho usado na quantificação do N₂O. Após esse período, os frascos eram fechados e permaneciam em temperatura controlada até a próxima coleta. As concentrações de N₂O nas amostras foram determinadas em cromatógrafo Shimadzu GC-mini. Os gases são separados em coluna empacotada Porapak Q[®] (80-100 mesh), operando a 80 °C, em seguida há uma ionização por fonte de ⁶³Ni e o N₂O é quantificado por um detector de captura de elétrons (ECD) operando a 325 °C.

Com as concentrações diárias de N₂O em cada frasco, calculou-se a emissão acumulada ao longo do experimento. As emissões acumuladas foram ajustadas a modelos logísticos em função do dia de aplicação do fertilizante. O modelo logístico segue a equação geral: $y = A / (1 + e^{B(x-C)})$, na qual “A” representa o ponto de máximo da curva (emissão acumulada), “B” é a capacidade de crescimento do sistema; “C” é o ponto de inflexão da curva; “y” é a emissão acumulada de N-N₂O g⁻¹ de solo; “x” é o número de dias após a aplicação do fertilizante solo. Modelos não lineares não possuem coeficiente de regressão definido e a qualidade do ajuste foi estimada através do R²-calculado (1 – (soma de quadrados do resíduo/soma de quadrados total)) (SIT; POULIN-COSTELLO, 1994). As emissões acumuladas e os pontos de inflexão dos modelos ajustados foram submetidos à análise de variância e teste de médias (Tukey).

Resultados e Discussão

Os modelos logísticos foram significativos para todos os tratamentos (Tabela 1). O teste de Tukey para o parâmetro “A” do modelo (emissão acumulada de N₂O ao final do período de avaliação) mostrou que o controle teve emissões menores que os demais tratamentos ($\alpha < 0,001$), com 4,44 µg N-N₂O g⁻¹ de solo ao final dos 33 dias do experimento (Tabela 1). Estes resultados corroboram trabalhos anteriores (CARDENAS et al., 2010; TENUTA et al., 2010).

Os valores de “A” nos tratamentos N-0,11 e N-0,15 foram semelhantes entre si e inferiores aos do tratamento N-0,22 ($\alpha < 0,001$). Os comportamentos das curvas de emissão dos tratamentos N-0,11 e N-0,15 também foram semelhantes (Figura 1). A emissão total acumulada no tratamento N-0,22 (57,97 µg N-N₂O g⁻¹ de solo) foi 59% maior que a média das emissões totais das outras doses de nitrato de amônio (36,60 µg N-N₂O g⁻¹ e 32,22 µg N-N₂O g⁻¹ de solo para N-0,11 e N-0,15 respectivamente).

Nos tratamentos com ureia, o valor de “A” também foi maior para o tratamento U-0,22 ($\alpha < 0,001$). As emissões acumuladas em U-0,11 e U-0,15 foram 57,72 µg N-N₂O g⁻¹ e 72,73 µg N-N₂O g⁻¹ de solo, respectivamente. A emissão total aumentou 26% quando a dose de ureia passou de 0,11 mg de N g⁻¹ para 0,15 mg de N g⁻¹ de solo. Quando a dose de ureia aumentou de 0,15 mg de N g⁻¹ para 0,22 mg de N g⁻¹ de solo, o aumento na emissão de N-N₂O foi maior que 100%.

Tabela 1. Equações logísticas das emissões acumuladas de N₂O ajustada a cada tratamento em função dos dias de incubação e R² calculado para cada ajuste.

Tratamento	Equação	R ²		Significância (Pr > F)
		calculado		
Controle	$y = 4,4374 / (1 + e^{-0,3046(x-16,3379)})$	0,48		< 0,0001
NA-0,11	$y = 36,6045 / (1 + e^{-0,2826(x-12,1616)})$	0,97		< 0,0001
NA-0,15	$y = 32,2260 / (1 + e^{-0,3705(x-10,4292)})$	0,99		< 0,0001
NA-0,22	$y = 57,9732 / (1 + e^{-0,2519(x-14,1418)})$	0,98		< 0,0001
U-0,11	$y = 57,7271 / (1 + e^{-0,4496(x-9,4567)})$	0,98		< 0,0001
U-0,15	$y = 72,7333 / (1 + e^{-0,4277(x-9,5009)})$	0,99		< 0,0001
U-0,22	$y = 147,20 / (1 + e^{-0,4153(x-9,7479)})$	0,99		< 0,0001

N
A
-
0
,
1
:
N
i
t
r
a
t
o
d
e

amônio na dose de 0,11 mg N g⁻¹ de solo; NA-0,15: Nitrato de amônio na dose de 0,15 mg N g⁻¹ de solo; NA-0,22: Nitrato de amônio na dose de 0,22 mg N g⁻¹ de solo; U-0,11: Ureia na dose de 0,11 mg N g⁻¹ de solo; U-0,15: Ureia na dose de 0,15 mg N g⁻¹ de solo; U-0,22: Ureia na dose de 0,22 mg N g⁻¹ de solo.

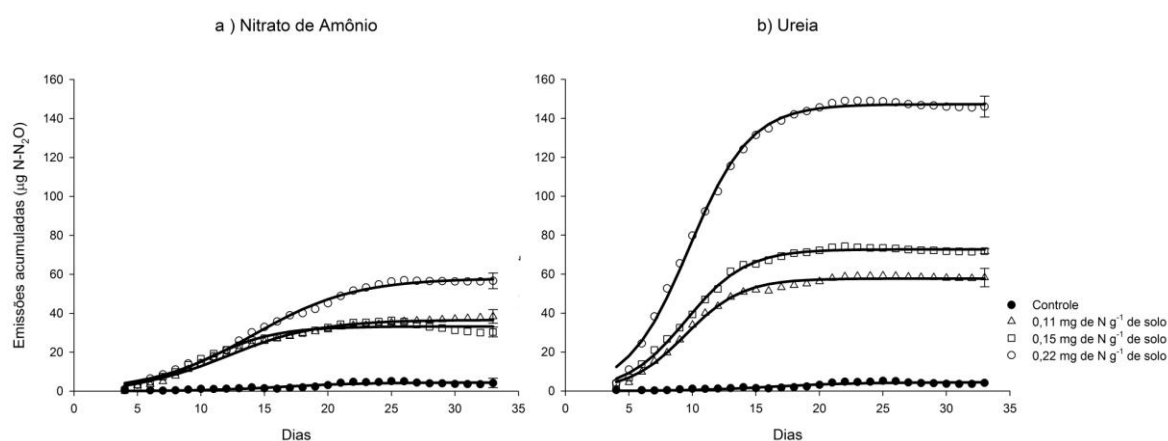


Figura 1. Emissões acumuladas de N-N₂O ao longo de 33 dias de incubação para nitrato de amônio (a) e ureia (b) aplicados em amostras de solo deformadas de um Latossolo Vermelho, incubadas em frascos hermeticamente fechados a 20 °C. Pontos representam os valores medidos e linhas representam os modelos logísticos ajustados às emissões. Barras verticais no último ponto representam o erro-padrão da média (n=4) das emissões acumuladas ao final do experimento.

Diferenças nos valores de “A” entre nitrato de amônio e ureia ocorreram para as doses 0,15 mg de N g⁻¹ e 0,22 mg de N g⁻¹ solo. Comparando-se as duas fontes na maior dose, a emissão do tratamento com ureia (147,20 µg N-N₂O g⁻¹ de solo) ao final do experimento foi 2,5 vezes maior que a emissão no tratamento com nitrato de amônio (57,97 µg N-N₂O g⁻¹ de solo).

A análise de variância para o parâmetro “C” do modelo logístico, que representa o pico da emissão, mostrou efeitos das fontes de N. As maiores emissões ocorreram aos 12 dias após a aplicação do fertilizante para o nitrato de amônio e aos 9 dias para a ureia, confirmando a hipótese de que a dinâmica das emissões de N-N₂O está condicionada à fonte de N. Todo o conteúdo de N da ureia (45% em massa) está na forma amídica, que pode ser usada diretamente pelos microrganismos nas reações de nitrificação, enquanto o nitrato de amônio (35% de N) possui metade do conteúdo de N na forma nítrica (que pode ser usada diretamente na desnitrificação) e metade na forma amoniacal (que deve passar inicialmente pela

nitrificação). Isso explica as emissões de N₂O maiores e mais rápidas para a ureia se considerarmos a nitrificação como o principal processo de produção de N₂O nas condições deste estudo.

Ciarlo et al. (2008), em condições controladas e usando amostras de solo indeformadas, observaram emissões de N-N₂O maiores em decorrência da adição de nitrato do que com a adição de ureia. Contudo, a produção de N₂O possivelmente ocorreu por desnitrificação, enquanto no presente estudo, por causa das amostras deformadas (maior aeração), a principal fonte de N₂O foi, possivelmente, a nitrificação. Zhang et al. (2009), também usaram amostras indeformadas e verificaram correlação positiva entre a adição de N amoniacal e as emissões de N₂O.

As condições de campo são muito heterogêneas e variações de temperatura, umidade e características do solo influenciam a quantidade de N do fertilizante emitida na forma de N₂O. Nesse sentido, as condições controladas de laboratório, embora não sejam fiéis à realidade, podem indicar a importância relativa dos fatores que afetam a produção de N₂O (STEVENS; LAUGHLIN, 1998), mostrando diferenças na dinâmica das emissões em função de diferentes fontes e doses de fertilizantes e auxiliando no planejamento de etapas posteriores de pesquisa, a serem conduzidas no campo.

Conclusões

A equação logística explica adequadamente a dinâmica das emissões de N₂O do solo em função do período de tempo após a aplicação de fertilizante nitrogenado.

As emissões de N₂O se estabilizam em aproximadamente 1 mês após a aplicação dos fertilizantes. Em amostras deformadas de um Latossolo Vermelho, as emissões de N₂O ocorrem mais rápida e intensamente quando se aplica ureia do que quando se usa nitrato de amônio como fonte de N.

Os resultados podem auxiliar no planejamento de estudos similares a serem conduzidos no campo.

Agradecimentos

À CAPES e à FAPESP pela concessão de bolsas e ao CNPq pelo apoio financeiro. À Usina Iracema pelo apoio e cessão da área para coleta das amostras de solo.

Referências

- BERGSTROM, D. W.; TENUTA, M.; BEAUCHAMP, E. G. Nitrous oxide production and flux from soil under sod following application of different nitrogen fertilizers. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Nova York, v. 32, p. 553-570, 2001.
- BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Segunda comunicação nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**. Brasília, DF, 2010. 2 v. 280 p.
- CARDENAS, L. M.; THORMAN, R.; ASHLEEE, N.; BUTLER, M.; CHADWICK, D.; CHAMBERS, B.; CUTTLE, S.; DONOVAN, N.; KINGSTON, H.; LANE, S.; DHANOA, M. S.; SCHOLEFIELD, D. Quantifying annual N₂O emission fluxes from grazed grassland under a range of inorganic fertiliser nitrogen inputs. **Agriculture Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 136, p. 218-226, 2010.
- CIARLO, E.; CONTI, M.; BARTOLONI, N.; RUBIO, G. Soil N₂O emissions and N₂O/(N₂O+N₂) ratio as affected by different fertilization practices and soil moisture. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 44, p. 991-995, 2008.
- DAVIDSON, E. A.; KELLER, M.; ERICKSON, H. E.; VERCHOT, L. V.; VELDKAMP, E. Testing a conceptual model of soil emissions of nitrous and nitric oxides. **Bioscience**, Washington, DC, v. 50, p. 667-680, 2000.

- FIRESTONE, M. K.; DAVIDSON, E. A. Microbial basis of NO and N₂O production and consumption in soils. In ANDRAE, M. O.; SCHIMMEL, D. S. (Ed.) **Exchange of trace gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere**. New York: John Wiley, 1989. v. 1. p. 7-21.
- INTERGOVERNMENTAL PANNEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2007**: synthesis report: contribution of working groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, 2007. 104 p.
- LIMA, H. V. de; SILVA, A. P. da. Sand tension table: procedures for construction and validation. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, p. 2.209-2.214, 2008.
- LIU, X. J.; MOSIER, A. R.; HALVORSON, A. D.; ZHANG, F. S. Tillage and nitrogen application effects on nitrous and nitric oxide emissions from irrigated fields. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 276, n. 1/2, p. 235-249, 2005.
- PASSIANOTO, C. C.; AHRENS, T.; FEIGL, B. J.; STEUDLER, P. A.; DO CARMO, J. B.; MELILLO, J. M. Emissions of CO₂, N₂O, and NO in conventional and no-till management practices in Rondonia, Brazil. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 38, p. 200-208, 2003.
- SCHILS, R. L. M.; GROENIGEN, J. W. V.; VELTHOF, G. L.; KUIKMAN, P. J. Nitrous oxide emissions from multiple combined applications of fertilizer and cattle slurry to grassland. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 310, n. 1/2, p. 89-101, 2008.
- SIT, V.; POULIN-COSTELLO, M. **Catalogue of curves for curve fitting**. Victoria: Ministry of Forests, Forest Science Research Branch, Biometrics Information, 1994. 110 p. (Biometrics Information Handbook, 4).
- STEVENS, R. J.; LAUGHLIN, R. J. Measurement of nitrous oxide and di-nitrogen emissions from agricultural soils. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 52, p. 131-139, 1998.
- TENUTA, M.; MKHABELA, M.; TREMORIN, D.; COPPI, L.; PHIPPS, G.; FLATEN, D.; OMINSKI, K. Nitrous oxide and methane emission from a coarse-textured grassland soil receiving hog slurry. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Berlin, v. 138, p. 35-43, 2010.
- UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. **Base de dados meteorológicos**. 2003. Disponível em: <<http://www.leb.esalq.usp.br/anos.html>>. Acesso em: 10 mar. 2010.
- ZHANG, H. H.; HE, P. J.; SHAO, L. M.; YUAN, L. Minimisation of N₂O emissions from a plant-soil system under landfill leachate irrigation. **Waste Management**, Amsterdam, v. 29, p. 1.012-1.017, 2009.