

Emissões de Óxido Nitroso em um Sistema de Produção sob Manejo Orgânico



República Federativa do Brasil

Luiz Inácio Lula da Silva

Presidente

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Roberto Rodrigues

Ministro

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Conselho de Administração

Luís Carlos Guedes Pinto

Presidente

Silvio Crestana

Vice-Presidente

Alexandre Kalil Pires

Ernesto Paterniani

Hélio Tollini

Marcelo Barbosa Saintive

Membros

Diretoria Executiva

Silvio Crestana

Diretor Presidente

Tatiana Deane de Abreu Sá

José Geraldo Eugênio de França

Kepler Euclides Filho

Diretores Executivos

Embrapa Agrobiologia

José Ivo Baldani

Chefe Geral

Eduardo Francia Carneiro Campello

Chefe Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento

Rosângela Stralio

Chefe Adjunto Administrativo

SMITH, K. A.; BALL, T.; CONEN, F.; DOBBIE, K. E.; MASSHEDER, J.; REY, A. Exchange of greenhouse gases between soil and atmosphere: interactions of soil physical factors and biological processes. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 54, p. 779-791, 2003.

SMITH, K. A.; THOMSON, P. E.; CLAYTON, H.; MCTAGGART, I. P.; CONEN, F. Effects of temperature, water content and nitrogen fertilization on emissions of nitrous oxide by soils. **Atmospheric Environment**, Amsterdam, v. 32, p. 3301-3309, 1998.

SMITH, W. N.; GRANT, B.; DESJARDINS, R. L.; LEMKE, R.; LI, C. Estimates of the interannual variations of N₂O emissions from agricultural soils in Canada. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 68, p. 37-45, 2004.

WEBB, J.; HARRISON, R.; ELLIS, S. Nitrogen fluxes in three arable soils in the UK. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 13, p. 207-223, 2000.

WEITZ, A. M.; LINDER, E.; FROLKING, S.; CRILL, P. M.; KELLER, M. N₂O emissions from humid tropical agricultural soils: Effects of soil moisture, texture and nitrogen availability. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 33, p. 1077-1093, 2001.

XAVIER DA SILVA, J. Geoprocessamento e análise ambiental. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 54, p. 47-61, 1992.



Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro Nacional de Pesquisa em Agrobiologia
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

ISSN 1517-8498

Abril/2005

Documentos 189

Emissões de Óxido Nitroso em um Sistema de Produção sob Manejo Orgânico

Cláudia Pozzi Jantalia
Ednaldo da Silva Araújo
Raquel Gomes Ferreira
Lusimar Lamarte G. Galindo da Silva
Marcela Cristina Rosas Aboim
Devis Aparecido de Araújo
Érika Machado Pinheiro
Elias Melo de Miranda
Antônio Carlos de Souza Abboud
Janaína Ribeiro Costa
Segundo Urquiaga
Robert Michael Boddey
Bruno José Rodrigues Alves

Seropédica – RJ
2005

Exemplares desta publicação podem ser adquiridas na:

Embrapa Agrobiologia

BR465 – km 7

Caixa Postal 74505

23851-970 – Seropédica/RJ, Brasil

Telefone: (0xx21) 2682-1500

Fax: (0xx21) 2682-1230

Home page: www.cnpab.embrapa.br

e-mail: sac@cnpab.embrapa.br

Comitê Local de Publicações: Eduardo F. C. Campello (Presidente)
José Guilherme Marinho Guerra
Maria Cristina Prata Neves
Verônica Massena Reis
Robert Michael Boddey
Maria Elizabeth Fernandes Correia
Dorimar dos Santos Felix (Bibliotecária)

Expediente:

Revisores e/ou ad hoc: Alexander Silva de Resende e Helvécio De-Polli

Normalização Bibliográfica: Dorimar dos Santos Félix

Editores eletrônicos: Marta Maria Gonçalves Bahia

1ª impressão (2005): 50 exemplares

J35e Jantalia, Cláudia Pozzi.

Emissões de Óxido Nitroso em um Sistema de Produção sob Manejo Orgânico / Ednaldo da Silva Araújo, Raquel Gomes Ferreira, Lusimar Lamarte G. Galindo da Silva, Marcela Cristina Rosas Aboim, Deivis Aparecido de Araújo, Érika Machado Pinheiro, Elias Melo de Miranda, Antônio Carlos de Souza Abboud, Janaína Ribeiro Costa, Segundo Urquiaga, Robert Michael Boddey, Bruno José Rodrigues Alves. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2005. 244 p. (Embrapa Agrobiologia. Documentos, 189).

ISSN 1517-8498

1. Sistema de produção. 2. Agricultura orgânica. I. Araújo, E. da S., colab. II. Ferreira, R. G., colab. III. Silva, L. L. G. G. da, colab. IV. Aboim, M. C. R., colab. V. Araújo, D. A. de, colab. VI. Pinheiro, E. M., colab. VII. Miranda, E. M. de, colab. VIII. Abboud, A. C. de S., colab. IX. Costa, J. R., colab. X. Urquiaga, S., colab. XI. Boddey, R. M., colab. XII. Alves, B. J. R., colab. XIII. Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Agrobiologia (Seropédica, RJ). XIV. Título. XV. Série.

CDD 338.1

© Embrapa 2005

IPCC- Intergovernmental Panel on Climate Change. **Revised 1997 IPCC Guidelines for National greenhouse gas inventories;** reference manual. **Suíça.** 1997.

MAAG, M.; VINTHER, F. P. Nitrous oxide emission by nitrification and denitrification in different soil types and at different soil moisture contents and temperatures. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 4, p. 5-14, 1996.

MOSIER, A.; WASSMANN, R.; VERCHOT, L.; KING, J.; PALM, C. Methane and nitrogen oxide fluxes in tropical agricultural soils: sources, sinks and mechanisms. **Environment, Development and Sustainability**, New York, v. 6, p. 11-49, 2004.

PAUL, E. A.; CLARK, F. E. **Soil microbiology and biochemistry.** San Diego: Academic, 1989. 275 p.

PFENNING, K. S.; MCMAHON, P. B. Effect of nitrate, organic carbon, and temperature on potential denitrification rates in nitrate-rich riverbed sediments. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 187, p. 283-295, 1996.

PRINN, R. Non-CO₂ greenhouse gases. In: FIELD, C. B.; RAUPACH, M. R., (Ed.). **The global carbon cycle: integrating humans, climate and natural world.** Washington: SCOPE, 2004. p. 75-82.

ROBERTSON, G. P.; GRACE, P. R. Greenhouse gas fluxes in tropical and temperate agriculture: the need for a full-cost accounting of globalwarming potentials. **Environment, Development and Sustainability**, New York, v. 6, p. 51-63, 2004.

ROCHETTE, P.; VAN BOCHOVE, E.; PRÉVOST, D.; ANGERS, D. A.; CÔTÉ, D.; BERTRAND, N. Soil carbon and nitrogen dynamics following application of pig slurry for the 19th Consecutive Year: II. Nitrous oxide fluxes and mineral nitrogen. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 64, p. 1396-1403, 2000.

ŠIMEK, M.; JÍSŮVÁ, L.; HOPKINS, D. W. What is the so-called optimum pH for denitrification in soil? **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 34, p. 1227-1234, 2002.

SKIBA U.; SMITH, K. A. The control of nitrous oxide emissions from agricultural and natural soils. **Chemosphere - Global Change Science**, Amsterdam, v. 2, p. 379-386, 2000.

6. Referências Bibliográficas

ALVES, B. J. R.; SANTOS, J. C. F.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Métodos de determinação do nitrogênio em solo e planta. In: HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R. S. (Ed.). **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. p. 449-469. (EMBRAPA-CNPAF. Documentos, 46).

BAGGS, E. M.; REES, R. M.; SMITH, K. A.; VINTEN, A. J. A. Nitrous oxide emission from soils after incorporating crop residues. **Soil Use and Management**, Oxford, v. 16, p. 82–87, 2000.

BRAGA, R. M. **Monitoramento dos teores de nitrato e amônio no solo e em hortaliças produzidas sob manejo orgânico**. 1997. 85 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Departamento de Fitotecnia, Seropédica, RJ.

CHRISTENSEN, S. Nitrous oxide emission from a soil under permanent grass: seasonal and diurnal fluctuations as influenced by manuring and fertilization. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 51, p. 111-117, 1983.

COMFORT, S. D.; KELLING, K. A.; KEENEY, D. R.; CONVERSE, J. C. Nitrous oxide production from injected dairy manure. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 54, p. 421-427, 1990.

CRUTZEN, P. J. Atmospheric chemical processes of the oxides of nitrogen, including nitrous oxide. In: DELWICHE, J. (Ed.). **Denitrification, nitrification and nitrous oxide**. New York: Wiley, 1981. p. 17-44.

DOBBIE, K. E.; SMITH, K. A. The effects of temperature, water-filled pore space and land use on N₂O emissions from an imperfectly drained gleysol. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 52, p. 667–673, 2001.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. **Manual de métodos de análise do solo**. Rio de Janeiro, 1979. n. p.

GRANLI, T.; BOCKMAN, O. C. Nitrous oxide from agriculture. **Norwegian Journal of Agricultural Sciences**, Norway, Suppl. 12, p. 1-128, 1994.

Autores

Cláudia Pozzi Jantalia

Eng. Agrônoma, Doutora em Fitotecnia.
BR 465, km 7 – Caixa Postal 74505
23851-970 – Seropédica/RJ
e-mail: claudiaps@yahoo.com.br

Ednaldo da Silva Araújo

Eng. Agrônomo, Doutorando em Ciência do Solo, bolsista da Embrapa Agrobiologia/UFRRJ
BR 465, km 7 – Caixa Postal 74505,
Cep 23851-970, Seropédica/RJ
e-mail: ednaldo@ufrj.br

Raquel Gomes Ferreira

Estudante de Graduação, UFLA
Campus Universitário – UFLA, Lavras, MG.
Cep: 37200-000.
e-mail: raquelgf@ufla.br

Lusimar Lamarte G. Galindo da Silva

Zootecnista, Doutorando em Ciência do Solo, bolsista da Embrapa Agrobiologia/UFRRJ
BR 465, km 7 – Caixa Postal 74505,
Cep 23851-970, Seropédica/RJ
e-mail: llgalindo@yahoo.com.br

Marcela Cristina Rosas Aboim

Bióloga, MSc. em Ciência do Solo, bolsista da Embrapa Agrobiologia/UFRRJ
BR 465, km 7 – Caixa Postal 74505,
Cep 23851-970, Seropédica/RJ
e-mail: marcela.aboim@globocom.br

Deivis Aparecido de Araújo

Estudante de Graduação, UFRRJ
BR 465, km 7 – Caixa Postal 74505,
Cep: 23851-970 – Seropédica/RJ
e-mail: deivis.araujo@yahoo.com.br

Érika Machado Pinheiro

Eng. Agrônoma, Doutoranda em Ciência do Solo, bolsista da Embrapa Agrobiologia/UFRRJ
BR 465, km 7 – Caixa Postal 74505,
Cep 23851-970, Seropédica/RJ
e-mail: erika@ufrj.br

Elias Melo de Miranda

Eng. Agrônomo, Doutorando em Ciência do Solo, bolsista da Embrapa Agrobiologia/UFRRJ
BR 465, km 7 – Caixa Postal 74505,
Cep 23851-970, Seropédica/RJ
e-mail: elias@cpafac.embrapa.br

Antônio Carlos de Souza Abboud

Eng. Agrônomo, MSc. em Ciência do Solo, Professor da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
BR 465, km 7, Cep 23890-000,
Seropédica/RJ
e-mail: abboud@ufrj.br

Janaina Ribeiro Costa

Eng. Agrônoma, PhD. pesquisadora da Embrapa Agrobiologia
BR 465, km 7 – Caixa Postal 74505
23851-970 – Seropédica/RJ
e-mail janaina@cnpab.embrapa.br

Segundo Urquiaga

Eng. Agrônomo, PhD. pesquisador da Embrapa Agrobiologia
BR 465, km 7 – Caixa Postal 74505
23851-970 – Seropédica/RJ
e-mail urquiaga@cnpab.embrapa.br

Robert Michael Boddey.

Químico Agrícola, PhD. pesquisador da Embrapa Agrobiologia
BR 465, km 7 – Caixa Postal 74505
23851-970 – Seropédica/RJ
e-mail bob@cnpab.embrapa.br

Bruno José Rodrigues Alves

Eng. Agrônomo, PhD, Pesquisador da Embrapa Agrobiologia
BR 465, km 7 – Caixa Postal 74505
23851-970 – Seropédica/RJ
e-mail: bruno@cnpab.embrapa.br

sistema SAGA. Para a realização de novos estudos utilizando a metodologia aqui adotada, sugere-se que seja feita uma complementação com etapas de calibração e validação de resultados.

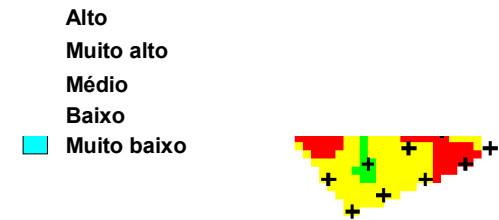


Figura 4. Potencial de emissão de óxido nitroso na área de produção orgânica. As cruzes indicam pontos de amostragem. O mapa foi produzido através do uso do SAGA (LAGEOP/UFRJ).

4. Conclusões

As emissões de N_2O das áreas avaliadas foram influenciadas pelas características de cada sistema de produção.

O presente estudo demonstrou uma possibilidade para modelagem das emissões de N_2O .

5. Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio e financiamento da Embrapa Agrobiologia, UFRRJ, CNPq e FAPERJ para a realização deste trabalho.

É uma variável inversamente relacionada à disponibilidade de N do solo, sendo uma característica da matéria orgânica utilizada na predição do resultado líquido dos processos de mineralização e imobilização de N pelos microrganismos do solo (PAUL & CLARK, 1989).

A avaliação ambiental gerada pelo SAGA produziu um mapa em que se observam áreas com diferentes potenciais para emissão de N₂O (Figura 4). Grande parte da área estudada possui um potencial que varia de médio a muito alto, compreendendo canteiros para produção de hortaliças e áreas fertilizadas com N através da adubação verde (Figura 1 e Figura 4). As áreas de menor potencial de emissão de N₂O estão infestadas de gramíneas espontâneas, e aparentemente não estão sendo utilizadas para a produção de hortaliças na mesma intensidade que as demais. Não obstante os fluxos de N₂O medidos na área experimental terem sido relativamente baixos, deve-se considerar que as áreas delimitadas como “alto” a “muito alto” potencial de emissão de N₂O reúnem condições para que o processo ocorra em grande intensidade, sempre que a saturação dos poros com água atingir níveis ótimos para o processo.

Como mencionado anteriormente, a temperatura também é um fator que pode intensificar o processo. Como o estudo foi feito no período de inverno na região, e as chuvas que ocorreram foram fracas para saturar o solo, era de se esperar que os fluxos de N₂O não fossem muito elevados, e possivelmente explicados pelo processo de nitrificação (SKIBA & SMITH, 2000). Para que se possa concluir quanto ao impacto do sistema orgânico sobre as emissões de N₂O, períodos de 2 a 3 anos com medições contínuas dos fluxos deste gás devem ser adotados para que se possa agregar as variações decorrentes da sazonalidade na região, e também as variações interanuais que podem ser muito significativas em função da região e do sistema de produção (SMITH et al., 2004). O uso do SAGA para avaliação do potencial de emissão de N₂O pode ser estratégico para avaliações em larga escala, quando se pretende adotar modelos para estimar as emissões do gás. Neste sentido, o uso de uma análise preliminar no local de avaliação para levantamento dos pesos das variáveis a serem utilizadas é importante. Para isso, a análise por componentes principais proporcionou uma análise integrada das variáveis e o grau de importância em relação aos fluxos de N₂O, e pode ser uma opção para avaliação dos pesos para o

Apresentação

A preocupação crescente da sociedade com a preservação e a conservação ambiental tem resultado na busca pelo setor produtivo de tecnologias para implantação de sistemas de produção agrícola com enfoques ecológicos, rentáveis e socialmente justos. O enfoque agroecológico do empreendimento agrícola se orienta para o uso responsável dos recursos naturais (solo, fauna, flora, energia e minerais).

Dentro desse cenário, a Embrapa Agrobiologia orienta sua programação P&D para o avanço de conhecimento e desenvolvimento de soluções tecnológicas para uma agricultura sustentável.

A agricultura sustentável, produtiva e ambientalmente equilibrada apoia-se em práticas conservacionistas de preparo do solo, rotações de culturas, consórcios, no uso da adubação verde e de controle biológico de pragas, como no emprego eficiente dos recursos naturais. Infere-se daí que os processos biológicos que ocorrem no sistema solo/planta, efetivados por microrganismos e pequenos invertebrados, constituem a base sobre a qual a agricultura agroecológica se sustenta.

O documento 189/2005 aborda o uso da análise multivariada para identificar áreas de maior potencial de emissão de N₂O através da análise ambiental pelo método SAGA. O documento sugere que o SAGA pode ser uma metodologia estratégica para avaliações em larga escala quando se pretende adotar modelos para estimar as emissões de gases de efeito estufa como o N₂O em diferentes sistemas de produção, inclusive sob manejo orgânico.

José Ivo Baldani
Chefe Geral da Embrapa Agrobiologia

SUMÁRIO

1. Introdução	7
2. Material e Métodos	10
2.1. Descrição da Etapa 1	10
Quantificação dos fluxos de N ₂ O.....	11
Levantamento dos pesos de cada variável pela análise multivariada por componentes principais ...	12
2.2. Descrição da Etapa 2	13
Avaliação ambiental quanto ao potencial de emissão de óxido nitroso.....	13
3. Resultados e Discussão	14
4. Conclusões	21
5. Agradecimentos.....	21
6. Referências Bibliográficas.....	22

períodos mais longos. Em outras palavras, esta variável está muito relacionada com a %EPSA, o que também se observou no presente estudo. De fato, a área possui manchas de Planossolo, caracterizados por um horizonte superficial arenoso, mas normalmente têm a drenagem limitada pelo horizonte argiloso localizado a 30 a 40 cm da superfície. As variáveis pH e %EPSA estão diretamente ligadas ao processo, a primeira importante para o estabelecimento da população de microrganismos nitrificadores e desnitrificadores, e a última, variável chave para o processo de desnitrificação, responsável pelos maiores fluxos de N₂O. A relação C/N aparece entre as quatro variáveis de maior peso no presente estudo.

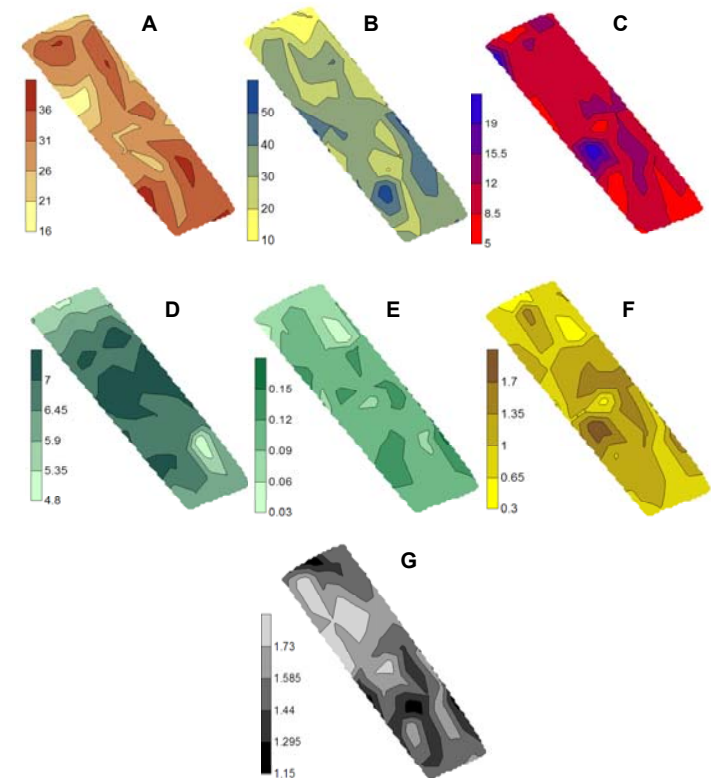


Figura 3. Mapas de classes para as variáveis (A) argila+silte (%), (B) %EPSA, (C) C/N, (D) pH, (E) %N, (F) %C e (G) densidade do solo (g cm⁻³)

Para a finalidade do presente estudo, selecionou-se o componente principal 2 como referência para identificar os pesos das variáveis estudadas em relação aos fluxos de N₂O. A razão para isso foi que a variável fluxo de N₂O apresentou alta correlação com o componente principal 2 (Tabela 3), e assim o grau de correlação das demais variáveis a este mesmo componente é um indicativo de sua relação com os fluxos de N₂O.

Observa-se na Tabela 3 que, para as condições do estudo, a textura e a saturação dos poros com água foram variáveis que apresentaram altos coeficientes de ponderação com o componente principal 2, seguidas do C/N, pH, %N, %C e densidade do solo. Na Figura 3, são mostrados os mapas de classes para cada variável usados na análise georeferenciada.

Tabela 3. Coeficiente de correlação e de ponderação entre as variáveis estudadas e o componente principal 2 da análise multivariada; pesos estimados em função do coeficiente de ponderação para geração da análise ambiental pelo SAGA.

Variáveis	Correlação com CP2	Coeficientes de ponderação	Pesos estimados
Fluxo de N ₂ O (g N m ⁻² dia ⁻¹)	0,82	-	-
NO ₃ ⁻ (ppm)	0,51	-	-
Silte + argila (%)	-0,98	-0,44	34
%EPSA	0,85	0,29	24
pH	0,45	0,18	15
%N	0,26	0,07	6
%C	0,24	-0,02	1
Ds (g cm ⁻³)	-0,13	-0,01	1
C/N	0,00	-0,23	19

Para a estimativa dos pesos a serem usados na análise georeferenciada através do SAGA, não foram consideradas as variáveis fluxo de N₂O e nitrato no solo.

A relação inversa entre o fluxo de N₂O e o teor de argila contraria a literatura (MAAG & VINTHER, 1996; SMITH et al., 1998), pois espera-se que solos mais argilosos tenham uma drenagem mais lenta aumentando as chances de ocorrência de sítios anaeróbicos por

Emissões de Óxido Nitroso em um Sistema de Produção sob Manejo Orgânico¹

Cláudia Pozzi Jantalia
Ednaldo da Silva Araújo
Raquel Gomes Ferreira
Lusimar Lamarte G. Galindo da Silva
Marcela Cristina Rosas Aboim
Deivis Aparecido de Araújo
Érika Machado Pinheiro
Elias Melo de Miranda
Antônio Carlos de Souza Abboud
Janaína Ribeiro Costa
Segundo Urquiaga
Robert Michael Boddey
Bruno José Rodrigues Alves

1. Introdução

O uso de insumos orgânicos na agricultura é bastante comum, especialmente na produção de hortaliças e frutíferas. Em sistemas de produção sob manejo orgânico, são responsáveis pelo suprimento de N para a grande maioria das culturas. Nestes sistemas o uso de leguminosas para adubação verde, e consorciação, também são comuns. A matéria orgânica adicionada ao solo sob estes sistemas de produção libera altas quantidades de N (BRAGA, 1997), que pode sofrer transformações que levam a perdas por lixiviação e/ou por formas voláteis, com alto impacto ambiental, como o óxido nitroso (N₂O).

As emissões de N₂O dos solos ocorrem como consequência, sobretudo de processos microbiológicos – desnitrificação e nitrificação, a partir do N mineral. O processo de desnitrificação é geralmente considerado como sendo o de maior importância na emissão de N₂O (SKIBA & SMITH, 2000). A desnitrificação consiste na redução microbiana do N-nítrico (NO₃⁻) a formas mais reduzidas de N, passando por formas

¹ Trabalho desenvolvido em apoio da FAPERJ e CNPq

gasosas (NO, N₂O e N₂) que são comumente perdidas para a atmosfera. Concomitantemente à redução do nitrato, a matéria orgânica é oxidada para a obtenção de energia pelos microrganismos. Logo, ambientes ricos em matéria orgânica com alta disponibilidade de N apresentam alto potencial de emissão de N₂O (WEITZ et al., 2001). Sugere-se que as condições mais úmidas e quentes, como as observadas na região de Mata Atlântica, ocasionem maiores emissões de óxidos de N (MOSIER et al., 2004).

A preocupação ambiental com as emissões de N₂O surgiu na década de 70 quando foi demonstrado o seu efeito na redução do ozônio estratosférico (CRUTZEN, 1981), cuja importância é filtrar parcialmente os raios ultravioleta que chegam ao planeta. Além disso, é uma molécula que tem um efeito equivalente a 296 moléculas de CO₂, devido a sua alta capacidade de absorver radiação infra-vermelha e sua alta estabilidade na atmosfera (ROBERTSON & GRACE, 2004), contribuindo para o aquecimento global (efeito estufa). Estima-se que a concentração deste gás esteja aumentando na taxa de 0,3 a 0,5% ao ano, devido principalmente à atividade agrícola (PRINN, 2004).

A maioria dos resultados sobre emissões de N₂O pelo uso de dejetos animais, em condições de campo é de regiões sob clima temperado, tanto em áreas de lavoura como de pastagem, e mostram altas emissões de N₂O (GRANLI & BOCKMAN, 1994; CHRISTENSEN, 1983; COMFORT et al., 1990). Pelo IPCC (1997), as emissões de N₂O devem ser bastante variáveis, em que se recomenda um fator de emissão médio de 1,25% sobre a quantidade total de N aplicada, com uma incerteza de 80%.

Existem vários fatores que controlam as emissões de N₂O, entre eles os mais importantes são temperatura, saturação dos poros do solo com água e disponibilidade de N mineral (DOBBIE & SMITH, 2001). A saturação do solo com água depende da porosidade e da retenção de água, função do teor de argila e de matéria orgânica. Esta última, relacionada a disponibilidade de N no solo e de C, que ao lado do pH, são variáveis edáficas chave para a atividade dos organismos nitrificadores e desnitrificadores (PAUL & CLARK, 1989). Com grande número de variáveis envolvidas, espera-se que uma área de produção apresente alta variabilidade espacial em relação aos fluxos de N₂O do solo, especialmente em ambientes altamente diversificados como os de produção orgânica de alimentos. O uso de modelos matemáticos tem

na área de café. Os valores somente elevaram-se após a ocorrência das chuvas, no final do período de avaliação. É importante destacar que os níveis de saturação do solo com água sempre estiveram abaixo de 60%, considerado um valor abaixo do qual não se esperam fluxos elevados de N₂O (DOBBIE & SMITH, 2001).

Algumas das variáveis definidas para o estudo apresentaram resultados similares entre as áreas, como foi o caso do teor de silte + argila, do teor de N e da densidade do solo (Tabela 1). Outras, como o teor de C e nitrato, somente mostraram que a área de pastagem era a de solo mais pobre, o que poderia explicar os baixos fluxos de N₂O pela falta de substrato.

Para a análise multivariada foram considerados os valores individuais de cada repetição. Foram encontrados 3 componentes principais após a análise, que continham toda a variância experimental (Tabela 2). Pelos autovalores, o componente principal 1 explicaria 53% da variabilidade encontrada entre as amostras retiradas, enquanto o componente 2 explicaria 33%, e o 3, o restante.

Tabela 1. Resultados médios de cada variável (5 repetições) obtidas de amostras de solo, da camada de 0-10 cm, das 4 áreas sob estudo na etapa 1.

Áreas	Ds (g.cm ³)	Silte+ Argila -----%	EPSA	C	N	C/N	pN ₂ O -----ppm	N ₂ O g N média ¹	
Banana	1,48	35	32	0,79	0,11	7,46	5,86	15,0	229,9
Pasto	1,42	35	30	0,78	0,12	6,45	5,40	0,8	47,1
Café	1,35	33	49	1,05	0,14	7,38	5,54	14,3	930,5
Mucuna	1,51	32	39	0,68	0,11	6,52	6,18	12,4	452,0

Tabela 2. Autovalores e percentagem de variância dos resultados associada a cada componente principal e acumulada.

Componente principal	Auto valores	% total de cada CP	% acumulado
1	4,8	53	53
2	3,0	33	86
3	1,3	14	100

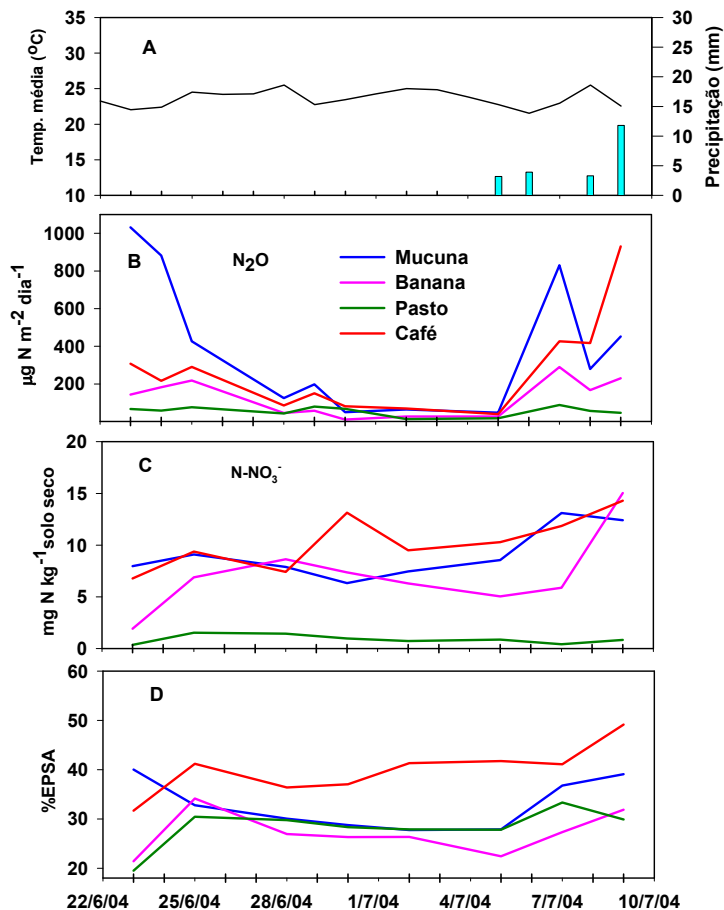


Figura 2. Temperatura média do ar e precipitação diária (A), fluxos de N₂O (B), nitrato no solo (C) e saturação do espaço poroso com água (%EPSA) na profundidade de 0 a 10 cm, durante o período de avaliação (23/6 a 9/7/2004) das quatro áreas do sistema orgânico de produção.

Durante os dias de amostragem, somente foram registradas chuvas nos últimos dias (Figura 2), o que coincidiu com a elevação dos fluxos de N₂O, com exceção da área de pasto. Nas amostragens iniciais, na área com mucuna, foram registrados altos fluxos de N₂O, onde também se observava maior saturação dos poros com água (%EPSA - Figura 2) em relação as demais áreas. Ao longo das amostragens, a %EPSA se manteve aproximadamente estável em todas as áreas, sendo maiores

sendo sugerido como uma das soluções para lidar com a variabilidade espacial e temporal das emissões de N₂O (SMITH et al., 2003), evitando-se inúmeras medidas de fluxos, extremamente laboriosas, por medidas mais rápidas e simples de variáveis correlatas.

Nessas condições, o uso da análise georeferenciada é uma ferramenta de grande valor, permitindo descrever a variabilidade espacial. Através do programa SAGA para avaliação ambiental (XAVIER DA SILVA, 1992), desenvolvido pelo LAGEOP/UFRJ (Laboratório de Geoprocessamento, do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro), é possível delimitar áreas com diferentes potenciais de emissão de N₂O, tendo como base resultados de análise de variáveis afins obtidas de amostras retiradas de pontos georeferenciados, na mesma área. Para cada variável analisada, prepara-se um mapa que descreve sua variação espacial. O programa SAGA é alimentado com os mapas das variáveis, e com o peso com que cada uma se relaciona com o processo de produção de N₂O. Normalmente, os pesos são definidos com base na literatura. No entanto, o grau de importância de cada variável pode ser diferente dependendo de cada situação de estudo.

ŠIMEK et al. (2002) concluíram que o pH e o conteúdo de C, em solo argiloso, fertilizado com N, eram as principais variáveis relacionadas ao processo de desnitrificação, nas condições em que conduziram o estudo. Em outro estudo, a diferença na textura do solo foi um fator considerado chave na emissão de N₂O do solo, sendo os mais arenosos aqueles em que os fluxos foram menores, mesmo quando a umidade era elevada (SMITH et al., 1998). Dessa forma, para a obtenção do potencial de emissão de N₂O utilizando-se o SAGA, é interessante levantar informações locais sobre o peso das variáveis a serem analisadas em relação ao processo de produção do gás.

O objetivo deste trabalho foi identificar as áreas de maior potencial de emissão de N₂O de um solo sob manejo orgânico, através da análise ambiental pelo SAGA, utilizando-se a análise multivariada, por componentes principais, para o levantamento dos pesos das variáveis em estudo. Com base na literatura, consideraram-se 7 variáveis como relevantes para o processo de emissão de N₂O (PFENNING & MCMAHON, 1996; ŠIMEK et al., 2002; DOBBIE & SMITH, 2001; WEITZ et al., 2001), e de fácil aquisição e análise laboratorial.

2. Material e Métodos

As avaliações foram realizadas na área de produção orgânica de alimentos da EMBRAPA Agrobiologia (Fazendinha Agroecologia Km 47), localizada no município de Seropédica – RJ. O estudo foi realizado em duas etapas, desenvolvidas simultaneamente. Na etapa 1, foram feitas quantificações das emissões de óxido nitroso do solo em 4 diferentes áreas sob manejo orgânico, além da análise das variáveis pH, %C, %N, relação C/N, densidade do solo, textura (%silte+argila) e saturação do solo com água, relacionadas ao processo de produção de N₂O. Os resultados da Etapa 1 foram utilizados em uma análise multivariada, por componentes principais, para obtenção dos pesos para cada uma destas variáveis para a estimativa do potencial de emissão de N₂O pela análise georeferenciada de outra área, estudada na Etapa 2.

Descrição da Etapa 1

Foram feitas avaliações em 4 diferentes áreas sob exploração agrícola:

1- Café consorciado com leguminosas e frutíferas: A cultura do café (*Coffea canephora*), estabelecida há 4 anos, se encontrava no espaçamento de 2 m entrelinhas com plantas espaçadas de 1 m. Nas entrelinhas foram plantadas bananeiras intercaladas com gliricídia (*Gliricidia sepium*), utilizada para o sombreamento do café. Anualmente a cultura recebe 2 litros de esterco de curral por metro quadrado aplicados em 2 doses durante o ano. Esta área recebeu irrigações durante o período imediatamente antes do início do experimento.

2- Banana consorciadas com leguminosas e outras frutíferas: Bananeiras (*Musa* sp.), com 6 anos de idade, estabelecidas sob espaçamento de 3 x 3 m, foram consorciadas com gliricídia (*Gliricidia sepium*) e mamoeiros (*Carica papaya*). A área apresentava sombreamento parcial, o que permitia o desenvolvimento de gramíneas sobre o solo. Anualmente a cultura recebe 2 litros de esterco de curral por metro quadrado aplicados em 2 doses durante o ano.

3- Produção de hortaliças com adubação verde: A área se encontrava cultivada com *Mucuna cinza* (*M. pruriens*) iniciando a fase reprodutiva. Correspondia a uma gleba usada para produção de hortaliças, que não recebeu aplicação de esterco neste ano.

produção de grãos no Reino Unido, onde se aplicavam doses de fertilizantes entre 100 a 200 kg N ha⁻¹, e mesmo assim o total de N acumulado, perdido por esta via, foi inferior a 0,3 kg N ha⁻¹ em um período de 6 meses (WEBB et al., 2000). Isto porque a produção de N₂O é normalmente observada apenas durante algumas semanas que seguem à aplicação de fertilizantes nitrogenados, ou de fontes orgânicas, sendo mais intensa após períodos de chuva (SMITH et al., 2003), tal como foi observado no presente estudo em que adições de esterco são feitas anualmente, parcelada em duas a três doses.

A adição de fontes de N orgânicas pode promover uma liberação mais lenta do N e diminuir a intensidade dos fluxos de N₂O, prolongando o período de emissões em comparação às fontes solúveis (BAGGS et al., 2000). No entanto, dependendo da fonte orgânica, os fluxos de N₂O podem ser muito superiores comparados aos fertilizantes, uma vez que as doses aplicadas são, normalmente bem mais elevadas, como é o caso das áreas de produção que recebem esterco de suínos (ROCHETTE et al., 2000).

No presente estudo, com exceção da área de pastagens, a disponibilidade de nitrato no solo foi elevada durante todo o período, não sendo, a princípio, um fator que limitava o processo de desnitrificação para as áreas com culturas.

A temperatura, considerada um dos 3 mais importantes fatores que controlam as emissões de N₂O, ao lado da %EPSA e disponibilidade de N (SMITH et al., 2003), pode ter influenciado os fluxos de N₂O. Embora tenha sido registrada apenas a temperatura média durante o experimento (Figura 2), as oscilações diárias podem ter influenciado os fluxos de N₂O, não somente aumentando a cinética do processo, mas também pelo aumento da respiração microbiana, contribuindo para aumento dos sítios de anaerobiose no solo (SMITH et al., 1998). As diferenças entre as áreas amostradas com relação ao sombreamento reforçam a importância da temperatura no processo.

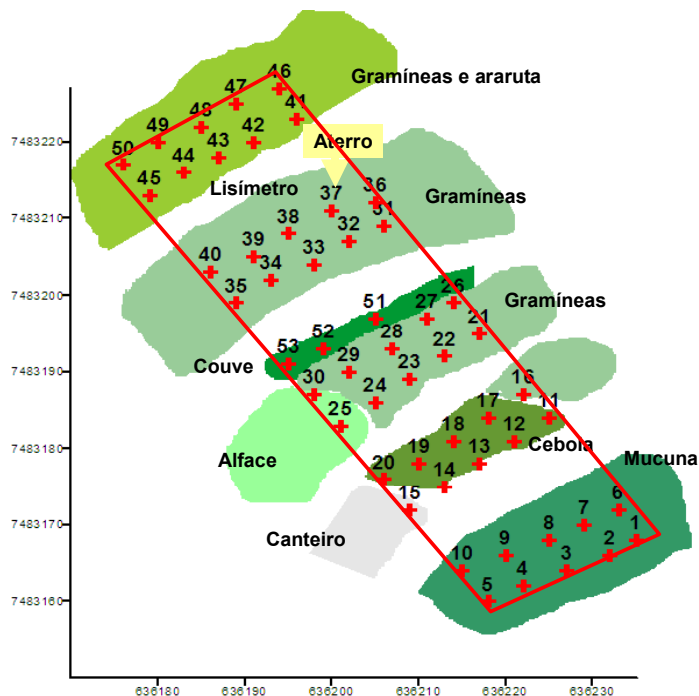


Figura 1. Distribuição dos pontos de amostragem, georeferenciados, na área sob manejo orgânico, utilizada na segunda etapa do estudo. Os eixos estão em coordenadas UTM, e representam a latitude (x) e a longitude (y). As áreas coloridas são uma aproximação das subdivisões em função do uso da terra observado na ocasião das amostragens. O paralelogramo em vermelho é uma aproximação da área utilizada para a confecção dos mapas de classe.

A avaliação ambiental, segundo XAVIER DA SILVA (1992), é feita pelo processo de superposição de mapas, considerando a atribuição de pesos e notas, que no presente estudo foram baseados no resultado da análise multivariada.

3. Resultados e discussão

Os maiores fluxos de N_2O se concentraram nos primeiros e nos últimos dias do período de avaliação (Figura 2), sendo registrados valores da ordem de $10 \text{ g N-N}_2\text{O ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ para as áreas com mucuna e café. Valores 2 a 6 vezes mais elevados foram observados em áreas de

4- Pastagem: A área apresentava um pasto com predominância de capim colômbio, infestado por diversas espécies espontâneas, como capim carrapicho, grama barbante, picão-preto, guanxuma etc. Animais mestiços eram mantidos na área em regime semi-extensivo.

Em cada uma das áreas foi demarcado um ponto e as avaliações foram feitas num raio de 5 metros. Na maioria dos pontos estudados, o solo é classificado como Argissolo vermelho-amarelo distrófico, série Itaguaí, exceto na área de bananeiras e de hortaliças, que são consideradas de transição entre o Argissolo série Itaguaí e o Planossolo série Ecologia.

Na área ao redor de cada ponto de coleta, durante o período de 23/06 a 9/07/2004, foram feitas medidas do fluxo de N_2O a cada dois a três dias. Juntamente com a amostragem de gases, era feita amostragem de solo na profundidade de 0-10 cm para determinação de umidade e NO_3^- (ALVES et al., 1994). Na última amostragem, após retiradas alíquotas para estas determinações, as amostras de solo foram secas ao ar e peneiradas a 2 mm (TFSA) para análise das seguintes variáveis: pH, os teores de N e C totais, e o teor de silte+argila. Também foram determinadas a densidade do solo pelo método do anel volumétrico, e a porosidade total do solo pelo método descrito pela EMBRAPA (1979). Com os resultados das análises, calcularam-se, também, a relação C/N e a saturação do solo com água (% EPSA).

Quantificação dos fluxos de N_2O

Em cada área de amostragem (raio de 5 metros), foram posicionadas, de forma aleatória, 5 câmaras para medição dos fluxos de N_2O . Duas câmaras eram posicionadas nas entrelinhas, e 3, próximas as culturas principais.

Cada câmara era composta por uma base retangular de 38 cm x 58 cm de metal, inserida no solo até 5 cm de profundidade. Esta base permaneceu no local durante o período de avaliação. Em cada amostragem, a base era coberta com uma câmara plástica com 9 cm de altura e as mesmas dimensões de largura e espessura da base de metal, e selada com água.

Imediatamente após a montagem da câmara, era retirada uma amostra inicial da atmosfera da câmara (t_0), e após 15 minutos era realizada uma nova amostragem (t_1). As amostras de gás do interior das

câmaras foram coletadas por meio de seringa e transferidas para frascos previamente submetidos a vácuo.

A concentração de N₂O das amostras gasosas foram medidas em cromatógrafo de gás Perkin Elmer Autosystem (Perkin Elmer, USA), equipado com coluna preenchida com “Porapak Q” e detector de captura de elétrons. O fluxo de N₂O (FN₂O) foi calculado pela equação $FN_2O = (dC/dt)(V/A)M/Vm$, onde dC/dt é a mudança de concentração do N₂O na câmara no intervalo de incubação na unidade de tempo; V e A são, respectivamente, o volume da câmara e a área de solo coberta pela câmara; M é o peso molecular de N₂O e Vm é o volume molecular na temperatura de amostragem.

Em cada coleta de gás foram medidas as temperaturas e a umidade do ar. A umidade gravimétrica do solo foi obtida pela secagem de uma subamostra de solo em estufa a 105°C por 24 horas. Com os resultados de umidade do solo, densidade do solo e a densidade de partícula do solo (método do balão volumétrico), foi calculada a % EPSA.

Levantamento dos pesos de cada variável pela análise multivariada por componentes principais

Os resultados das análises de fluxo de N₂O, nitrato, %EPSA, densidade do solo, %C, %N, relação C/N e pH das quatro áreas estudadas foram utilizados na análise por componentes principais. Com os resultados médios obtidos, todas as 7 variáveis foram normalizadas para possibilitar a comparação e observar a inter-relação entre elas. Na determinação destes pesos foram adotados os seguintes procedimentos (ou passos): 1- Após a análise de CP, identificou-se em qual das componentes principais obtidas, a variável “fluxo de N₂O” estava mais correlacionada (o coeficiente de correlação é a contribuição isolada de cada variável para cada componente); 2- Na componente principal com maior correlação com N₂O, os coeficientes de ponderação de cada variável foram utilizados para o cálculo de seus pesos para a análise georeferenciada. O coeficiente de ponderação das variáveis com cada componente, descreve a importância de cada variável integrada às demais variáveis. Assim, com os valores absolutos dos coeficientes de ponderação das 5 variáveis que foram determinadas no estudo 2, foi feita a soma destes e por regra de três

calculou-se o peso de cada variável, que serão utilizados na avaliação ambiental de emissão de N₂O através do SAGA.

Descrição da Etapa 2

Em outra área sob produção orgânica ocupada por diferentes composições vegetais, foram determinados pontos de amostragem. Estes pontos foram alinhados no terreno, com distância média de 5 metros entre estes e em seguida foram georeferenciados. Esta área estava dividida em canteiros e outras composições vegetais apresentadas na Figura 1. Ao total, demarcaram-se 53 pontos.

Em cada ponto foram coletadas amostras de solo de 0-10cm de profundidade, utilizando-se um trado de Uhland. Em cada amostra de solo foram determinados o pH, os teores de N e C totais, a relação C/N, o teor de silte+argila, a densidade do solo e o % EPSA, tal como mencionado para a etapa 1.

Avaliação ambiental quanto ao potencial de emissão de óxido nítrico

Com os resultados das análises de cada ponto, foram construídos mapas de classes para cada variável a partir do método de triangulação (estimativa de um ponto pela média de 3 pontos conhecidos, mais próximos, ponderada pela distância de cada um) com os pontos georeferenciados. Isso permitiu a produção de mapas divididos em 5 a 6 classes que compreendiam a variação dos resultados encontrados entre os diferentes pontos.

Utilizou-se o programa SAGA, desenvolvido pelo Laboratório de Geoprocessamento, do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, cujo acesso é livre através da internet. O sistema utiliza estruturas de captura e armazenamento no formato “raster”. Apresenta três módulos básicos: montagem, traçador vetorial e análise ambiental.

O módulo de montagem permite georeferenciar em coordenadas UTM e enquadrar os mapas de classes no formato raster. O traçador vetorial executa a identificação de cada atributo das entidades identificadas nos mapas digitais. Por último, o módulo de análise ambiental permite analisar os dados georeferenciados.