



Variabilidade espacial e possíveis interações de óxido nitroso com atributos do solo ⁽¹⁾.

Murilo Veloso Gomes⁽²⁾; **Josiléia Acordi Zanatta**⁽³⁾; **Jeferson Dieckow**⁽⁴⁾; **Maico Pergher**⁽²⁾; **Rosana Higa**⁽³⁾ & **Cimélio Bayer**⁽⁵⁾.

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos da CAPES, CNPQ e EMBRAPA Florestas.

⁽²⁾ Estudante de pós-graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR; muriloveloso@ufpr.br, maicopergher@hotmail.com; reinaldobrevilieri@hotmail.com; ⁽³⁾ Pesquisadora da EMBRAPA Florestas, Colombo, PR; josileia.zanatta@embrapa.br, rosana.higa@embrapa.br; ⁽⁴⁾ Professor adjunto do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da UFPR, Curitiba, PR; jefersondieckow@ufpr.br; ⁽⁵⁾ Professor Associado da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS;.

RESUMO: Devido à variabilidade espacial da emissão de N₂O e dos fatores que o controlam, diferentes conclusões entre avaliações do potencial de troca de gases dos solos têm sido encontrado. O objetivo deste estudo foi avaliar a estrutura da variabilidade espacial do fluxo de N₂O, e ainda, identificar atributos do solo relacionados ao fluxo deste gás, em solos de floresta de pinus em Rio Negrinho-SC. Foi delimitada uma área de 30 x 100 m e alocados 60 pontos, situados a 5m de distância entre si. Em cada ponto, foi coletado gás e medida a temperatura, umidade e a concentração de nitrato e amônio do solo. Utilizou-se a geoestatística e análises de correlação, respectivamente, para avaliar a variação espacial e as possíveis relações entre as propriedades avaliadas. O fluxo de N₂O, a concentração de nitrogênio mineral, elevação do terreno, umidade e temperatura do solo, apresentaram valores de alcance, respectivamente, de 42,37, 10,11, 57,36, 9,64 e 24,04 m. A nitrificação foi indicada como o principal mecanismo de produção de N₂O. A temperatura apresentou correlação positiva com o fluxo de N₂O. Para representar adequadamente o fluxo de N₂O em plantios florestais a distância entre pontos de coleta é de 10 metros. Os fatores que melhor ajudaram a explicar esse fluxo foram: elevação do terreno, temperatura do solo, DAP e posição das árvores.

Termos de indexação: gases de efeito estufa, N₂O, *Pinus taeda*.

INTRODUÇÃO

Solos e seu uso contribuem para a intensificação do efeito estufa como resultado do aumento da emissão de dióxido de carbono, metano e óxido nitroso, principalmente, ao longo das últimas décadas. Embora emitido em menor quantidade, o óxido nitroso é mais efetivos na absorção da radiação infravermelha e assim apresenta maior

potencial de aquecimento em relação ao CO₂: 298 vezes.

Sistemas florestais implantados alteram a quantidade e a qualidade da serapilheira e da matéria orgânica do solo (Li et al., 2005), com reflexos na dinâmica do carbono no sistema, e nos fluxos de GEE. Os fluxos de N₂O, por sua vez, são influenciados pela umidade do solo, bem como por concentrações de N inorgânico (Merino et al., 2004). Alguns estudos têm descrito uma relação positiva entre nitrificação e emissão de N₂O (Kiese et al., 2008), enquanto outros tem alegado que a desnitrificação é a fonte dominante de emissões de N₂O quando em solo úmido. Todos esses fatores que regulam o fluxo de N₂O a partir do solo variam e interagem de maneira complexa no campo, deixando as avaliações de seus efeitos relativos e combinados sujeito a erros. A aparente controvérsia está, em parte, associada à grande variabilidade espacial e temporal dessas emissões. Consoante destacado por Molin & Silva Júnior (2003), as análises espaciais devem complementar as análises clássicas, pelo fato da primeira considerar as relações entre observações vizinhas e tratar o solo como um meio heterogêneo.

O objetivo deste estudo foi avaliar a estrutura da variabilidade espacial do fluxo de N₂O, e ainda, identificar atributos do solo e fatores do ambiente relacionados aos processos de emissão deste gás, em floresta de *Pinus taeda* sobre um Cambissolo no município de Rio Negrinho-SC.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado na fazenda Queimados, pertencente à empresa MODO BATTISTELLA REFLORESTAMENTO S/A – MOBASA, com sede no município de Rio Negrinho-SC, sob influência do clima Cfb (segundo Köppen) com verões frescos, sem estação seca e inverno com geadas severas frequentes. O solo da fazenda Queimados caracteriza-se como CAMBISSOLO HÚMICO Alumínico típico, textura argilosa, relevo

suave ondulado e ondulado, com vegetação natural formada de Floresta Ombrófila Mista.

O trabalho foi realizado em um povoamento florestal em segunda rotação de *Pinus taeda* implantado em 2002, com 10 anos de idade, cujo espaçamento é de 2,5 m x 2,5 m. Nesta área foi realizado desbaste seletivo e sistemático, na terceira linha. Na área do povoamento foi selecionada uma área retangular de 100 m x 30 m, cujo declive é de 11% no sentido longitudinal da parcela. Na parcela foram delimitados 60 pontos dispostos sobre um eixo cartesiano, espaçados numa grade regular pela distância de cinco metros em direções perpendiculares, denominadas convencionalmente de X e Y. Foram distribuídas 60 bases de acordo com a malha regular do eixo cartesiano. No dia da coleta, amostras de ar foram coletadas, segundo o método da câmara estática (Mosier, 1989; Parkin et al., 2003). As amostras foram então encaminhadas ao Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, onde foi analisada a concentração de N₂O.

Para cada base foi medida a temperatura, umidade e a concentração de nitrato e amônio do solo. A temperatura do solo, a 5 cm de profundidade, foi tomada por meio de termômetro tipo espeto modelo Solotest 300. Para a determinação da umidade gravimétrica e N mineral foram coletadas amostras de solo na camada de 0-5 cm, as quais foram secas a 105 °C para obtenção da umidade do solo. Para a determinação da concentração de nitrato e amônio, foi utilizado o método colorimétrico. As concentrações de NH₄⁺ e NO₃⁻ foram determinadas em espectrofotômetro com leitura a 640 e 210nm de comprimento de onda, respectivamente.

Análise estatística

Utilizou-se a geoestatística para avaliar a variação espacial das propriedades do solo e do fluxo de N₂O, utilizando o programa ArcGis. O grau de dependência espacial foi calculado pelo procedimento realizado por Cambardella et al. (1994), que estabelece uma proporção do efeito pepita em relação ao patamar conforme a relação abaixo:

- a) Forte – efeito pepita < 25% do patamar;
- b) Moderado – efeito pepita = 25-75% do patamar;
- c) Fraco – efeito pepita > 75% do patamar.

Análises de correlação foram aplicadas para analisar as relações entre os fluxos dos gases e as variáveis do solo e do ambiente. Para isso, utilizou-se o programa ASSISTAT Versão 7.6 beta.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Há elevada variabilidade espacial dos atributos analisados (**Tabela 1**), sendo que valores médios desses atributos podem não estar representando a área avaliada. Isto contraria uma das pressuposições da estatística clássica, ou seja, que as parcelas devem ser as mais homogêneas possíveis, para que a média possa ser a estatística usada na representação dos tratamentos alocados à parcela. Assim, vários trabalhos vêm tentando detectar essa variabilidade a fim de conseguir uma melhor estimativa do fluxo de GEE (Itoh et al., 2012).

Uma síntese dos parâmetros do modelo de semivariograma para os fatores analisados é apresentada na **tabela 2**. O valor do alcance indicado define a distância de separação a partir da qual as amostras de um determinado atributo são consideradas independentes, apresentando variação aleatória. O fluxo de N₂O apresentou moderada dependência espacial, com alcance de 42,37 m, próximo aos valores encontrados por Itoh et al. (2012).

De acordo com a **tabela 2**, nota-se que a concentração de nitrogênio mineral, elevação do terreno, umidade e temperatura do solo apresentaram forte variabilidade espacial, com valores de alcance, respectivamente, de 10,11, 57,36, 9,64 e 24,04 m. Então, de acordo com a análise geoestatística para os atributos avaliados e a praticidade de instalação das bases, o menor valor de alcance foi de 10 metros, devendo ser essa a distância entre os pontos amostrais, para que se possa considerar a heterogeneidade existente na parcela.

De acordo com a **tabela 3**, houve uma significativa e positiva correlação entre o fluxo de N₂O e CO₂. Esta interação positiva sugere condições predominantemente aeróbicas durante a produção de N₂O, devido a não limitante disponibilidade de oxigênio aos microrganismos (Bollman & Conrad, 1998), sendo a nitrificação indicada como o principal mecanismo de produção de N₂O. Não houve uma relação entre a concentração de Nitrogênio na forma mineral e o fluxo de N₂O. Segundo Konda et al. (2008) atribui a ausência de relação entre N mineral e o fluxo de N₂O a preponderância do efeito de parâmetros físicos do solo relacionados a liberação do gás a atmosfera, principalmente na estação mais úmida, em relação à concentração de N mineral, considerando os baixos teores que são registrados em solos de povoamentos de pinus.



De acordo com a **tabela 3**, observa-se uma correlação positiva e significativa entre a temperatura e a emissão de N_2O . Assim, à medida que aumenta a temperatura do solo, uma maior emissão de N_2O é esperada. Essa mesma relação foi encontrada por Ball et al. (2007). A correlação positiva e significativa (**Tabela 3**) entre a elevação e emissão de N_2O , nos indica possivelmente que a atividade microbiana nitrificadora foi sensivelmente afetada pela posição na paisagem, pois as temperaturas mais elevadas foram observadas na parte mais elevada do terreno.

CONCLUSÕES

Para representar adequadamente o fluxo de N_2O para as áreas deste estudo a distância entre pontos de coleta deve ser inferior a 42 metros, porém quando associada aos atributos de solo, deve-se adotar 10 metros.

A emissão de N_2O a partir do solo de florestas é um processo complexo tendo vários fatores que influenciam na emissão, sendo que os fatores que melhor ajudam a explicar a emissão de N_2O são: elevação do terreno, temperatura do solo e CO_2 .

REFERÊNCIAS

- BALL, T. SMITH, K.A. & MONCRIEFF, J.B. Effect of stand age on greenhouse gas fluxes from a Sitka spruce [*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.] chronosequence on a peaty gley soil. *Global Change Biology*, 13: 2128–2142, 2007.
- BOLLMANN, A. & CONRAD, R. Influence of O_2 availability on NO and N_2O release by nitrification and denitrification in soils. *Global Change Biology*, 4:387–396, 1998.
- CAMBARDELLA, C.A. et al. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa Soils. *Soil Science Society of America Journal*, 58:1501-1511, 1994.
- DAVIDSON, E. A. et al. Processes regulating soil emissions of NO and N_2O in a seasonally dry tropical forest. *Ecology* 74:130–139, 1993.
- ITOH, M. et al. Effects of soil water status on the spatial variation of carbon dioxide, methane and nitrous oxide fluxes in tropical rainforest soils in Peninsular Malaysia. *Journal of Tropical Ecology*, 28:557-570, 2012.
- KIESE, R. et al. Seasonal dynamic of gross nitrification and N_2O emission at two tropical rainforest sites in Queensland, Australia. *Plant and Soil*, 309:105– 117, 2008.
- KONDA, R. et al. Seasonal changes in the spatial structures of N_2O , CO_2 , and CH_4 fluxes from Acacia mangium plantation soils in Indonesia. *Soil Biology & Biochemistry*, 42:1512-1522, 2010.
- LI, C. et al. A process oriented model of N_2O and NO emissions from forest soils: 1. Model development, *J. Geophys. Res.*, 105:4369–4384, 2000.
- MERINO, A. et al. Responses of soil organic matter and greenhouse gas fluxes to soil management and land use changes in a humid temperate region of southern Europe. *Soil Biology and Biochemistry*, 36: 917–925, 2004.
- MOLIN, J. P. & SILVA JÚNIOR, R. L. da. Variabilidade espacial do índice de cone, correlacionada com textura e produtividade. *Engenharia Rural*, Piracicaba, 14:49-58, 2003.
- MOSIER, A.R. Chamber and isotope techniques. In: ANDREAE, M.O. & SCHIMMEL, D.S. Exchange of trace gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere: report of the Dahlem Workshop. Berlin, Wiley, 175-187, 1989.
- PARKIN, T. et al. Chamber-based Trace Gas Flux Measurement Protocol. 1 ed. Washington DC, USDA-ARS Gracenet, 1:1-28, 2003.
- PEICHL, M. et al. Carbon dioxide, methane and nitrous oxide exchange in an age sequence of temperate pine forests. *Global Change Biology*, 16:2198–2212, 2009.

Tabela 1. Estatística descritiva para fluxo de N₂O (FN₂O), temperatura (T), umidade (U), concentração de N-NO₃⁻ (N-NO₃⁻), concentração de N-NH₄⁺ (N-NH₄⁺) e concentração de N mineral (N mineral) medidas em povoamento de pinus desbastado com 10 anos de idade.

	FN ₂ O (µg. m ⁻² .h ⁻¹)	T (°C)	U (%)	N-NO ₃ ⁻ (mg.kg ⁻¹)	N-NH ₄ ⁺ (mg.kg ⁻¹)	N mineral (mg.kg ⁻¹)
Mínimo	-3,12	13,30	31,75	0,86	9,82	22,18
Máximo	140,41	15,35	64,30	40,24	117,85	140,96
Média	22,30	14,20	42,17	15,46	39,07	54,52
Mediana	15,90	14,15	41,86	13,47	34,18	49,69
CV ⁽¹⁾	108,63	3,34	15,46	53,82	58,86	42,28

⁽¹⁾ Coeficiente de Variação (%).

Tabela 2. Síntese dos parâmetros do modelo de semivariograma para fluxo de N₂O (FN₂O), fluxo de CH₄ (FCH₄), elevação, temperatura, umidade e concentração de N mineral (N mineral).

	Modelo	Efeito pepita (C ₀)	Patamar (C)	Alcance (a)	C ₀ /C ₀ + C (%)
N-N ₂ O	Exponencial	325,55	490,38	42,37	39,90
Elevação	Exponencial	0,15	7,65	57,36	1,92
Temperatura	Exponencial	0,04	0,25	24,04	13,79
Umidade	Exponencial	3,94	27,93	9,64	12,36
N mineral	Exponencial	50	253,35	10,11	16,48

Tabela 3. Coeficientes de correlação entre o fluxo de N₂O e CH₄ do solo e atributos do solo e do ambiente, em povoamento de *Pinus taeda* na região de Rio Negrinho, SC.

	Elevação	Temperatura	CO ₂
N ₂ O	0,36**	0,33**	0,43**

* e **: significativo ao nível de 5% e 1% de probabilidade, respectivamente.