

Variabilidade Espacial em Período Chuvoso da Emissão de CO₂, Temperatura e Umidade do Solo em Área sob Pastagem na Região de Humaitá, AM¹

André Fabiano De Marchi²; Milton César Costa Campos³; Diogo André Pinheiro da Silva⁴; Uilson Franciscon⁵; Pêrsio de Paula Neto⁶.

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq; ⁽²⁾ Acadêmico em Engenharia Ambiental do IEAA/UFAM-AM. e-mail: andrefabiano_vha@hotmail.com; ⁽³⁾ Professor Adjunto II, Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente, Universidade Federal do Amazonas, e-mail mcesarsolos@gmail.com; ⁽⁴⁾ Acadêmico em Engenharia Ambiental do IEAA/UFAM-AM. e-mail andredioogo@hotmail.com; ⁽⁵⁾ Acadêmico em Engenharia Ambiental do IEAA/UFAM-AM. e-mail pv.apui@gmail.com; ⁽⁶⁾ Acadêmico em Engenharia Ambiental do IEAA/UFAM-AM. e-mail uilsonfranciscon@gmail.com

RESUMO: O estudo dos atributos da distribuição espacial da temperatura, umidade do solo e emissão de CO₂, é essencial para entender o solo como fonte ou dreno de CO₂, pois as alterações quanto ao uso e manejo podem influenciar nessa dinâmica. Em função da grande variabilidade espacial da emissão de CO₂ do solo o presente trabalho teve como objetivo investigar, a emissão de CO₂, temperatura e umidade do solo em uma área sob pastagem na região de Humaitá, AM. Foi realizado o mapeamento de uma malha de 70 x 70 m, com espaçamentos regulares de 10 em 10 m, totalizando 64 pontos, as coletas foram realizadas no período seco. A emissão de CO₂ e a temperatura do solo foram registradas utilizando-se de câmara de fluxo portátil e sensor de temperatura do sistema LI-COR (LI-8100). A umidade foi avaliada utilizando sistema portátil TDR, em seguida foram realizadas análises estatísticas descritivas e geoestatísticas. A variação espacial da emissão de CO₂ do solo pode estar relacionada às variações de temperatura e umidade do solo.

Termos de indexação: emissão de CO₂, dependência espacial, geoestatística, Humaitá.

INTRODUÇÃO

Com as recentes evidências que relacionam as mudanças do clima ao aumento da concentração de gases do efeito estufa é cada vez mais importante investigar a emissão de gases provenientes de atividades industriais, agrícolas e pecuárias (IPCC, 2007). O solo é um compartimento de C e exerce papel fundamental sobre a emissão de gases estufa e consequentemente pode ter influência nas mudanças climáticas globais.

Quanto à produção de CO₂ do solo, este é produzido principalmente por dois processos biológicos: através da decomposição de resíduos orgânicos pela atividade microbiana e a respiração de organismos e sistema radicular das plantas. Após a produção de CO₂ a emissão para a atmosfera é governada por dois mecanismos principais: o

primeiro com o transporte do gás do interior do solo até a superfície governado pela equação de difusão, ou seja, a taxa com que o CO₂ é liberado do solo para a atmosfera é controlada pelo gradiente de concentração de CO₂ existente entre o solo e a atmosfera (Panosso et al., 2009).

Esses processos são influenciados, em primeira ordem, pela temperatura e umidade do solo e em segunda ordem pelos atributos físicos e químicos do solo e suas relações com as condições climáticas e topográficas do local (KANG et al., 2000).

A variação espacial dos atributos do solo ocorre devido a fatores pedogênicos diversos, assim como pelo uso e manejo e consequentemente esses atributos exibem variabilidade espacial e temporal em macro, meso e micro escalas (KOSUGI et al., 2007). O uso de técnicas geoestatísticas tem sido muito utilizado para mensurar uma série de atributos físicos e químicos do solo (GONÇALVES, FOLEGATTI e MATA et al., 2001), podendo ser utilizada ainda para algumas propriedades biológicas (SINEGANI, MAHBOOBI e NAZARIZADEH, 2005). Entretanto esta última é relacionada à variabilidade da temperatura e umidade do solo, que são possíveis fatores influenciadores nas alterações da emissão de CO₂ do solo (SCHWENDENMANN et al. 2003).

Apesar dos avanços, ainda são poucos os trabalhos que caracterizaram a variabilidade da emissão de CO₂ de solos utilizando técnicas de análise de semivariância, especialmente na região amazônica. Dessa forma o objetivo deste trabalho foi investigar a variabilidade espacial da emissão de CO₂, temperatura e umidade do solo área sob pastagem na região de Humaitá, AM.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo localiza-se nas imediações do município de Humaitá, Sul do Estado do Amazonas, situada nas coordenadas geográficas: (7°26'50" S e 63°02'56" W). O clima segundo Köppen é do tipo tropical chuvoso (chuvas do tipo monção) com um curto período seco, com as chuvas iniciando-se em

outubro e prologando-se até junho, a temperatura média da região varia de 25 a 27 °C e precipitação média anual de 2.500 mm e a umidade relativa do ar entre 85 a 90% (BRASIL, 1978). A vegetação é constituída por árvores adensadas e multiestratificadas entre 20 e 30 m de altura e os solos segundo Campos (2009) são classificados como Latossolos, Agissolos, Cambissolos e Gleissolos.

Foi realizado o mapeamento de uma malha amostral de 70 x 70 m, com espaçamentos regulares de 10 em 10 m, totalizando 64 pontos amostrais, nesses locais foram realizadas coletas de temperatura, umidade e emissão de CO₂. Os pontos foram georreferenciados com equipamento de GPS para construção do Modelo Digital de Elevação (MDE).

As coletas foram realizadas no ano de 2012, no período seco (julho), foram efetuadas quatro coletas das variáveis (temperatura, umidade e emissão de CO₂) em dias consecutivos.

A emissão de CO₂ do solo (FCO₂) foi registrada com um sistema automatizado portátil de fluxo de CO₂ do solo LI-COR (LI-8100). Em seu modo de medição o sistema (LI-8100) monitora as mudanças na concentração de CO₂ dentro da câmara por meio de espectroscopia na região do infravermelho (IRGA infra red gas analyzer).

No momento da avaliação da emissão de CO₂ a câmara se fecha sobre o colar de PVC, por meio de seu sistema pneumático, tendo início o modo de leitura, com duração de aproximadamente 90 segundos em cada ponto onde a concentração de CO₂ dentro da câmara é tomada a cada 2,5 segundos. De forma generalizada, o fluxo de CO₂ é computado em cada ponto por um ajuste da concentração de CO₂ do ar dentro da câmara em função de uma regressão parabólica no tempo após o fechamento da câmara.

A temperatura do solo (TS) foi monitorada concomitantemente às avaliações de emissão de CO₂ do solo utilizando-se um sensor de temperatura que é parte integrante do sistema LI-8100. Tal sensor consiste de uma haste de 20 cm que é inserida no interior do solo, o mais perpendicular possível em relação à superfície, na região próxima ao local onde foram instalados os colares de PVC para a avaliação da emissão de CO₂.

A umidade do solo (US), em % volume, foi registrada utilizando-se um aparelho TDR (Time Domain Reflectometry) - Campbell® Hydrosense™ Campbell Scientific - Austrália, constituído por uma sonda apresentando duas hastes de 12 cm e inseridas no interior do solo o mais perpendicular possível em relação à sua superfície, nos locais próximos aos colares de PVC, esta foi realizada

simultaneamente às avaliações da emissão de CO₂ e temperatura do solo em cada um dos pontos.

Para a caracterização da variabilidade espacial, foi utilizada a análise geoestatística (ISAKS e SRIVASTAVA, 1989). Sob a teoria da hipótese intrínseca, o semivariograma experimental que é estimado pela Equação:

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

sendo: $\gamma(h)$ - valor da semivariância para uma distância h ; $N(h)$: número de pares envolvidos no cálculo da semivariância; $Z(x_i)$: valor do atributo Z na posição x_i ; $Z(x_i+h)$: valor do atributo Z separado por uma distância h da posição x_i .

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentados os dados referente a temperatura, umidade do solo e fluxo de CO₂. A temperatura do solo apresentou valores da média e mediana semelhante, indicando distribuição normal.

Tabela 1. Estatística descritiva da emissão de CO₂ ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), temperatura (°C) e umidade do solo (% volume) para o período chuvoso em área de pastagem na região de Humaitá-AM.

Estatística	Período Chuvoso		
	FCO ₂	Tsolo	Usolo
Média	4,05	28,77	27,05
Mediana	3,97	28,74	27,25
Desvio Padrão	1,40	0,59	3,91
Variância	1,95	0,35	15,32
Assimetria	0,56	0,51	-0,08
Curtose	-0,14	1,73	1,02
CV	34,48	2,06	14,47
d ⁽²⁾	0,09 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,08 ^{ns}

FCO₂ = fluxo de CO₂ do solo; Tsolo = temperatura do solo; Usolo = umidade do solo; CV = coeficiente de variação; d⁽²⁾ = teste de Kolmogorov-Smirnov, * = significativo a 5 % de probabilidade.

A umidade do solo também apresentou valores de média e mediana próximos indicando distribuição normal (Tabela 1). Todavia os teores de umidade do solo foram observados no período chuvoso coincidindo com maior temperatura do solo e conseqüentemente maior média de emissão de CO₂ conforme destacam Wichern et al. (2004) em estudos de emissão de CO₂ sob diferentes coberturas vegetais e ciclos de irrigação.

Os valores médios de fluxo de CO₂ foi 4,05 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para o período chuvoso de acordo com Mariko, Urano e Asanuma (2007) afirmam que eventos de umedecimento do solo podem aumentar

a emissão de CO₂ do solo em áreas de pastagem, especialmente se o teor de água no solo for inferior a 10 %.

Os coeficientes de assimetria e curtose apresentaram-se próximos de zero, o que pode ser um indicativo de uma distribuição próxima a normal (Tabela 1). Com base no critério de classificação do CV adotado por Warrick e Nielsen (1980), verificou-se que a emissão de CO₂ no período seco apresentaram valores de CV acima de 24%, sendo dessa forma classificados como alto. Epron et al. (2004) estudando a emissão de CO₂ em áreas com plantação de eucalipto verificaram valores de coeficiente de variação entre 25 e 50 %.

Em relação ao teste de normalidade, verifica-se que apenas a variável fluxo de CO₂ obteve condição significativa, todas as demais apresentaram efeito não significativo ao teste de Kolmogorov-Smirnov. Para Gonçalves, Folegatti e Mata (2001) as variáveis do solo não precisam obrigatoriamente apresentar distribuição normal como pré-requisito para a análise de geoestatística, o mais importante é que a distribuição não apresente caudas muito alongadas o que poderia inviabilizar a análise.

Os resultados da análise geoestatística (Tabela 2, Figura 1) mostraram que todas as variáveis analisadas apresentaram dependência espacial. Na seleção dos modelos dos semivariogramas, foram considerados os valores de r², o modelo de semivariograma que melhor se ajustaram à variáveis emissão de CO₂ foi o modelo exponencial e modelo esférico para temperatura e umidade do solo (Tabela 2). De acordo com Carvalho, Silveira e Vieira (2002) e Souza, Marques Júnior e Pereira (2009) os modelos matemáticos exponencial e esférico são os que predominam nos trabalhos em ciência do solo.

Tabela 2. Parâmetros dos modelos estimados dos semivariogramas para a emissão de CO₂, temperatura e umidade do solo para o período chuvoso em área sob pastagem em Humaitá, AM

Parâmetros	Período Chuvoso		
	FCO ₂	Tsolo	Uso
Modelo	¹ Exp.	² Esf.	Esf.
C ₀	0,95	0,12	0,01
C ₀ +C ₁	2,26	0,34	12,57
a	45,00	37,20	19,10
r ²	0,96	0,95	0,85
RD	60	63	99

¹Exp:Exponencial; ²Esf:Esférico. C₀: efeito pepita; C₁: variância estrutural; a: alcance; r²: coeficiente de correlação; RD: razão de dependência espacial entre amostras.

Os coeficientes de correlação de ajuste do semivariograma (r²), revelaram ajuste para todas as variáveis estudadas, tendo seus valores entre 0,72 a 0,96 (Tabela 2 e Figura 1). Os valores de alcances (a) estimados a partir dos modelos estimados de semivariogramas da emissão de CO₂ do solo para o período seco (19,94 m) (Tabela 2 e Figura 1). Ohashi e Gyokusen (2007) em estudos de fluxos de CO₂ em áreas de floresta encontraram resultados distintos em função das estações do ano.

Para a análise da razão de dependência do fluxo de CO₂, temperatura e umidade do solo (Tabela 2 e Figura 2), utilizou-se a classificação de Cambardella et al. (1994) para razão de dependência espacial (RD) < 25%; 25% < RD > 75%; e RD > 75%, para variabilidade forte, moderada e fraca, respectivamente. Todas as variáveis avaliadas apresentaram fraca dependência espacial, assemelhando-se aos resultados encontrados por La Scala et al. (2000) para emissão de CO₂ em solos desprovidos de vegetação que mostraram padrões de dependência espacial moderados a fraco em sua maioria.

Em relação a emissão de CO₂ através dos mapas torna-se nítida a relação da emissão de CO₂ com a temperatura e umidade do solo em locais específicos (figura 1), isto é, onde ocorreu maiores valores de umidade observou-se maiores valores de emissão de CO₂. As variáveis climáticas estão diretamente correlacionadas com emissões de CO₂, pois aumentos de temperatura podem aumentar exponencialmente as taxas de respiração do solo (FANG e MONCRIEFF, 2001).

CONCLUSÕES

A área de pastagem apresentou variação espacial da emissão de CO₂ do solo que pode estar relacionada a temperatura e umidade do solo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a UFAM e ao CNPq pelo financiamento do projeto.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Projeto Radam Brasil. Purus. Rio de Janeiro, folha 20, p. 561, 1978.
- CARVALHO, J. R. P.; SILVEIRA, P. M.; VIEIRA, S.R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.37, p.1151-1159. 2002.
- EPRON, D.; NOUVELLON, Y.; ROUPSARD, O.; MOUVONDY, W.; MABIALA, A.; SAINT-ANDRÉ, L.; JOFFRE, R. JOURDAN, C.; BONNEFOND J. M.;

BERBIGIER, P.; HAMEL, O. Spatial and temporal variations of soil respiration in a Eucalyptus plantation in Congo. *Forest Ecology and Management*, v. 202, n. 1-3, p. 149-160, 2004.

FANG, C.; MONCRIEFF, J. B. The dependence of soil CO₂ efflux on temperature. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 33, p. 155-165, 2001.

GONÇALVES, A. C. A.; FOLEGATTI, M. V.; MATA, J.D.V. Análises exploratória e geoestatística da variabilidade de propriedades físicas de um Argissolo Vermelho. *Acta Scientiarum*, v. 23, n. 5, p. 1.149-57, 2001.

INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. *Climate change 2007. Fourth Assessment Report on climate change impacts, adaptation and vulnerability of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, Cambridge University, p. 939, 2007.

ISAAKS, E.H. & SRIVASTAVA, R.M. *An introduction to applied geostatistics*. New York: Oxford University Press, p.561, 1989.

KANG, S.; KIM, S.; OH, S.; LEE, D. Predicting spatial and temporal patterns of soil temperature based on topography, surface cover, and air temperature. *Forest Ecology and Management*, v. 136, n. 1-3, p. 173-84, 2000.

KOSUGI, Y.; MITANI, T.; ITHO, M.; NOGUCHI, S.; TANI, M.; MATSOU, N.; TAKANASHI, S.; OHKUBO, S.; NIK, A. R. Spatial and temporal variation in soil respiration in a Southeast Asian tropical rainforest. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 147, n 1/2, p. 35-47, 2007.

LAL, R. Soil carbono sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, v. 304, p. 1623-1627, 2004.

MINITAB Release 14.1, Statistical Software. 2000.

OHASHI, M.; GYOKUSEN, K. Temporal change in spatial variability of soil respiration on a slope of Japanese cedar (*Cryptomeria japonica* D. Don) forest. *Soil Biology & Biochemistry*, v. 39, n. 5, p. 1130-1138, 2007.

PANOSSO, A. R.; RIBEIRO, C. E. R.; ZANINI, J. R.; PAVANI, L. C.; PERREIRA, G. T.; JÚNIOR, N. L. S.; Variabilidade espacial da emissão de CO₂, da temperatura e umidade de um latossolo desprovido de vegetação sob diferentes lâminas de molhamento. *Ciências Agrárias*, v.30, suplemento 1, p. 1017-1034, 2009.

ROBERTSON, G. P. *GS+: Geostatistics for the environmental sciences. GS+ user's guide*. Plainwell: Gamma Design Software, 1998. p.152.

SCHWENDENMANN, L.; VELDKAMP, E.; BRENES, T.; O'BRIEN, J. J.; MACKENSEN, J. Spatial and temporal variation in soil CO₂ efflux in an old-growth neotropical rain forest, la selva, Costa Rica. *Biogeochemistry*, v.64, n.1 p.111-128, 2003.

SINEGANI, A.A.S.; MAHBOOBI, A.A.; NAZARIZADEH, F. The effect of agricultural practices on the spatial variability of arbuscularmycorrhiza spores. *Turkish Journal of Biology*, Ankara, v. 29, n. 3, p. 149-53, 2005.

SOUZA, Z. M., MARQUES JÚNIOR, J. PEREIRA G. T. Geoestatística e atributos do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. *Ciência Rural*, v.40, p.48-56. 2009.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.) *Applications of soil physics*. New York: Academic Press, 385, 1980.

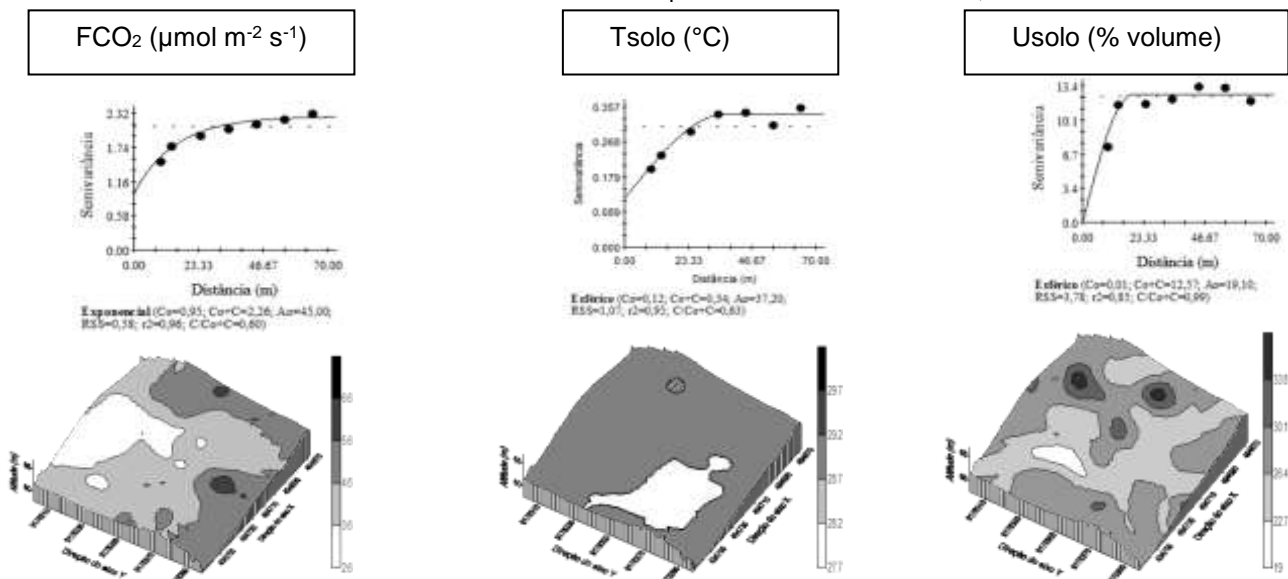


Figura 1: Semivariogramas modelados e mapas de krigagem da Variabilidade Espacial em Período Chuvoso da Emissão de CO₂, Temperatura e Umidade do Solo em Área sob Pastagem na Região de Humaitá, AM¹.