

Variabilidade espacial da emissão de CO₂, temperatura e umidade do solo em área de pastagem na região Amazônica, Brasil

Spatial variability of CO₂ emission, temperature and soil moisture in an area under pasture in the Amazon region, Brazil

Diogo André Pinheiro da Silva¹, Milton César Costa Campos¹, Bruno Campos Mantovanelli^{2*}, Luís Antônio Coutrim do Santos², Marcelo Dayron Rodrigues Soares¹ & José Mauricio da Cunha¹

¹Universidade Federal do Amazonas, Humaitá, AM, Brasil.

²Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil. *Autor para correspondência: brunomantovanelli21@gmail.com.

Submissão: 29/07/2017 | Aceite: 04/04/2018

RESUMO

O conhecimento da distribuição espacial da temperatura, umidade do solo e emissão de CO₂ é fundamental para entender o solo como fonte ou dreno de CO₂, pois as alterações quanto ao uso e manejo influenciam esta dinâmica. O presente trabalho teve como objetivo investigar, a temperatura, umidade do solo e emissão de CO₂ em uma área sob pastagem na região de Humaitá, AM. Demarcou-se uma área de 70 x 70 m, com espaçamento regular de 10 m, totalizando 64 pontos, as medições foram realizadas no período chuvoso e seco. 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 área de pastagem apresentou maior emissão de CO₂ do solo no primeiro período de coleta, caracterizado como período chuvoso. Variações espaciais da emissão de CO₂ estão intimamente relacionadas com as variáveis climáticas entre os períodos seco e chuvoso.

PALAVRAS-CHAVE: LI-COR, geoestatística, Humaitá, manejo, distribuição espacial.

ABSTRACT

Knowledge of the spatial distribution of temperature, soil moisture and CO₂ emissions is essential to understand the soil as a source or drainage of CO₂, as changes in use and management influence this dynamic. This study aimed to investigate the temperature, soil moisture and CO₂ emissions in an area under pasture in Humaitá, AM. An area was demarcated at 70 x 70 m, with regular spacing of 10 m, totaling 64 points, measurements were carried out in both the rainy and dry season. CO₂ emissions and soil temperature were recorded using portable flow chamber and temperature sensor LI-COR system (LI-8100). Moisture was assessed using portable system TDR, with subsequent descriptive statistical and geostatistical analysis. The pasture had higher emission of soil CO₂ in the first collection period, characterized as rainy season. Spatial variations of CO₂ emissions are closely related to climatic variables between dry and rainy periods.

KEYWORDS: LI-COR, geostatistics, Humaitá, management, spatial distribution.

INTRODUÇÃO

Perante as recentes estimativas que relacionam alterações no efeito estufa natural devido ao acúmulo de gases de efeito estufa na atmosfera, proporcionando o aquecimento global, torna-se de fundamental importância à investigação da emissão de gases provenientes, principalmente se correlacionando com as atividades agrícolas e pecuárias de atividades industriais, agrícolas e pecuárias (IPCC 2007). A emissão de CO₂ do solo oriundas de ações antrópicas é grande, acarretando diferenças entre sistemas com vegetação nativa e agroecossistemas (LA SCALA JÚNIOR et al. 2012).

Quanto à produção de CO₂ do solo, esta ocorre principalmente por meio de processos biológicos, através da decomposição da matéria orgânica e da respiração de organismos do solo e do sistema radicular das plantas (LA SCALA JÚNIOR et al. 2012). As trocas gasosas entre o solo e a atmosfera são governadas pela difusão do CO₂ pelos poros do solo, que acabam sendo influenciadas pelas propriedades do solo ou

pela cobertura vegetal presente no local (BALL & SMITH 1991). As variáveis climáticas têm relações diretas nos fluxos de CO₂ para a atmosfera. Desse modo, os principais fatores que afetam as emissões são a temperatura (do ar e do solo) e a umidade do solo, através de suas relações com as condições climáticas e topográficas do local (BRITO et al. 2010).

A variabilidade espacial dos atributos dos solos é resultado de processos pedogenéticos diversos e pode ser demonstrada tanto por levantamentos e análises dos solos, assim como nas diferenças encontradas nas produções das plantas, conseqüentemente esses atributos exibem variabilidade espacial e temporal em macro, meso e micro escalas (PANOSSO et al. 2008 & SILVA et al. 2010). Com o uso de técnicas geoestatísticas é possível verificar a variabilidade do comportamento dos atributos do solo no espaço e no tempo, pois esta ferramenta incorpora em si funções de relacionar a distância e a covariância dos atributos do solo entre os pontos das análises espaciais, tornando assim as determinações mais acuradas do que quando se considera que os atributos não são espacialmente dependentes (WANG et al. 2002). De acordo com VIEIRA et al. (2010) para que isso seja possível lança-se mão aos semivariogramas, a fim de reduzir a necessidade de amostragem intensa.

Esse método é preferido a outros interpoladores simples, por apresentar maior rigor estatístico em relação à estatística clássica que não considera a estrutura de dependência espacial entre as amostras (WEBSTER & OLIVER 2007). Ainda são escassos trabalhos com avaliação da emissão de CO₂ de solos utilizando a ferramenta geoestatística, principalmente em ambiente amazônico, especialmente relacionando essa variabilidade com a temperatura e umidade do solo, que são possíveis fatores influenciadores dessas emissões. Considerando a suma importância para entender as emissões de uma região ou mesmo de um ecossistema e tornando possível quantificar ou conhecer as emissões de gases do efeito estufa de uma região ainda pouco estudada, o que concede ao trabalho uma importância ao conhecimento sobre balanço de carbono nas regiões amazônicas.

Dessa forma o objetivo deste trabalho foi investigar a variabilidade espacial da emissão de CO₂, da temperatura e da umidade do solo em área sob pastagem na região Amazônica, Brasil.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em área de pastagem de braquiária (*Brachiaria brizantha*), localizada no município de Humaitá, Sul do Estado do Amazonas, situada nas coordenadas geográficas: 7° 26' 50" S e 63° 02' 56" W com altitude média de 64 m acima do nível do mar. O clima segundo Köppen é do tipo tropical chuvoso (chuvas do tipo monção), apresentando curto período seco, tendo início das chuvas em outubro e prolongando-se até junho. A temperatura média da região varia de 25 a 27 °C e precipitação média anual de 2.500 mm com umidade relativa do ar entre 85 a 90% (BRASIL 1978). A vegetação típica e em maior escala nas proximidades é constituída por árvores adensadas e multiestratificadas entre 20 e 30 m de altura e os solos segundo CAMPOS (2009) são classificados como Latossolos Amarelos.

Foi demarcada uma malha amostral nas dimensões de 70 x 70 m, com espaçamento regular entre os pontos de 10 m, totalizando 64 pontos amostrais. Os pontos de cruzamento da malha foram georreferenciados com aparelho de GPS modelo GPSMAP 76CSx, marca GARMIN, com precisão de 10 m para a construção do modelo digital de elevação (MDE). As leituras foram realizadas no ano de 2012, nos períodos chuvoso (maio) e seco (julho), nos quais foram efetuadas quatro avaliações para as variáveis em dias consecutivos para cada mês.

As medições do fluxo de CO₂, temperatura e umidade do solo foram realizadas simultaneamente entre as 8 e 10 horas da manhã. Foram instalados 64 anéis no solo de 10 centímetros de diâmetro nos pontos, 30 dias antes do início do estudo. O cloreto de polivinil (PVC) foi o material escolhido para fabricação dos anéis, devido à coloração branca (menor aquecimento) e sua adequada durabilidade no campo (COSTA et al. 2006).

A emissão de CO₂ do solo (FCO₂) foi registrada com um sistema automatizado portátil de fluxo de CO₂ do solo LI-COR (LI-8100) a partir de metodologia proposta por JANSSENS et al. (2000). 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 - Infrared Gas Analyzer). A câmara para solos tem um volume interno de 854,2 cm³, com área de contato de 83,7 cm², e foi colocada sobre colares de PCV previamente inseridos no solo, a uma profundidade de 0,03 m.

A temperatura do solo (T_{solo}) 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 0,20 m 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 (Usolo), foi registrada utilizando-se um aparelho TDR (Time Domain Reflectometry) - Campbell® Hydrosense™ Campbell Scientific - Austrália, constituído por uma sonda apresentando duas hastes de 0,12 m e inseridas no interior do solo o mais perpendicular possível em relação à sua superfície, nos locais próximos aos colares de PVC. As leituras foram realizadas simultaneamente às da emissão de CO₂ e temperatura do solo.

Após obtenção dos dados, foram realizadas as análises exploratórias, calculando-se a média, a mediana, o desvio padrão, o coeficiente de variação, de assimetria e de curtose. O coeficiente de variação (CV) foi calculado com base no critério de WARRICK & NIELSEN (1980), que classifica o CV como baixo <12%, médio de 12% a 24% e alto >24%. Para a hipótese de normalidade, foi utilizado o teste de Kolmogorov-Smirnov. Para a caracterização da variabilidade espacial, utilizou-se a análise geoestatística. Sob a teoria da hipótese intrínseca, o semivariograma experimental foi 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 .

Do ajuste de um modelo matemático aos valores calculados de $\hat{\gamma}(h)$ são definidos os coeficientes do modelo teórico para o semivariograma (efeito pepita, C_0 ; variância estrutural, C_1 ; patamar, $C_0 + C_1$; e alcance, a). O efeito pepita é o valor da semivariância para uma distância maior do que zero e menor do que a menor distância de amostragem e representa o componente da variação ao acaso; o patamar é o valor da semivariância em que a curva estabiliza sobre um valor constante; e o alcance é a distância da origem até onde o patamar atinge valores estáveis, expressando a distância além da qual as amostras não são correlacionadas (TRANGMAR et al. 1986).

Na determinação da existência ou não da dependência espacial (DE), utilizou-se o exame de semivariogramas, por meio do programa GS+ (ROBERTSON 1998). Em caso de dúvida entre mais de um modelo para o mesmo semivariograma, considerou-se o melhor coeficiente de determinação (R^2). Para analisar o grau da dependência espacial (GDE) dos atributos em estudo, utilizou-se a classificação de CAMBARDELLA et al. (1994), em que são considerados dependência espacial forte os semivariogramas que têm efeito pepita menor ou igual a 25% do patamar, moderada quando está entre 25% e 75% e fraca quando for maior que 75%.

Após o ajuste dos modelos matemáticos permissíveis foi realizado à interpolação dos dados por meio da krigagem e em seguida a confecção dos mapas de isolinhas foram gerados no software Surfer versão 8.0.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As estatísticas descritivas para a taxa de emissão de CO₂ do solo, temperatura do solo e umidade do solo são apresentadas na Tabela 1. As médias da emissão de CO₂ foram de 4,13 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para o período chuvoso e 3,82 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para o período seco. As quantidades de CO₂ emitidas do solo são superiores comparadas às encontradas em solos vegetados com floresta nativa (D' ANDRÉA et al. 2010). PINTO-JUNIOR et al. (2009) encontraram valores de média mensal do e-fluxo de CO₂ do solo em floresta de transição Amazônica Cerrado e em área de pastagem com média mensal de 2,88 \pm 1,51 a 8,45 \pm 2,92 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e a média anual foi de 5,48 \pm 0,66 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Estudando floresta de transição Amazônia e cerrado PINTO-JUNIOR et al. (2009) obtiveram FCO₂ de 5,48 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, sendo este valor ligeiramente superior aos encontrados neste trabalho, sendo que esta variação nos resultados obtidos, deve-se a ocorrência ainda de uma área de transição entre a zona de floresta e o cerrado.

As diferenças na emissão de CO₂ entre os períodos chuvoso e seco podem estar relacionadas principalmente as variáveis climáticas. Estudo realizado por MARIKO et al. (2007), em avaliações sobre a emissão de CO₂ do solo de pastagem na região semiárida verificaram o aumento nas emissões devido a eventos de molhamento, desde que o teor volumétrico de água no solo fosse superior a 10%. As médias da temperatura do solo, não apresentaram altas taxas de variações entre os períodos, na qual elevadas temperaturas no solo resultam em altas concentrações de CO₂ dentro do solo devido à mineralização do carbono.

Tabela 1. Estatística descritiva da emissão de CO₂ ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), temperatura (°C) e umidade do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) para os períodos chuvoso e seco em área de pastagem na região de Humaitá, AM, Brasil.
 Table 1. Descriptive statistics of CO₂ emission ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), temperature (°C) and soil moisture ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) for rainy and dry periods in pastureland in the Humaitá, AM, Brazil.

Estatística	Período Chuvoso			Período Seco		
	FCO ₂	Tsolo	Usolo	FCO ₂	Tsolo	Usolo
Média	4,13	28,77	27,05	3,82	27,92	12,50
Mediana	3,98	28,73	27,25	3,54	27,87	12,75
Desvio Padrão	1,54	0,56	3,91	1,32	0,84	3,47
Variância	2,36	0,32	15,32	1,74	0,70	12,02
Assimetria	0,87	0,51	-0,08	1,50	0,28	0,13
Curtose	0,87	1,99	1,02	3,09	-0,07	0,40
CV	37,22	1,96	14,47	34,58	3,00	27,72
d ⁽²⁾	0,09 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,20*	0,06 ^{ns}	0,06 ^{ns}

FCO₂ = emissão 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.

Segundo LA SCALA JÚNIOR et al. (2009) apesar da temperatura do solo influenciar na emissão de CO₂, a umidade do solo tem papel determinante, pois representa fator limitante para a atividade microbiana. A variável limitante neste estudo para as maiores taxas de emissões no período chuvoso foi a umidade do solo, aumentando a atividade microbiana e ocasionando o deslocamento e remoção do gás do interior do solo para a atmosfera no processo de infiltração da água no perfil do solo.

Os coeficientes de assimetria e curtose indicam se a distribuição dos dados de uma variável está próxima à distribuição normal (coeficientes iguais à zero). Com base no critério de classificação do CV adotado por WARRICK & NIELSEN (1980), verifica-se que a emissão de CO₂ (período seco e chuvoso) e umidade do solo (período seco) apresentaram valores de CV acima de 24%, sendo dessa forma classificados como altos; a temperatura do solo (período seco e chuvoso) apresentou CV abaixo de 12% sendo classificado como baixo e umidade do solo (período úmido) apresentou CV moderado com valores entre 12 e 24%. Os valores discrepantes nas medidas do fluxo de CO₂ do solo justificada pelos altos valores médios de CV (35,9%), tem sido observado em trabalhos de distribuição espacial usando técnicas geoestatísticas (TEIXEIRA et al. 2011). Entretanto, de acordo com CAMARGO et al. (2008) a medida estatística CV possibilita comparar a variabilidade entre amostras de variáveis com unidades diferentes, porém não permite analisar a variabilidade espacial dos atributos do solo nem seu padrão espacial.

Em relação ao teste de normalidade, verificou-se que apenas a variável fluxo de CO₂ (período seco), obteve condição significativa, todas as demais apresentaram efeito não significativo ao teste de Kolmogorov-Smirnov. Para GONÇALVES et al. (2001), as variáveis do solo não precisam obrigatoriamente apresentar distribuição normal como pré-requisito para a análise geoestatística, o mais importante é que a distribuição não apresente caudas muito alongadas o que poderia inviabilizar a análise. Desta forma, as informações geradas pela análise exploratória permitem afirmar que as variáveis apresentam distribuição suficientemente simétrica para o emprego das análises geoestatísticas.

Os resultados da análise geoestatística apresentados na Tabela 2 e Figuras 1 e 2 mostram que todas as variáveis analisadas apresentaram dependência espacial. Na seleção para os modelos dos semivariogramas, foram considerados os valores de R², para o melhor ajuste dos semivariogramas para às variáveis: emissão de CO₂, temperatura do solo e umidade do solo para os dois período estudados, com melhor ajuste do modelo exponencial para a emissão de CO₂, temperatura do solo (período chuvoso) assim como temperatura e umidade do solo (período seco), sendo o melhor modelo de ajuste para a umidade do solo (período chuvoso) e emissão de CO₂ (período seco) o modelo esférico. De acordo com SOUZA et al. (2009), os modelos matemáticos exponencial e esférico são os que predominam nos trabalhos em ciência do solo.

O coeficiente de correlação de ajuste do semivariograma (R²), revelaram ajuste para todas as variáveis estudadas, tendo seus valores entre 0,78 a 0,95 (Tabela 2, Figuras 1 e 2). Os valores de alcance (a) é um importante parâmetro no estudo do semivariograma, uma vez que representa a distância máxima que pontos da mesma variável ainda estão correlacionados espacialmente. Valores estimados a partir dos modelos de semivariogramas da emissão de CO₂ do solo para o alcance foram de 53,82 m (período chuvoso) e 19,91 m (período seco). SCHWENDENMANN et al. (2003) em estudos de fluxos de CO₂ em áreas de floresta encontraram resultados distintos para o alcance em função da variação sazonal no ano.

Tabela 2. Parâmetros dos modelos estimados dos semivariogramas para a CO_2 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e umidade do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) para os períodos chuvoso e seco em área sob pastagem em Humaitá, AM, Brasil.

Table 2. Parameters of estimated models of semivariograms for CO_2 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), temperature ($^{\circ}\text{C}$) and soil moisture ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) for rainy and dry periods under pasture in Humaitá, AM, Brazil.

Parâmetros	Período Chuvoso			Período Seco		
	FCO_2	Tsolo	Usolo	FCO_2	Tsolo	Usolo
Modelo	¹ Exp.	Exp.	² Esf.	Esf.	Exp.	Exp.
C_0	1,26	0,02	0,01	0,05	0,08	1,16
C_0+C_1	2,23	0,33	16,21	1,40	0,72	13,85
a	53,82	35,35	18,58	19,91	31,1	60,26
R^2	0,91	0,95	0,95	0,78	0,93	0,95
RD	56,5	6,06	0,06	3,57	11,1	8,37

¹Exp = Exponencial; ²Esf = Esférico; C_0 = efeito pepita; C_1 = variância estrutural; a = alcance; R^2 = coeficiente de correlação; RD = razão de dependência espacial entre amostras.

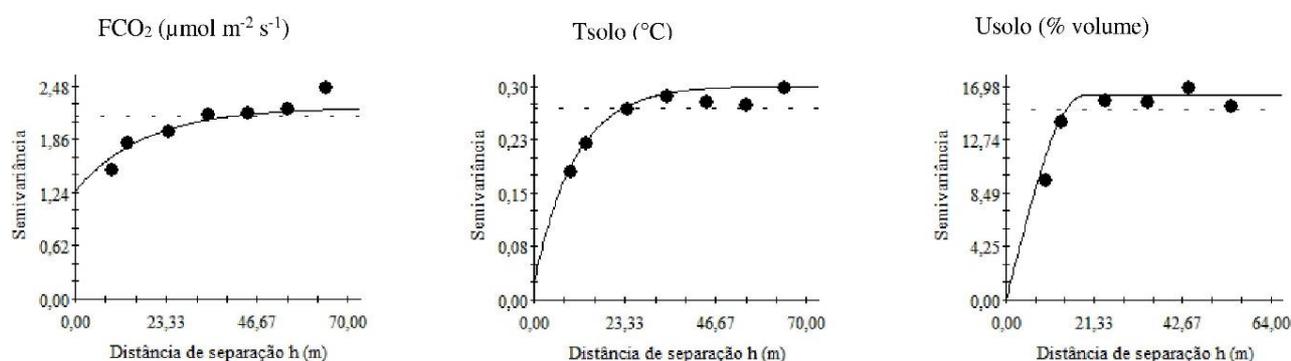


Figura 1. Semivariogramas ajustados para emissão de CO_2 (FCO_2), temperatura do solo (Tsoil) e umidade do solo (SMsoil) para o período chuvoso na região de Humaitá, AM, Brasil.

Figure 1. Semivariograms adjusted for CO_2 emission (FCO_2), soil temperature (Tsoil) and soil moisture (SMsoil) for the rainy period in the region of Humaitá, AM, Brazil.

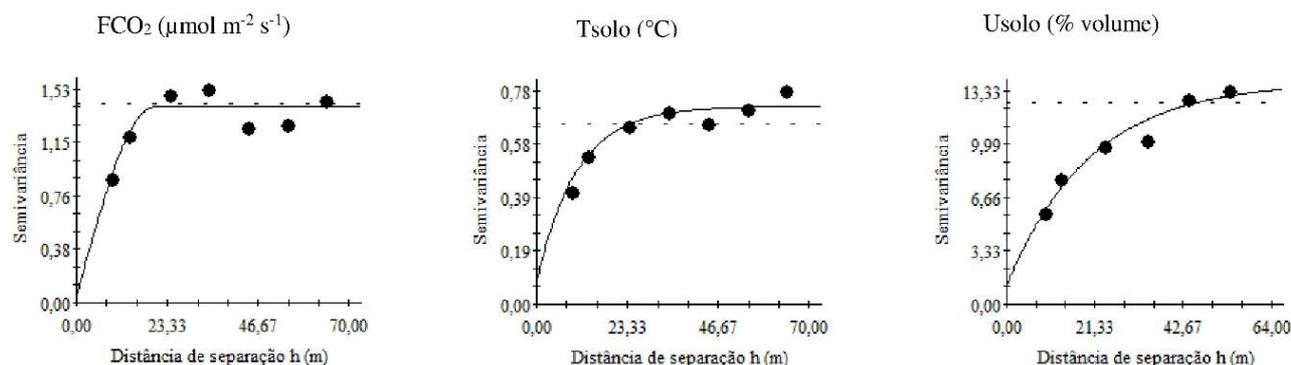


Figura 2. Semivariogramas ajustados para emissão de CO_2 (FCO_2), temperatura do solo (Tsoil) e umidade do solo (SMsoil) para o período seco na região de Humaitá, AM, Brasil.

Figure 2. Semivariograms adjusted for CO_2 emission (FCO_2), soil temperature (Tsoil) and soil moisture (SMsoil) for the dry period in the region of Humaitá, AM, Brazil.

Para a análise da razão de dependência espacial (C_0 / C_0+C_1), expressa em percentual do efeito pepita em relação ao patamar tendo por objetivo a melhor compreensão da dependência espacial das variáveis em estudo, utilizando-se a classificação de CAMBARDELLA et al. (1994), para razão de dependência espacial (DE) < 25%; 25% < RD > 75%; e RD > 75%, para variabilidade forte, moderada e fraca, respectivamente. Apenas a emissão de CO_2 (período chuvoso) apresentou dependência moderada, todas as demais apresentaram forte dependência espacial. Em estudos sob solos desprovidos de vegetação HERBST et al. (2010), encontraram estruturas de dependência espacial variando de fraco a forte.

Nas Figuras 3 e 4 são apresentados os mapas de krigagem para a emissão de CO₂ do solo, temperatura do solo e umidade do solo. A distribuição do fluxo de CO₂ (período chuvoso) indica um maior predomínio dos valores 3,5 a 5,6 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ em toda a área de estudo (Figura 3), apresentando uma menor emissão para o período seco que se caracterizou de 1,6 a 4,4 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Figura 4). Nesses dois períodos observa-se as alterações na emissão CO₂, ocasionadas pela umidade do solo, visto que, no período chuvoso apresentou valores de 15 a 33% de umidade no solo, e período seco 4,5 a 17,3% de umidade no solo. A temperatura do solo não apresentou grandes taxas de variações com valores entre 26,2 a 30 °C para os dois períodos estudados.

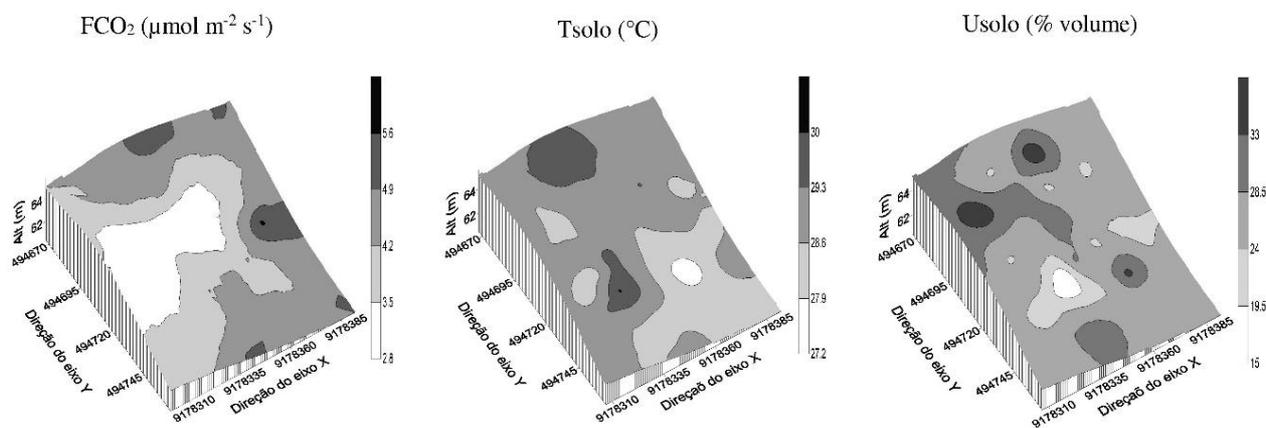


Figura 3. Mapas de krigagem para emissão de CO₂ (FCO₂), temperatura do solo (Tsolo) e umidade do solo (Usolo) para o período chuvoso na região de Humaitá, AM, Brasil.

Figure 3. Kriging maps for CO₂ emission (FCO₂), soil temperature (Tsoil) and soil moisture (SMsoil) for the rainy season in the region of Humaitá, AM, Brazil.

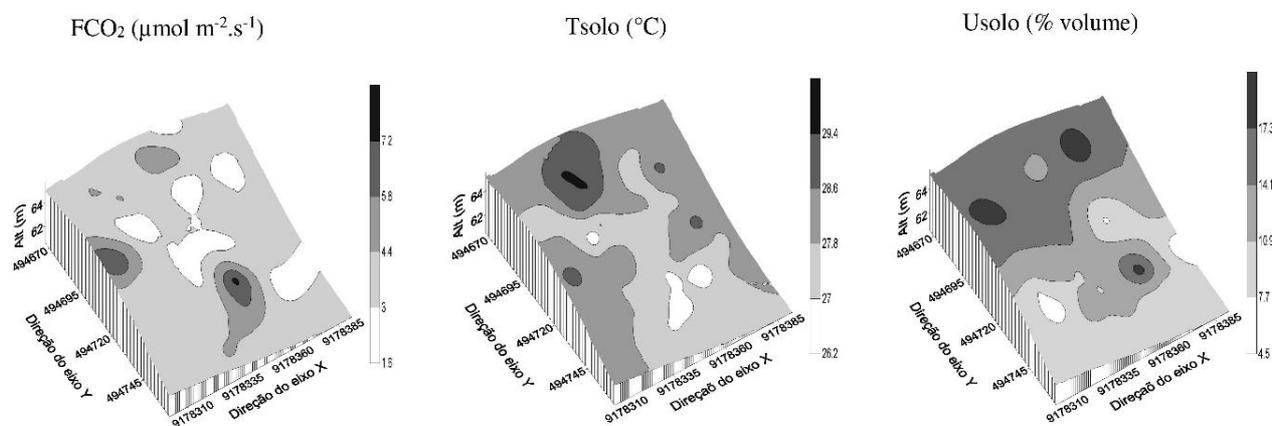


Figura 4. Mapas de krigagem para emissão de CO₂ (FCO₂), temperatura do solo (Tsolo) e umidade do solo (Usolo) para o período seco na região de Humaitá, AM, Brasil.

Figure 4. Kriging maps for CO₂ emission (FCO₂), soil temperature (Tsoil) and soil moisture (SMsoil) for the dry period in the region of Humaitá, AM, Brazil.

Através dos mapas de krigagem, comparando a emissão de CO₂ do solo para os dois períodos, observa-se que onde ocorreram os maiores valores de distribuição espacial da temperatura do solo e umidade do solo não foram, respectivamente, os maiores valores de emissão de CO₂. No entanto no primeiro período chuvoso (Figura 3) onde teve maior umidade do solo a emissão obteve altas taxas de emissão em grande parte da área de estudo, o que não é observado para o período seco. Apesar da umidade do solo e temperatura serem variáveis que afetam significativamente a atividade microbiana e o transporte de CO₂ pelo perfil do solo. Segundo PANOSSO et al. (2009) as emissões de CO₂ do solo foram afetadas por lâminas de molhamento em Latossolo desprovido de vegetação, tendo a umidade do solo como fator limitante nas emissões.

A partir da elaboração dos mapas de krigagem, possibilitou identificar a dificuldade ao se tentar estabelecer relações diretas entre as propriedades do solo (umidade e temperatura) com os fluxos de CO₂, indicando assim a natureza complexa do fenômeno, sendo que as análises devem ser efetuadas por períodos mais longos, para assim poder fazer inferências mais complexas a respeito destas relações. Neste trabalho, não existiram condições ambientais limitantes, ao contrário de diversos estudos realizados em regiões subtropicais, principalmente sobre variações temporais, nos quais a temperatura ou a umidade foi indicada como o fator mais influente nas emissões de CO₂ do solo (YIM et al. 2003, SCHWENDENMANN et al. 2003, SCOTT-DENTON et al. 2003). Porém, D' ANDRÉA et al. (2009) observaram que os fatores abióticos do ambiente (temperatura e umidade) não foram os principais determinantes dos fluxos de CO₂ do solo em regiões tropicais instaladas com cafeeiros. Por outro lado, os fatores bióticos (plantas e microbiota do solo) são os que parecem condicionar as emissões de CO₂ do solo, nestes ecossistemas. Além disso, os fatores que afetam o fluxo de CO₂ do solo estão, com frequência, fortemente inter-relacionados, covariando com a matéria orgânica e a respiração do sistema radicular das plantas (XU & QI 2001).

CONCLUSÃO

A área de pastagem apresentou variabilidade espacial na emissão de CO₂ do solo, com variação do alcance na dependência espacial devido à sazonalidade, apresentando maior dependência espacial entre as amostras no período chuvoso.

O fator limitante para as maiores taxas de emissão de CO₂ do solo na área de pastagem ter ocorrido no período chuvoso, foi à umidade do solo que variou significativamente entre os períodos de estudo aumentando a atividade microbiana.

Variações espaciais da emissão de CO₂ estão intimamente relacionadas com as variáveis climáticas entre os períodos seco e chuvoso.

REFERÊNCIAS

- BALL BC & SMITH KA. 1991. Gas movement. In: SMITH KA & MULLINS CE. (Ed.). Soil analysis: physical method. New York: Marcel Dekker. p.511-549.
- BRASIL. 1978. Ministério das Minas e Energia. Projeto Radam Brasil. Rio de Janeiro: EMBRAPA. 561p.
- BRITO LF et al. 2010. Spatial variability of soil CO₂ emission in different topographic positions. *Bragantia* 69: 19-27.
- CAMARGO LA et al. 2008. Variabilidade espacial de atributos mineralógicos de um Latossolo sob diferentes formas do relevo. II - Correlação espacial entre mineralogia e agregados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 32: 2279-2288.
- CAMBARDELLA CA et al. 1994. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa. *Soil Science Society of American Journal* 58: 1501-1511.
- CAMPOS MCC. 2009. Pedogeomorfologia aplicada a ambientes Amazônicos do Médio Rio Madeira. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) Recife: UFRPE. 219p.
- COSTA FS et al. 2006. Métodos para avaliação das emissões de gases do efeito estufa no sistema solo-atmosfera. *Ciência Rural* 36: 693-700.
- D' ANDRÉA AF et al. 2010. Variações de curto prazo no fluxo e variabilidade espacial do CO₂ do solo em floresta nativa. *Pesquisa Florestal Brasileira* 30: 85-92.
- D' ANDRÉA AF et al. 2009. Variações de curto prazo nas emissões de CO₂ do solo em diferentes sistemas de manejo do cafeeiro. *Revista Química Nova* 32: 2314-2317.
- GONÇALVES ACA et al. 2001. Análises exploratória e geoestatística da variabilidade de propriedades físicas de um Argissolo Vermelho. *Acta Scientiarum. Agronomy* 23: 1149-1157.
- HERBST M et al. 2010. Multivariate conditional stochastic simulation of soil heterotrophic respiration at plot scale. *Geoderma* 160: 74-82.
- IPCC. 2007. Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate change 2007. Fourth Assessment Report on climate change impacts, adaptation and vulnerability of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University. 939p.
- JANSSENS IA et al. 2000. Assessing forest soil CO₂ efflux: an *in situ* comparison of four techniques. *Tree Physiology* 20: 23-32.
- LA SCALA JÚNIOR N et al. 2012. A review on soil carbon accumulation due to the management change of major Brazilian agricultural activities. *Brazilian Journal of Biology* 72: 775-875.
- LA SCALA JÚNIOR N et al. 2009. Fractal dimension and anisotropy of soil CO₂ emission in an agricultural field during fallow. *International Agrophysics* 23: 353-358.
- MARIKO S et al. 2007. Effects of irrigation on CO₂ and CH₄ fluxes from Mongolian steppe soil. *Journal of Hydrology* 333: 118-123.
- PANOSSO AR et al. 2008. Variabilidade espacial da emissão de CO₂ em Latossolo sob cultivo de cana de açúcar em dois sistemas de manejo. *Revista de Engenharia Agrícola* 28: 227-236.
- PANOSSO AR et al. 2009. Variabilidade espacial da emissão de CO₂, da temperatura e umidade de um Latossolo desprovido de vegetação sob diferentes lâminas de molhamento. *Semina: Ciências Agrárias* 30: 1017-1034.

- PINTO-JUNIOR OB et al. 2009. Efluxo de CO₂ do solo em floresta de transição Amazônia Cerrado e em área de pastagem. *Acta Amazônica* 39: 813-822.
- ROBERTSON GP. 1998. *GS+ Geostatistics for the environmental sciences: GS+ user's guide*. Plainwell: Gamma Design Software. 152p.
- SCHWENDENMANN L et al. 2003. Spatial and temporal variation in soil CO₂ efflux in an old-growth neotropical rain forest, la selva, Costa Rica. *Biogeochemistry* 64: 111-128.
- SCOTT-DENTON LE et al. 2003. Spatial and temporal controls of soil respiration rate in a high elevation, subalpine forest. *Soil Biology and Biochemistry* 35: 525-534.
- SILVA AS et al. 2010. Variabilidade espacial do fósforo e das frações granulométricas de um Latossolo Vermelho Amarelo. *Revista Ciência Agronômica* 41: 1-8.
- SOUZA ZM et al. 2009. Geoestatística e atributos do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. *Ciência Rural* 40: 48-56.
- TEIXEIRA DDB et al. 2011. Soil CO₂ emissions estimated by different interpolation techniques. *Plant and Soil* 345: 187-194.
- TRANGMAR BB et al. 1986. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. *Advances in Agronomy* 38: 45-94.
- VIEIRA SR et al. 2010. Jack knifing for semivariogram validation. *Bragantia* 69: 97-105.
- WANG G et al. 2002. Spatial and temporal prediction and uncertainty of soil loss using the revised universal soil loss equation: a case study of the rainfall-runoff erosivity R factor. *Ecological Modelling* 153: 143-155.
- WARRICK AW & NIELSEN DR. 1980. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL D. (Ed.) *Applications of soil physics*. New York: Academic Press. p.319-344.
- WEBSTER R & OLIVER MA. 2007. *Geostatistics for environmental scientists statistics in practice*. 2.ed. Chichester: Wiley. 315p.
- XU M & QI Y. 2001. Soil-surface CO₂ efflux and its spatial and temporal variations in a young ponderosa pine plantation in northern California. *Global Change Biology* 7: 667- 677.
- YIM MH et al. 2003. Spatial variability of soil respiration in a larch plantation: estimation of the number of sampling points required. *Forest Ecology and Management* 175: 585-588.