

VARIABILIDADE ESPACIAL DA EMISSÃO DE CO₂ EM LATOSSOLOS SOB CULTIVO DE CANA-DE-AÇÚCAR EM DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO¹

ALAN R. PANOSSO², GENE T. PEREIRA³, JOSÉ MARQUES JÚNIOR⁴,
NEWTON LA SCALA JÚNIOR⁵

RESUMO: Neste trabalho, foi determinada a estrutura da variabilidade espacial da emissão de CO₂, temperatura e umidade de solos desprovidos de vegetação em duas localidades sob cultivo da cana-de-açúcar, em sistemas de manejos de cana crua e de cana queimada, no nordeste do Estado de São Paulo. 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-6400. A umidade foi avaliada utilizando sistema portátil TDR. A maior emissão foi observada no local sob manejo de cana queimada, com valor médio de 2,05 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, porém a dependência espacial na emissão de CO₂ foi encontrada somente na área sob manejo de cana crua. Os mapas de krigagem da emissão de CO₂, temperatura e umidade do solo sob manejo de cana queimada mostraram correspondência à declividade do terreno, com as maiores emissões e temperaturas localizadas na parte mais alta, sendo as maiores umidades do solo encontradas na parte mais baixa do local estudado. Os resultados indicam correlação linear positiva da emissão de CO₂ com a temperatura, e negativa com a umidade do solo somente no local com manejo de cana queimada, e não no sistema de cana crua, onde a presença de palhada certamente impede a ação direta da radiação solar e o escoamento de chuvas.

PALAVRAS-CHAVE: respiração do solo, geoestatística, manejo da cana-de-açúcar.

SPATIAL VARIABILITY OF CO₂ EMISSION ON OXISOL SOILS CULTIVATED WITH SUGAR CANE UNDER DIFFERENT MANAGEMENT PRACTICES

ABSTRACT: In this work, it was determined the spatial variability structure of soil CO₂ emission, the temperature and the soil moisture in two locations currently cultivated with sugar cane and submitted to different management systems: slash/burn and no-till, in the northeast of São Paulo State. The soil CO₂ emission and the soil temperature were registered by using a portable chamber and a temperature sensor of LI-6400 system. Soil moisture was measured by a portable TDR system. The highest emission was observed in the slash and burn plot, with an average value of 2.05 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, but spatial variability structure was observed just for the CO₂ emission under the no-till management systems. In the slash and burn system, the kriging maps of soil CO₂ emission, the temperature and the moisture shown to be related to the land declivity, as the higher emissions and temperatures were located in the highest level, and the smaller moisture values located in the lowest parts of the studied area. Results indicate a positive linear correlation between soil emission and temperature and also a negative correlation regarding soil moisture, for the slash and burn plot only, but not in the no-till plots, where crop residues were left in soil surface and certainly modified the direct incidence of the solar radiation and the action of rain drainage.

KEYWORDS: soil respiration, geostatistic, sugarcane management.

¹ Extraído de Dissertação de mestrado do primeiro autor.

² Eng^o Agrônomo, Doutorando em Agronomia (Produção Vegetal), Departamento de Ciências Exatas, UNESP/Jaboticabal - SP, Fone: (0XX16)3209.2625, arpanosso@yahoo.com.br.

³ Estatístico, Professor Dr., Departamento de Ciências Exatas, UNESP/Jaboticabal - SP.

⁴ Eng^o Agrônomo, Professor Dr., Departamento de Solos e Adubos, UNESP/Jaboticabal - SP.

⁵ Físico, Professor Dr., Departamento de Ciências Exatas, UNESP/Jaboticabal - SP.

Recebido pelo Conselho Editorial em: 17-7-2007

Aprovado pelo Conselho Editorial em: 14-5-2008

INTRODUÇÃO

Numa escala global, estima-se que a respiração do solo envia para a atmosfera 75 bilhões de toneladas de carbono por ano, sendo a segunda maior fonte de emissão desse elemento para a atmosfera, depois dos oceanos. De acordo com o relatório do Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC (IPCC, 2001), na década de 1980, de 0,6 a 2,5 bilhões de toneladas de carbono foram emitidas por ano para a atmosfera devido a atividades antrópicas diversas que envolvem o uso e o manejo dos solos, especialmente atividades agrícolas. Para a década de 1990, estimou-se que a emissão devida à queima de combustíveis fósseis foi de $6,3 \pm 0,4$ bilhões de toneladas de C ao ano, e a emissão atribuída a mudanças no uso do solo foi de $1,6 \pm 0,8$ bilhão de toneladas de C ao ano (LAL, 2004). Nota-se que a incerteza nesse balanço é grande, devido, principalmente, à complexidade, pois diversos tipos de solos são manejados de diferentes formas. Dependendo do tipo de uso e manejo, o solo pode ser importante fonte ou sumidouro de carbono para a atmosfera. Portanto, medidas mais precisas e acuradas de fluxo de CO₂ do solo são essenciais em estudos cujo objetivo é avaliar o balanço do carbono de um ecossistema (FANG et al., 1998).

O CO₂ emitido pelo solo é produzido essencialmente pela respiração das raízes das plantas e pela decomposição da matéria orgânica promovida pela ação dos microrganismos. No caso de solos desprovidos de vegetação, a produção de CO₂ em seu interior é totalmente relacionada à atividade microbiana. Além da produção de CO₂, faz parte do processo de emissão o transporte do gás do interior do solo até a superfície, que é 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. Esses processos são influenciados, em primeira ordem, pela temperatura e pela umidade do solo, atributos com grande variabilidade temporal e espacial, e que guarda relação direta com as condições climáticas e topográficas do local onde o gás está sendo produzido (KANG et al., 2000; WESTERN et al., 1999; DASSELAAR et al., 1998).

A variabilidade espacial das propriedades do solo ocorre naturalmente devido a fatores pedogênicos diversos. Em adição, muito da variabilidade pode ser causada ainda pelo uso e manejo dos solos e, como consequência, as propriedades do solo podem exibir variabilidade espacial em macro, meso e microescalas. Análises de geoestatística têm sido conduzidas para uma série de propriedades do solo, físicas, químicas na sua maioria (JOHNSON et al., 1996; GONÇALVES et al., 2001; WANG et al., 2002; SOUZA et al., 2004), e também para algumas propriedades biológicas (SILVIANO et al., 1998; SINEGANI et al., 2005). São poucos os trabalhos que caracterizaram a variabilidade da emissão de CO₂ de solos utilizando técnicas de análise de semivariância (ROCHETTE et al., 1991; HANSON et al., 1993; FANG et al., 1998, LA SCALA et al., 2000), especialmente relacionando essa variabilidade àquela da temperatura e da umidade do solo, que são possíveis fatores influenciadores dessa emissão.

Atualmente, no nordeste do Estado de São Paulo, 3,5 milhões de hectares são cultivados com cana-de-açúcar, onde a prática da queima da cultura e dos resíduos vegetais que cobrem o solo, é utilizada. Porém, somente em cerca de 350.000 hectares desse total é adotada a prática de manejo que evita a queima da cana e adiciona grandes quantidades de resíduos à superfície do solo por ano (RIPOLI & RIPOLI, 2004). CAMPOS (2003) analisou a influência da palhada depositada sobre o solo na dinâmica do carbono no agrossistema cana-de-açúcar e concluiu que no manejo sem a queima houve maior emissão de CO₂, comparado ao manejo com queima. Entretanto, quando estabelecido o balanço de carbono, o sistema sem queima deixa de liberar para a atmosfera cerca de 5 Mg C-CO₂ ha⁻¹ ano⁻¹.

A hipótese principal do presente trabalho é que o manejo diferenciado da cana-de-açúcar altera a dinâmica da decomposição do carbono orgânico no solo por meio de variações nas condições de temperatura e de umidade, alterando, assim, o fluxo do CO₂ para a atmosfera.

Assim, o objetivo do trabalho foi caracterizar a variabilidade espacial da emissão de CO₂ em um Latossolo utilizado para o cultivo da cana-de-açúcar, em diferentes tipos de manejos - cana crua

e cana queimada - e analisar como as variações espaciais da temperatura e umidade do solo se relacionam à estrutura espacial da emissão.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em duas áreas pertencentes à Fazenda Santa Bárbara, localizada no município de Guariba - SP, tendo coordenadas geográficas 21° 19' a 21° 20' de latitude sul e 48°13' a 48°14' de longitude oeste, e altitude média de 600 m acima do nível do mar. Os solos das áreas foram classificados como Latossolo Vermelho eutroférico, textura muito argilosa (LVef) (EMBRAPA, 1999). O relevo, em ambas as áreas, é suave ondulado, com declividades variando de 3 a 8%. O clima da região é classificado, segundo Köppen, como sendo do tipo Aw, definido como tropical de verão chuvoso e inverno seco, com temperatura média variando de 19,1 a 24,8 °C, no mês mais quente. A precipitação pluviométrica anual média é de 1.425 mm, com período de maior concentração de outubro a março e com precipitações mais espaçadas e de menores intensidades de abril a setembro.

As áreas utilizadas neste estudo apresentam mais de 30 anos de cultivo de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). Foram utilizadas duas áreas localizadas em talhões vizinhos com diferentes históricos de manejo: cana queimada com colheita manual (A1) e cana crua com colheita mecanizada (A2). A variedade plantada nos dois talhões foi a RB855453. A área A1 foi colhida manualmente, em 29-8-2005, um dia após a despalha com fogo. Na área A2, a cana foi colhida mecanicamente, no dia 3-9-2005. Para as avaliações foi empregada uma grade de amostragem em cada talhão de 50 x 90 m, com espaçamento de 10 m nas duas direções ortogonais, totalizando 60 pontos amostrais.

A emissão de CO₂ do solo (FCO₂) foi registrada utilizando-se de câmara de fluxo fabricada pela companhia LI-COR (LI-6400-09) e um sensor de temperatura do sistema LI-6400 (HEALY et al., 1996). No modo de medição, o sistema LI-6400 monitora a concentração de CO₂ no interior da câmara, que sempre foi operada próxima à concentração de CO₂ da atmosfera no local estudado. A câmara de solos é um sistema fechado, com volume interno de 991 cm³, e área circular de contato com o solo de 78,5 cm² (diâmetro de 0,10 m) e deve ser instalada sobre o colar de PVC, previamente colocado no solo em cada um dos pontos amostrais. A utilização de colares de PVC é decorrente do fato de que podem ocorrer distúrbios causados pela inserção da câmara diretamente no solo, como a quebra de sua estrutura porosa, por exemplo, o que causaria aumento de CO₂ emitido pelo solo, superestimando o valor naquele ponto.

A temperatura do solo (T_{solo}) foi avaliada em todos os pontos estudados em A1 e A2, utilizando o sensor de temperatura, parte integrante do sistema do LI-6400. Esse 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. O princípio de funcionamento desse sensor é baseado no chamado termistor, que é uma resistência elétrica que tem o seu valor modificado de acordo com a temperatura do solo. As leituras da temperatura do solo foram feitas durante o período em que o sistema LI-6400 estava realizando as medições de emissão de CO₂ do solo.

Para a obtenção de umidade do solo (U_{solo}) nos locais estudados, foi utilizado um equipamento de TDR (Time Domain Reflectometry) - Campbell® (Hydrosense TM, Campbell Scientific, Austrália). O aparelho de TDR é constituído de uma sonda, apresentando duas hastes de 0,12 m que devem ser inseridas no interior do solo o mais perpendicular possível em relação à sua superfície, nos locais próximos aos colares de PVC. O seu princípio de funcionamento consiste em medir o tempo de percurso de um pulso eletromagnético (EM) no espaço compreendido entre as duas extremidades das hastes, sendo o tempo de percurso relacionado com a constante dielétrica média do meio no qual a sonda-guia é inserida. Nessas áreas, a avaliação da umidade do solo foi realizada concomitantemente às avaliações de emissão de CO₂ em cada um dos 60 pontos de cada gradeado.

As avaliações da emissão de CO₂, temperatura e umidade do solo foram conduzidas nos dias 8 e 21 de outubro de 2005, em A1 e A2, respectivamente, durante o período da manhã das 7 às 10 h. A variabilidade dos dados foi primeiramente avaliada pela estatística descritiva (média, desvio-padrão, intervalo de confiança da média, coeficientes de assimetria, curtose e de variação). A análise da dependência espacial foi avaliada pela geoestatística conforme ROBERTSON (1998) e VIEIRA (2000), a qual tem como base a teoria das variáveis regionalizadas e como ferramenta primária o semivariograma, que pode ser estimado por:

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

em que,

$Z(x_i)$ - valor da propriedade Z na localização x_i na área amostral, e

$N(h)$ - número de pares de dados separados pela distância h.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As estatísticas descritivas da emissão de CO₂, temperatura e umidade do solo são apresentadas na Tabela 1. As médias da emissão de CO₂ do solo para a área de cana crua com colheita mecanizada (A2) foi 1,76 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. A área com cana queimada (A1) apresentou média de emissão de CO₂ de 2,05 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. As quantidades de CO₂ emitidas do solo são inferiores comparadas às encontradas em solos vegetados (SING & GUPTA, 1977; TEDESCHI et al., 2006), porém similares às observadas em estudos realizados em Latossolos sem vegetação (LA SCALA et al., 2000; 2003). A análise de comparação de médias pelo teste T indicou que a emissão de CO₂ do solo foi maior na área de cana queimada (A1), comparada àquela com o manejo de cana crua (A2) $p < 0,05$. CAMPOS (2003) não encontrou diferenças significativas nas médias anuais da emissão de CO₂ em áreas de cana com e sem queima, entretanto, nas avaliações realizadas nos meses de março e julho de 2000, a taxa de emissão foi mais elevada para o sistema sem queima dos resíduos. O mesmo autor afirma que as variações temporais das emissões acompanham as variações temporais da umidade do solo. Possivelmente, o maior valor de emissão média de CO₂ na área de cana queimada esteja relacionado ao fato de ter sido observado também na mesma área os maiores valores de temperatura e de umidade do solo.

TABELA 1. Estatística descritiva da emissão de CO₂ ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), temperatura (°C) e umidade do solo (% volume). **Descriptive statistics of soil CO₂ emission ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), temperature (°C) and soil moisture (%volume).**

Estatística	Cana Queimada (A1)			Cana Crua (A2)		
	FCO2	Tsolo	Usolo	FCO2	Tsolo	Usolo
Média	2,05	23,70	52,30	1,76	22,60	42,10
Desvio-Padrão	0,77	0,50	7,70	0,76	0,20	7,10
IC	0,20	0,12	2,00	0,20	0,05	1,84
Assimetria	0,46	-0,15	-0,74	0,60	-0,04	-0,35
Curtose	-0,02	-0,28	-0,10	-0,26	-0,08	-0,78
CV	37,63	1,96	14,68	43,36	0,89	16,93

Número de observações (N): 60; IC: intervalo de confiança da média ($p = 0,05$); C.V.: coeficiente de variação.

Adotando o critério de classificação para o coeficiente de variação proposto por WARRICK & NIELSEN (1980), a emissão de CO₂ foi a variável que apresentou os maiores valores de C.V., sendo classificados como altos ($>24\%$). A umidade apresentou valores médios ($12\% < \text{C.V.} < 20\%$) para as áreas. A temperatura do solo apresentou os menores valores de C.V., classificados como baixos ($\text{C.V.} < 12\%$). Os resultados deste estudo estão de acordo com EPRON et al. (2004) que, em estudo dos aspectos da variabilidade espacial da respiração do solo em plantação de eucalipto, obtiveram valores de C.V. entre 25 e 50%. SCHWENDENMANN et al. (2003), em estudo semelhante em solos de floresta, apresentam valores de C.V. entre 35 e 45%. Em estudo sobre a

variabilidade da emissão de gases do efeito estufa, DASSELAAR et al. (1998) encontraram coeficiente de variação de 55% para a emissão de CO₂ em solo vegetado.

O coeficiente de variação do fluxo de CO₂ de diferentes localizações dentro de um ecossistema é indicativo da sua variação espacial. Entretanto, apenas o C.V. não é suficiente para a comparação entre os fluxos de CO₂ de diferentes estudos, em parte devido à falta de padronização no esquema experimental, como o tamanho e a forma da área, o número de pontos amostrais e o seu arranjo espacial (FANG et al., 1998). Segundo GONÇALVES et al. (2001), a condição de normalidade não é exigência para a análise geoestatística, o importante é que a distribuição não apresente caudas muito alongadas que possam comprometer a análise. Assim, com o intuito de compreender melhor as variações da emissão de CO₂, temperatura e umidade do solo nas áreas de estudo, foi realizada a análise de variabilidade espacial dessas propriedades.

Os parâmetros dos modelos matemáticos dos semivariogramas ajustados para as variáveis emissão de CO₂, temperatura e umidade do solo são apresentados na Tabela 2. A emissão de CO₂ apresentou dependência espacial apenas para a área de cana crua. Não foi possível ajustar um modelo teórico ao semivariograma experimental de FCO₂ na área com manejo de cana queimada. Para a área de cana crua (A2), o modelo ajustado foi esférico. Estudando a variabilidade da emissão de CO₂ diária por 18 dias, numa mesma área, LA SCALA et al. (2003) encontraram, em sua maioria, modelos esféricos de variabilidade espacial, porém alguns desses dias também apresentaram modelos exponenciais.

TABELA 2. Modelos e parâmetros dos semivariogramas estimados, grau de variabilidade espacial, coeficiente de determinação e soma de quadrados de resíduos para emissão de CO₂, temperatura e umidade do solo, nas áreas estudadas. **Models and parameters of estimate semivariograms, spatial structure, coefficient of determination and sum of square of residuals for soil CO₂ emission, temperature and soil moisture for the studied areas.**

		A1 (Cana Queimada)					
	Modelo	C ₀	C ₀ + C ₁	a (m)	C ₀ / (C ₀ + C ₁) (%)	r ²	SQR
FCO ₂	E.P.P.	0,523	0,523	-----	100	-----	-----
Tsolo	Esf.	0,063	0,227	76,0	28	0,85	2,3 x 10 ⁻³
Usolo	Exp.	20,20	54,74	72,4	37	0,57	198
		A2 (Cana Crua)					
	Modelo	C ₀	C ₀ + C ₁	a (m)	C ₀ / (C ₀ + C ₁) (%)	r ²	SQR
FCO ₂	Esf.	0,250	0,502	32,7	50	0,50	9,84 x 10 ⁻³
Tsolo	Exp.	0,016	0,043	77,4	37	0,67	8,6 x 10 ⁻⁵
Usolo	E.P.P.	44,97	44,97	-----	100	-----	-----

N: 60; Esf.: esférico; Exp.: exponencial; E.P.P.: efeito pepita puro.

O 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. Os valores de alcances estimados a partir dos modelos ajustados aos semivariogramas experimentais da emissão de CO₂ do solo, na área de cana crua, foi de 32,7 m. A variável emissão de CO₂ do solo na área de cana queimada apresentou efeito pepita puro, ou seja, ausência total de dependência espacial. Isso indica que os valores de emissão de CO₂ do solo apresentam distribuição espacial aleatória ou que o espaçamento entre as amostras neste trabalho não foi suficiente para detectar a dependência espacial da emissão de CO₂ para a área de cana queimada. ROCHETTE et al. (1991) encontraram valor de alcance bem definido de 20 m para a respiração do solo em área com a cultura do milho. DASSELAAR et al. (1998) encontraram valores de alcance de 55 e 75 m para a emissão de CO₂ em solos com cobertura vegetal. LA SCALA et al. (2000), estudando as mudanças temporais da variabilidade da emissão de CO₂ em Latossolo, encontraram valores de alcances de 58,4 m e 29,6 m e efeito pepita puro para um dos dias avaliados; apesar de ter sido realizado em condições de solo descoberto de vegetação, tais

resultados foram parecidos com os encontrados na área de cana crua, com a palhada depositada na superfície do solo.

A análise $C_0/(C_0 + C_1)$ é expressa em percentual do efeito pepita em relação ao patamar e tem por objetivo facilitar a comparação do grau de dependência espacial das variáveis em estudo (TRANGMAR et al., 1985). De acordo com CAMBARDELLA et al. (1994), a emissão registrada em A2 e as temperaturas e umidades do solo registradas em A1 podem ser consideradas como moderadamente e espacialmente dependentes, pois $25\% < C_0/(C_0 + C_1) < 75\%$.

Os semivariogramas teóricos e os mapas da emissão de CO_2 , temperatura e umidade do solo são apresentados nas Figuras 1 e 2. Os modelos ajustados aos semivariogramas experimentais das variáveis FCO_2 , T_{solo} e U_{solo} foram utilizados para obter a estimativa nos locais não-amostrados no processo de interpolação denominado de krigagem. Para as variáveis que apresentaram efeito pepita puro, FCO_2 em A1 e U_{solo} em A2, o método de interpolação utilizado foi o inverso da distância.

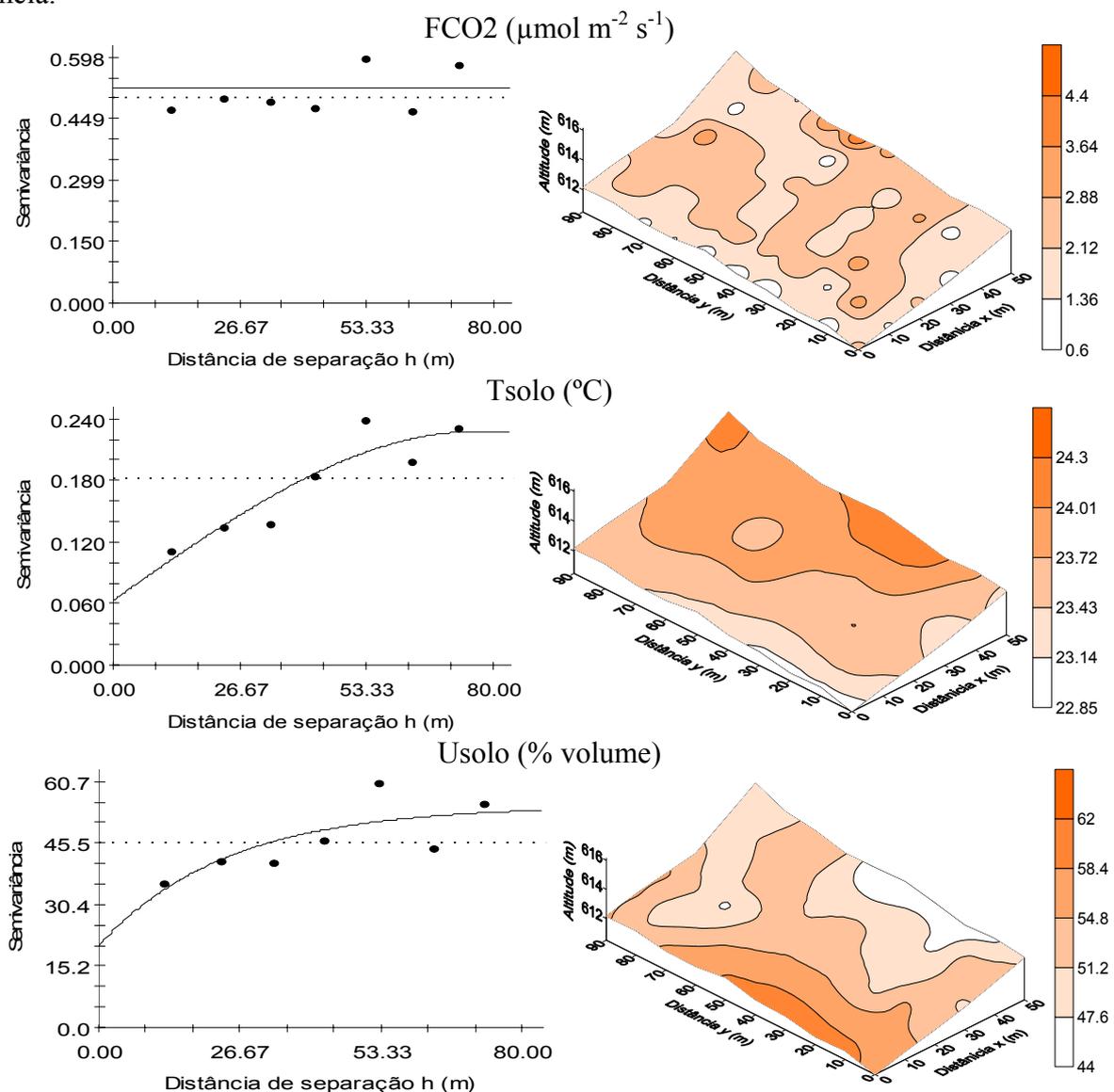


FIGURA 1. Semivariogramas ajustados e mapas de emissão de CO_2 , temperatura e umidade do solo para a área com cana queimada (A1). **Fitted semivariograms and maps of soil CO_2 emission, temperature and soil moisture for no-tillage area (A1).**

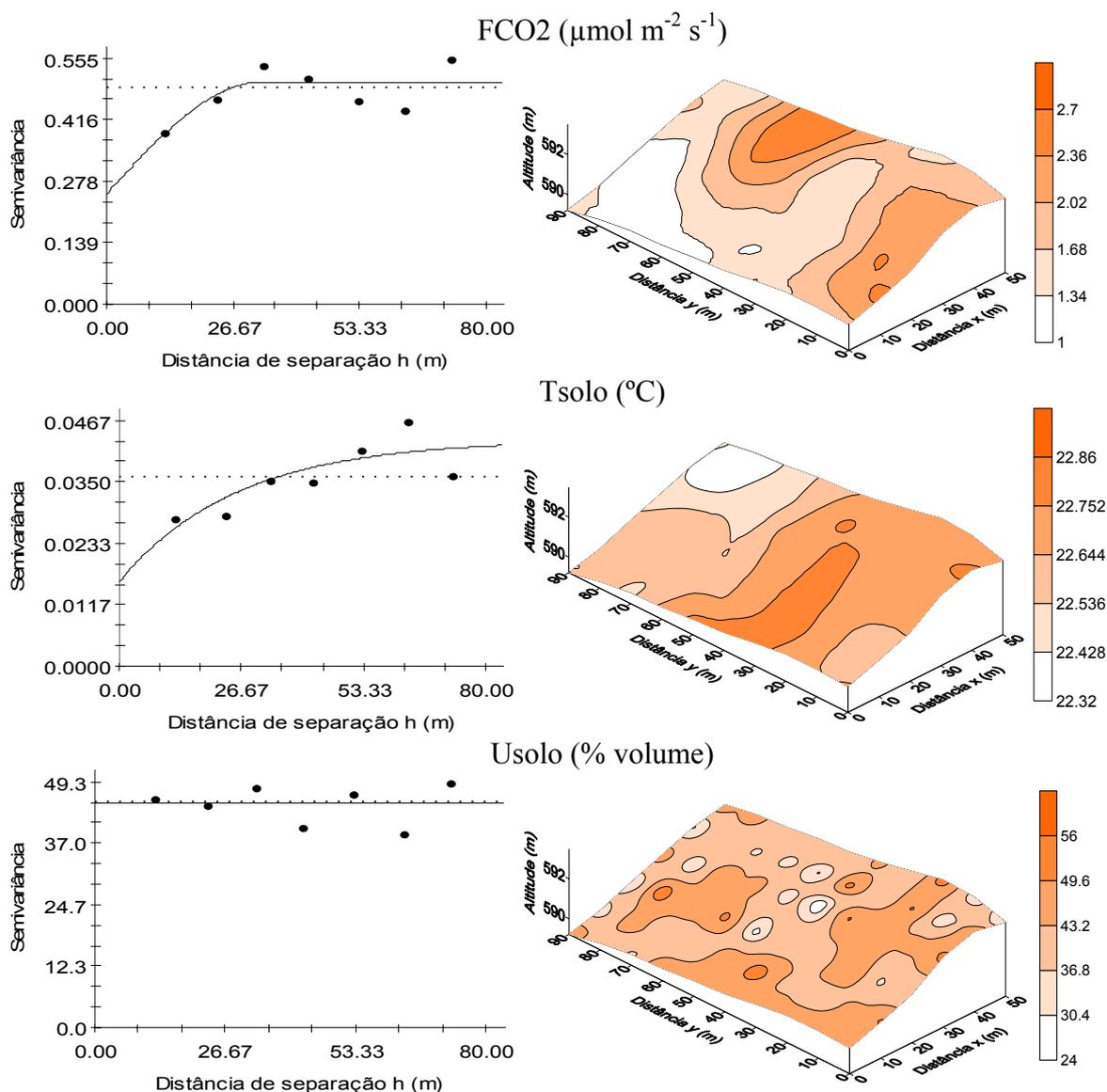


FIGURA 2. Semivariogramas ajustados e mapas de emissão de CO₂, temperatura e umidade do solo para a área com cana crua (A2). **Fitted semivariograms and maps of soil CO₂ emission, temperature and soil moisture for slash and burned area (A2).**

Quando se considera o valor da emissão de CO₂, nota-se que, na estrutura espacial A2 (Figura 2), área com manejo de cana crua, não há, aparentemente, relação espacial com a temperatura ou com a umidade do solo. Diferentemente, nota-se nos mapas apresentados da área de cana queimada (Figura 1), relação da emissão de CO₂ com a umidade e a temperatura do solo. Nessa área, as regiões dos maiores valores da emissão de CO₂ do solo são as mesmas onde ocorrem os maiores valores de temperatura do solo e menores de umidade. A emissão de CO₂ é o resultado da interação dos processos de produção pela atividade microbiana e transporte através do perfil do solo. Apesar de a emissão de CO₂ do solo ser uma variável dependente da temperatura e da umidade do solo quanto a sua variabilidade temporal, vários autores afirmam que a contribuição desses fatores não é tão grande quando se analisa a variabilidade espacial de tal emissão (YIM et al., 2003; TEDESCHI et al., 2006). Porém, no presente trabalho, foi observada relação direta entre emissão e temperatura, e inversa entre emissão e umidade do solo, mas somente na área onde o manejo com cana queimada foi conduzido.

A análise de correlação linear entre a emissão de CO₂, a temperatura e a umidade do solo para cada uma das áreas estudadas indica que não houve significância no sistema de cana crua. Esse

aspecto, que de certo modo se assemelha ao discutido anteriormente na análise dos mapas, pode estar relacionado à presença de palhada na superfície dessas áreas. Apesar da declividade do terreno, aspectos como a incidência de radiação solar ou infiltração de água no solo podem ser menos importantes na definição da variabilidade espacial nessas áreas do que em locais sem palhada, como na cana queimada, onde a relação com a declividade foi observada. Por outro lado, em A1, onde é adotada a prática de queima da cana para a colheita, foi observado índice de correlação positivo significativo entre a emissão de CO₂ e a temperatura do solo (0,59), e índice de correlação negativo significativo entre a emissão de CO₂ e a umidade do solo (-0,53). RETH et al. (2005) observaram índices de correlação positivos significativos da emissão de CO₂ com a umidade do solo apenas nos períodos secos do ano. A correlação negativa da emissão de CO₂ com a umidade do solo reforça a hipótese de que a umidade estaria afetando o processo de transporte do gás do interior para a superfície do solo, na área com cana queimada, por meio da ocupação dos poros pela água, dificultando a emissão desses gases.

CONCLUSÕES

A área com cana queimada apresentou maior média de emissão de CO₂ do solo.

Os mapas de krigagem das variáveis indicam que a variação espacial da emissão de CO₂ do solo pode ser relacionada às variações de temperatura e de umidade ao longo do terreno somente na área com cana queimada.

Somente no local de cana queimada foi observada correlação entre os maiores e menores valores da emissão, da temperatura e da umidade do solo com a declividade do terreno. Esse fato não foi verificado nos locais de manejo com cana crua, onde a palhada estava presente na superfície do solo.

REFERÊNCIAS

- CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK J.M.; PARKIN T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R.F.; KONOPKA, A.E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Science Society America Journal*, Madison, v.58, n.5, p.1.501-11, 1994.
- CAMPOS, D.C. *Potencialidade do sistema de colheita sem queima de cana-de-açúcar para o seqüestro de carbono*. 2003 103 f. Tese (Doutorado em Microbiologia Agrícola) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.
- DASSELAAR, A.V.P.V.; CORRÉ, W.J.; PRIEMÉ, A.; KLEMEDTSSON, Å.K.; WESLIEN, P.; STEIN, A.; KLEMEDTSSON; L.; OENEMA, O. Spatial variability of methane, nitrous oxide and carbon dioxide emissions from drained grassland. *Soil Science Society America Journal*, Madison, v.62, n.33, p.810-17, 1998.
- EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1999. 412 p.
- 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*, Amsterdam, v.202, n.1-3, p.149-60, 2004.
- FANG, C.; MONCRIEFF, J.B.; GHOLZ, H.L.; CLARK, K.L. Soil CO₂ efflux and its spatial variation in a Florida slash pine plantation. *Plant and Soil*, Dordrecht, v.205, n.2, p.135-46, 1998.
- 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*, Maringá, v.23, n.5, p.1.149-57, 2001.

- HANSON, P.J.; WULLSCHLEGER, S.D.; BOHLMAN, S.A.; TODD, D.E. Seasonal and topographic patterns of forest floor CO₂ efflux from an upland oak forest. *Tree Physiology*, Victoria, v.13, n.1, p.1-15, 1993.
- HEALY, R.W.; STRIEGL, R.G.; RUSSEL, T.F.; HUTCHINSON, G.L.; LIVINGSTON, G.P. Numerical evaluation of static-chamber measurements of soil-atmosphere gas exchange: identification of physical processes. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.60, n.3, p.740-7, 1996.
- IPCC 2001. *Third Assessment Report, Climate Change 2001*. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, Suíça. Disponível em: http://www.grida.no/climate/ipcc_tar. Acesso em: set. 2006.
- JOHNSON, G.A.; MORTENSEN, D.A.; GOTWAY, C.A. Spatial and temporal analysis of weed seedling populations using geostatistics. *Weed Science*, Champaign, v.44, n.3, p.704-10, 1996.
- 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*, Amsterdam, v.136, n.1-3, p.173-84, 2000.
- LA SCALA JÚNIOR, N.; MARQUES JÚNIOR J.; PEREIRA G.T.; CORÁ J.E. Short-term temporal changes in the spatial variability model of CO₂ emissions from a Brazilian bare soil. *Soil Biology & Biochemistry*, Exeter, v.32, n.10, p.1.459-62, 2000.
- LA SCALA JÚNIOR, N.; PEREIRA, G.T.; PANOSSO, A. R. Variabilidade espacial e temporal da emissão de CO₂ num agrossistema desprovido de vegetação. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.23, n.1, p.88-95, 2003.
- LAL, R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*, Amsterdam, v.123, n.1-2, p.1-22, 2004.
- RETH, S.; MARKUS, R.; FALGE, E. The effect of soil water content, soil temperature, soil pH-value and the root mass on soil CO₂ efflux - A modified model. *Plant and Soil*, Dordrecht, v.268, n.1-2, p.21-33, 2005.
- RIPOLI, T.C.C.; RIPOLI, M.L.C. *Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente*. Piracicaba: Barros Marques Editoração Eletrônica, 2004. 302 p.
- ROBERTSON, G.P. *GS+*: Geostatistics for the environmental sciences. *GS+ user's guide*. Plainwell: Gamma Design Software, 1998. 152 p.
- ROCHETTE, P.; DESJARDINS, R.L.; PATTEY, E. Spatial and temporal variability of soil respiration in agricultural fields. *Canadian Journal of Soil Science*, Ottawa, v.71, n.2, p.189-96, 1991.
- 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*, Dordrecht, v.64, n.1, p.111-28, 2003.
- SILVIANO, A.A.C.; VIEIRA, S.R.; SPAROVEK, G. Variabilidade espacial de atributos de solo e *Crotalaria juncea* L. em áreas severamente erodidas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.22, n.1, p.115-22, 1998.
- SINEGANI, A.A.S.; MAHBOOBI, A.A.; NAZARIZADEH, F. The effect of agricultural practices on the spatial variability of arbuscular mycorrhiza spores. *Turkish Journal of Biology*, Ankara, v.29, n.3, p.149-53, 2005.
- SINGH, J.S.; GUPTA, S.R. Plant decomposition and soil respiration in terrestrial ecosystems. *The Botanical Review*, Bronx, v.43, n.4, p.449-528, 1977.

- SOUZA, Z.M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G.T. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.28, n.6, p.937-44, 2004.
- TEDESCHI, V.; REY, A.; MANCA, G.; VALENTINI, R.; JARVIS, P.L.; BORGHETTI, M. Soil respiration in a Mediterranean oak forest at different developmental stages after coppicing. *Global Change Biology*, Oxford, v.12, n.1, p.110-21, 2006.
- TRANGMAR, B.B.; YOST, R.S.; UEHARA G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. *Advances in Agronomy*, San Diego, v.38, p.45-94, 1985.
- VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V.V.H.; SCHAEFER, C.E. *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p.1-54.
- WANG, G.; GERTNER, G.; SINGH, V.; SHINKAREVA, S.; PARYSOW, P.; ANDERSON, A. 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*, Amsterdam, v.153, n.1-2, p.143-55, 2002.
- 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, 1980. 385 p.
- WESTERN, A.W.; GRAYSON, R.B.; BLÖSCHL, G.; WILLGOOSE, G.R.; MCMAHON T.A. Observed spatial organization of soil moisture and its relation to terrain indices. *Water Resources Research*, Washington, v.35, n.3, p.797-810, 1999.
- YIM, M.H.; JOO, S.J.; SHUTOU, K.; NAKANE, K. Spatial variability of soil respiration in a larch plantation: estimation of the number of sampling points required. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v.175, n.1-3, p.585-8, 2003.