

## Variabilidade espacial da fertilidade, carbono e nitrogênio do solo em áreas de pastagem e cana-de-açúcar no estado de São Paulo

Rodolfo Manjolin<sup>1</sup>  
Célia Regina Grego<sup>1</sup>  
Sandra Furlan Nogueira<sup>1</sup>  
Gustavo Bayma-Silva<sup>1</sup>  
Kleber Trabaquini<sup>2</sup>  
Ieda Del'Arco Sanches<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Embrapa Monitoramento por Satélite  
Av. Soldado Passarinho 303 – 13070-115 - Campinas - SP, Brasil  
rodolfo.correa@colaborador.embrapa.br; {celia.grego; sandra.nogueira;  
gustavo.bayma}@embrapa.br

<sup>2</sup> Centro de Informações Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina - CIRAM/EPAGRI  
Caixa Postal 502 - 88034-901 - Florianópolis-SC, Brasil  
klebertrabaquini@epagri.sc.gov.br

<sup>3</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil  
idea.sanches@inpe.br

**Abstract.** The spatial variability of soil and plant properties has been a concern of researchers, since the variation of any phenomenon in space or time, whether caused by natural processes or by man-imposed actions, has always existed and need considered. The objective was relate spatial variability of chemical attributes, including carbon and nitrogen, to pasture and sugarcane areas in the west of the state of São Paulo. A total of 36 points were sampled in the west of the state of São Paulo in areas of pasture and sugar cane. For each point were collected soil chemical data at depth of 0 cm to 30 cm in March 2015. For identification of spatial dependence, data interpolation and for the elaboration of the maps, the geostatistical analysis was used including adjustment of the semivariogram. To relate the maps of soil chemical attributes interpolated by geostatistical and kriging with grazing and sugarcane areas, the land use map was obtained. There was spatial dependence for the chemical attributes analyzed and the ranges of values showed soil-related variability. The highest values of nutrients, carbon and nitrogen in the areas of sugarcane production, evidencing the positive effect of crop management on the soil when compared to pasture areas.

**Palavras-chave:** geostatistical, kriging, soil attributes, use of soil, geoestatística, krigagem, atributo do solo, uso do solo

### 1. Introdução

A expansão da indústria sucroalcooleira é tema de grandes debates em relação ao uso e ocupação da terra, visto que tal cultura tem ganhado espaço em terras anteriormente destinadas a outras culturas. Com o desenvolvimento e investimento incorporado nos canaviais é indispensável o estudo dessas áreas para avaliar a sustentabilidade da produção e a mudança das características físicas e químicas do solo relativas à cultura. No estado de São Paulo, segundo INVESTE SP (2013), tradicionalmente as principais áreas utilizadas para o cultivo de cana estavam localizadas no centro norte (Piracicaba, Barretos, Franca e Ribeirão Preto), Campinas, Bauru e Jaú e de 2011 em diante tem se expandido para o oeste do estado na região de Araçatuba, Presidente Prudente e Andradina. Se tratando de uma cultura também destinada à produção de biocombustível é relevante falar da sustentabilidade da produção da cultura canavieira, um dos pontos principais é o sequestro de carbono relacionado à produção,

evidenciando uma importante característica da cultura, a fim de torna-la mais sustentável possível (INVEST SP, 2013).

Em 2003 o INPE deu início ao projeto Canasat para mapear a área cultivada com cana-de-açúcar na região Centro-Sul do Brasil por meio de imagens de sensores orbitais, o que possibilitou identificar novas áreas cultivadas com cana-de-açúcar, nas áreas em que foi identificada a expansão da cultura, através da análise temporal de imagens de sensores orbitais (Rudorff *et al*, 2010). Neste projeto também foi possível identificar o uso e a ocupação do solo anterior à produção de cana-de-açúcar e tal avaliação é primordial para elaboração de planos estratégicos de produção de alimentos e de atendimento da demanda global por açúcar e etanol (Aguiar *et al.*, 2009). Neste contexto é de suma importância que a cultura em expansão tenha um impacto ambiental positivo. Na busca por sustentabilidade alguns processos antigamente comuns nos canaviais estão sendo deixados de lado, como a mudança da queima do canavial para a o cultivo sobre a palha, no qual o carbono que seria lançado na atmosfera fica retido na palhada e conseqüentemente é incorporado ao solo, diminuindo a emissão de gases do efeito estufa (Campos, 2003).

A variabilidade espacial de propriedades do solo e da planta tem sido uma preocupação dos pesquisadores, pois a variação de qualquer fenômeno, no espaço ou no tempo, seja ela causada por processos naturais ou por ações impostas pelo homem, sempre existiu e deve ser considerada. De acordo com Vieira *et al* (2010) num ensaio de competição de variedades de cana-de-açúcar foi detectado que não houve uniformidade de propriedades do solo e portanto a uniformidade não pode ser simplesmente pressuposta sem uma adequada averiguação. Para análise espacial da área como um todo e interpolar os valores, pode ser utilizada a análise geoestatística.

No âmbito desse trabalho objetivou se relacionar espacialmente os atributos químicos, incluindo carbono e nitrogênio, em áreas de pastagem e de cana-de-açúcar no oeste do estado de São Paulo.

## 2. Metodologia de trabalho

A região está localizada no oeste do Estado de São Paulo (incluindo partes dos municípios de Andradina, Muritinga do Sul, Guaraçaí e Pereira Barreto), entre as coordenadas longitude de 51,44 ° e 51,08 ° oeste, e latitude de 20,64 ° e 21,09 ° sul, totalizando uma área de 1.115 km<sup>2</sup>. O clima é tropical, classificado como Aw na escala Köppen e Geinger, com temperatura média de 22,5°C e pluviosidade média de 1200 mm.

Foram amostrados 36 pontos (Figura 1) em áreas de pastagem e cana-de-açúcar, sendo solos do tipo Latossolo e Argissolo.

Os dados foram organizados em um sistema de informações geográficas (SIG) e, em seguida, extraídos na forma de tabela com as coordenadas no sistema de projeção UTM e datum WGS84.



**Figura 1.** Polígono da área de estudo e os 36 pontos coletados.

Para cada ponto foram coletados dados químicos do solo na profundidade de 0 cm a 30 cm em março de 2015: pH ( $\text{CaCl}_2$ ), matéria orgânica (MO) em  $\text{g dm}^{-3}$ , fósforo (P) em  $\text{mg dm}^{-3}$ , potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), hidrogênio e alumínio (H+Al), soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC) em  $\text{mmolc dm}^{-3}$ , porcentagem de saturação por bases (V%), carbono (C), nitrogênio (N), relação carbono:nitrogênio (C:N).

Inicialmente os dados foram submetidos à análise da estatística descritiva para verificação da normalidade, distribuição de frequência e para testar a significância da normalidade foi realizado o teste de Kolmogorov-Smirnov. Para a identificação da dependência espacial, interpolação dos dados e para a elaboração dos mapas, foi empregada a análise geoestatística segundo Vieira (2000). Foi construído semivariograma, partindo das pressuposições de estacionariedade da hipótese intrínseca e do cálculo da semivariância  $\gamma(h)$  estimada pela equação 1:

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

Em que  $N(h)$  é o número de pares dos valores medidos  $Z(x_i)$ ,  $Z(x_i+h)$ , separados por um vetor  $h$ . É esperado, segundo Vieira (2000), que medições localizadas próximas tenham valores mais próximos do que aquelas separadas por distâncias maiores, isto é, que aumente  $\gamma(h)$  com a distância  $h$  até um valor máximo, no qual se estabiliza em um patamar correspondente ao alcance da dependência espacial, medições localizadas além do alcance serão independentes entre si.

Para análise da variabilidade espacial, o semivariograma foi ajustado com o modelo matemático de melhor correspondência. Os programas computacionais e procedimentos para construção e ajuste do modelo do semivariograma foram baseados no programa computacional GEOSTAT (Vieira *et al.*, 2002).

O grau de dependência espacial (GD) foi calculado segundo a equação 2, sendo classificado segundo Zimback (2001) como dependência fraca ( $\text{GD} < 25\%$ ), dependência moderada ( $26\% < \text{GD} \leq 75\%$ ) e dependência forte ( $\text{GD} > 75\%$ ).

$$\text{GD} = \left( \frac{C_1}{C_0 + C_1} \right) \cdot 100 \quad (2)$$

Em que  $C_0$  é o efeito pepita, ou seja a semivariância na distância zero e  $C_1$  a variância estrutural. Havendo dependência espacial demonstrada pelo semivariograma, pode-se estimar valores para qualquer outro local que não foi amostrado, usando a krigagem ordinária, que

segundo Vieira *et al.* (2002), estima os valores com condições de não tendenciosidade e com variância mínima em relação aos valores conhecidos.

Com os valores estimados, foram construídos mapas de faixas de valores, em função da coordenada geográfica através do programa Ar Gis 10.3.

Para relacionar os mapas de atributos químicos do solo interpolados por krigagem com as áreas de pastagem e cana-de-açúcar, foi utilizado o mapa de uso da terra obtido, pela segmentação e classificação visual de imagens Landsat e sensor OLI (de 2014 e 2015). A partir 20/06/2015 foram utilizadas imagens RapidEye, dados do Projeto Canasat (2013) e os dados auxiliares obtidos no campo em Março de 2015. As classes mapeadas foram: cana-de-açúcar e pastagem.

### 3. Resultados e discussão

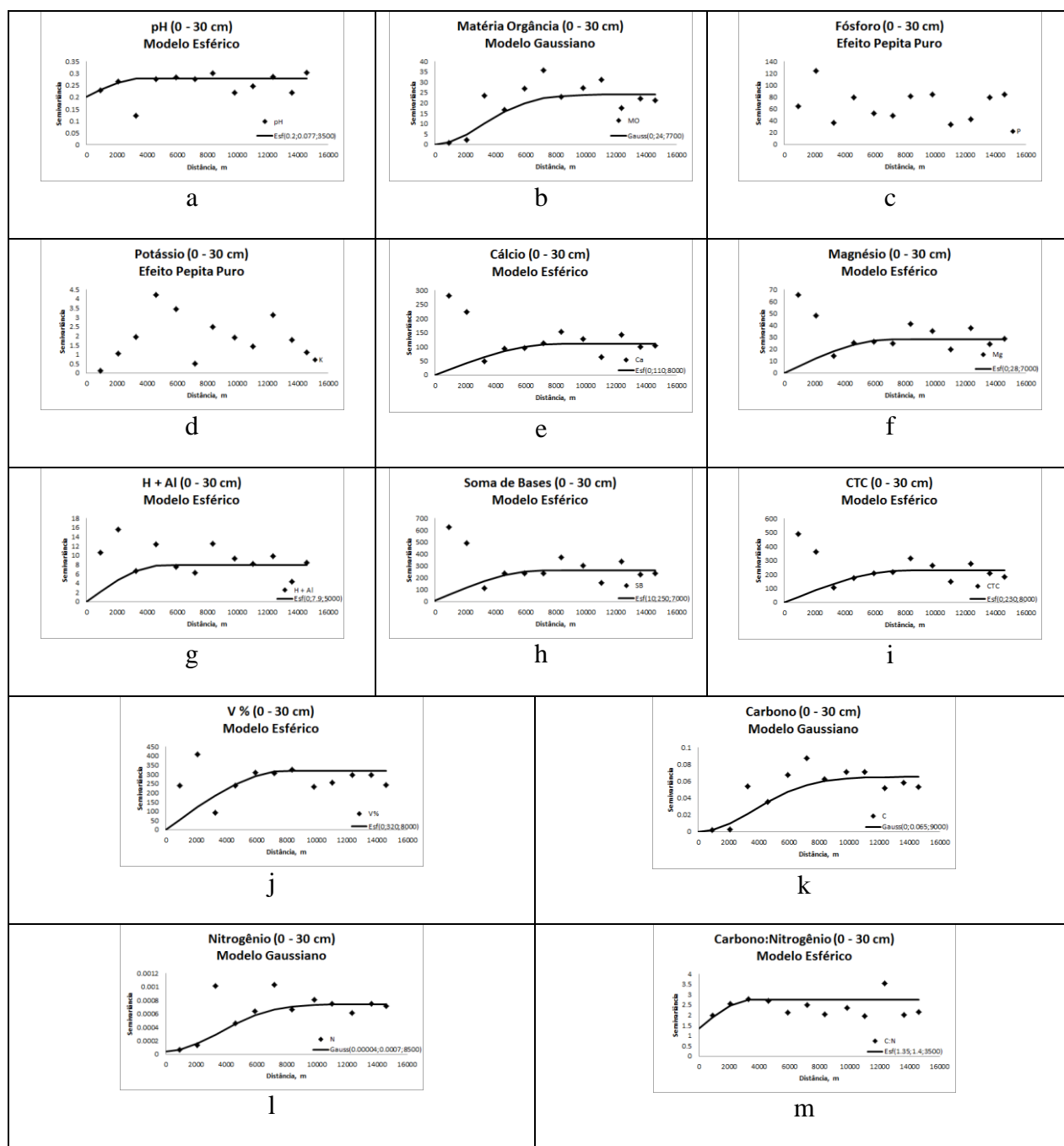
A análise de estatística descritiva (Tabela 1) revela que os dados apresentaram predominantemente distribuição normal e coeficientes de variação altos, o que revela alta variabilidade devido a variação no uso do solo. Os atributos químicos do solo indicaram baixa fertilidade do solo (Tabela 1). Os valores de macronutrientes e matéria orgânica do solo foram na maioria menores do que os apresentados por Grego *et al.* (2012) em solo sob pastagem.

Em relação ao carbono e nitrogênio e relação CN houve baixa variação e normalidade de distribuição de frequência. Segundo Salcedo *et al.* (1985), o aporte de material orgânico com relação C/N alta, proveniente das raízes da pastagem decompostas, conduz a maior atividade de microrganismos decompositores, com grande imobilização do N. Desta forma, a disponibilidade de N sob o solo é maior. Sistemas de pastagens bem manejadas, podem proporcionar o sequestro de carbono da atmosfera via sistema radicular e restos vegetais depositados na superfície do solo. Para a cana-de-açúcar, a imobilização de N é causada pela grande quantidade de palha na superfície do solo (PENATTI, 2013). Contudo, o manejo tanto da pastagem quanto da cana-de-açúcar é fundamental para minimizar perdas de nutrientes e maximizar a eficiência dos mesmos no solo.

**Tabela 1.** Estatística descritiva dos dados de química do solo na profundidade de 0 a 30 cm.

Variável	Média	Variância	Desvio Padrão	Coef. De Variação (CV)	Mínimo	Máximo	Assimetria	Curtose	Teste KS
pH	4,87	0,23	0,48	9,87	4,1	6,2	0,639	0,639	Normal
MO	13,92	24,65	4,97	35,68	6	31,67	1,617	4,075	Normal
P	7,29	55,27	7,43	102	1,333	37	2,642	7,437	Não Normal
K	1,86	2,36	1,54	82,71	0,3667	8,933	3,035	12,480	Normal
Ca	11,09	91,46	9,56	86,22	2,667	52	2,532	8,671	Normal
Mg	5,32	23,74	4,87	91,52	1,667	27	2,979	10,920	Não Normal
H+Al	15,83	7,34	2,71	17,11	9,667	21,67	0,165	0,087	Normal
SB	18,26	215,70	14,69	80,41	5,467	80,97	2,650	8,962	Normal
CTC	34,10	187	13,68	40,11	20,8	90,63	2,406	7,636	Normal
V%	47,20	234,40	15,31	32,44	26	88	0,699	9,28x10 <sup>-5</sup>	Normal
C	0,72	0,07	0,27	37,12	0,3167	1,51	1,410	2,674	Normal
N	0,07	0,0008	0,03	38,38	0,03333	0,1433	1,178	1,141	Normal
C:N	10,29	2,60	1,61	15,66	7,473	14	0,523	-0,055	Normal

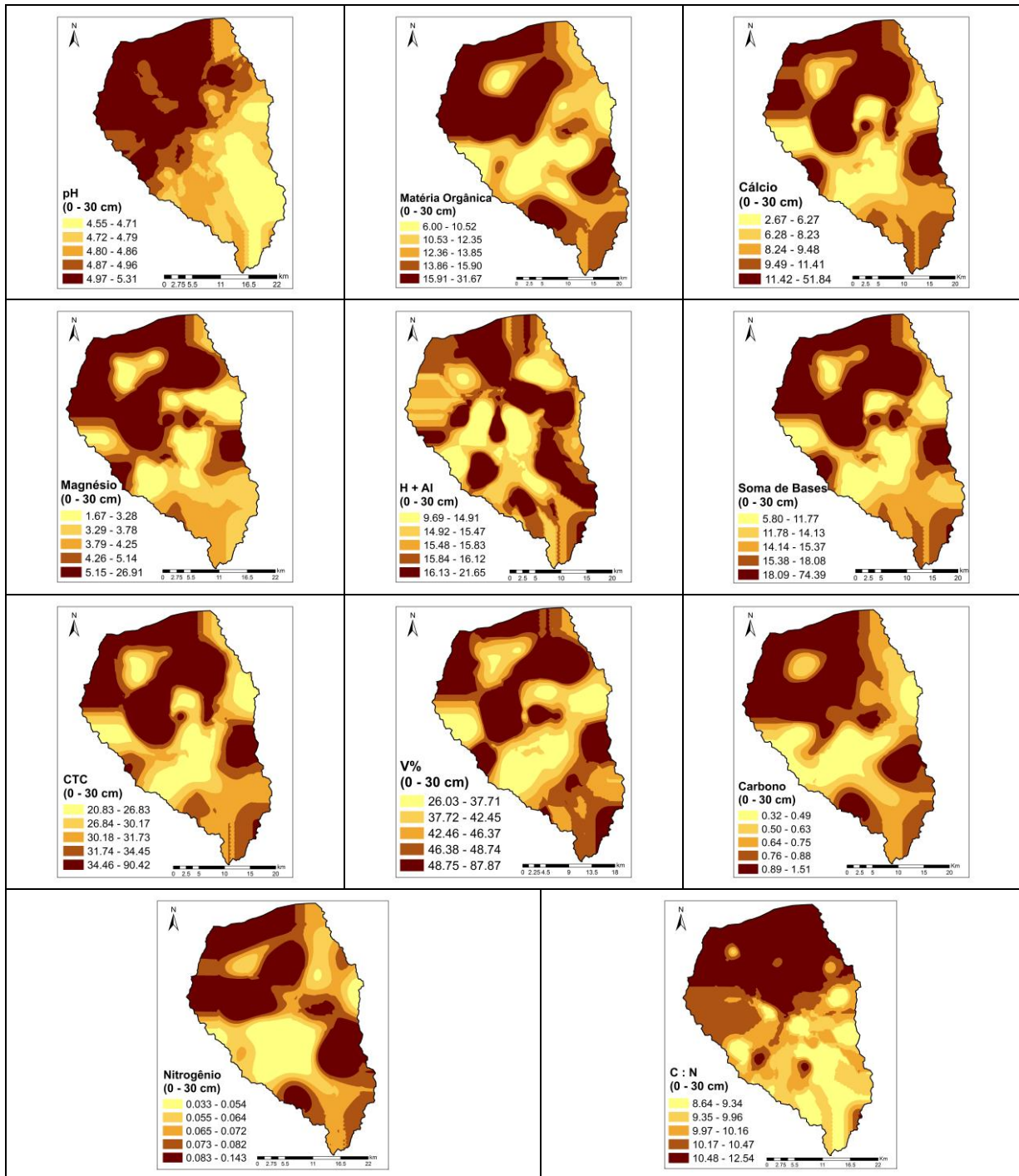
Para a identificação da existência de variabilidade espacial, foram submetidas à análise geostatística por meio do cálculo da semivariância e ajuste de semivariograma (Figura 2). A análise de variabilidade espacial indicou dependência espacial, com exceção para o fósforo e potássio, sendo os ajustes esféricos e gaussianos com alcance de dependência variando de 3500 a 9000 metros, ou seja para distancias maiores os dados não apresentam estrutura de dependência espacial.



**Figura 2.** Semivariograma dos dados de química do solo da profundidade de 0 cm a 30 cm com parâmetros de ajuste (C0, C1 e alcance) e modelo de ajuste.

De acordo com a classificação de Zimback (2001), o grau de dependência foi considerado de moderado a forte com valores variando de 27 a 100%.

Os parâmetros de ajuste foram utilizados para a interpolação usando o método da Krigagem ordinária, que produziu uma interpolação de dados nos locais não amostrados. Uma grade de pontos de 30 x 30 metros foi utilizada para a interpolação. A partir dos valores interpolados foram elaborados os mapas de faixas de valores (Figura 3).

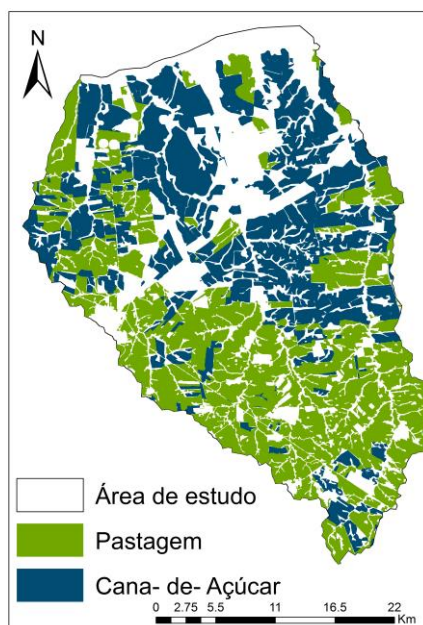


**Figura 3.** Mapas de faixas de valores da profundidade de 0 cm a 30 cm das análises químicas do solo.

Nota-se que ocorre uma maior fertilidade do solo na parte superior em quase todos os mapas. Quando comparados os mapas da Figura 3 com o mapa de uso (Figura 4), é possível

observar uma relação destas manchas de maior fertilidade com o cultivo da cana-de-açúcar, quando comparadas com as manchas em locais onde há predominio de pastagem.

Para a maior relação carbono e nitrogênio a cana-de-açúcar indica mancha de variabilidade espacial com maiores valores em detrimento da pastagem. Isto pode ser devido ao manejo da cultura, onde a grande quantidade de palha na superfície do solo proporcionou este resultado conforme salientado por (PENATTI, 2013).



**Figura 4.** Mapa de cobertura (pastagem e cana-de-açúcar) para área de estudo.

#### 4. Conclusões

Houve dependência espacial para os atributos químicos analisados e os mapas de faixas de valores apresentaram manchas de variabilidade diferentes de acordo com o uso do solo.

No mapa de uso do solo, ocorreram os maiores valores de nutrientes e de carbono e nitrogênio nas áreas de produção de cana-de-açúcar, evidenciando o efeito positivo do manejo da cultura no solo quando comparado com áreas de pastagem para o oeste do estado de São Paulo.

#### Agradecimentos

A Embrapa monitoramento por satélite pela infraestrutura oferecida para pesquisa e ao Pibic CNPq pelo concessão da bolsa de iniciação científica.

#### Referências Bibliográficas

AGUIAR, D. A.; ADAMI, M.; RUDORFF, B. F. T.; SUGAWARA, L. M.; FREITAS, R. M. Avaliação da conversão do uso e ocupação do solo para cana-de-açúcar utilizando imagens de sensoriamento remoto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. (SBSR), 2009, Natal. Anais... São José dos Campos: INPE, 2009. p. 5547-5554. DVD, On-line. ISBN 978-85-17-00044-7. (INPE-15800-PRE/10410).

CAMPO, D. C. **Potencialidade do sistema de colheita sem queima da cana-de-açúcar para o sequestro de carbono**, 2003 117p (10.11606/T.11.2003.tde-26112003-151547). Tese de doutorado – Escola superior de Agronomia Luiz de Queiroz, Piracicaba SP.

GREGO, C. R. et al. Variabilidade espacial do solo e da biomassa epígea de pastagem, identificada por meio de geoestatística. Rev. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 47, n. 9, p. 1404-1412, set. 2012. Disponível em: <<http://seer.sct.embrapa.br/index.php/pub/article/view/11484/8005>>. Acesso em: 16 nov. 2016.

Investe São Paulo, Agronegócio, Cana-de-açúcar. Disponível em: <<http://www.investe.sp.gov.br/setores-de-negocios/agronegocios/cana-de-acucar/>>. Acesso 8.nov.2016.

PENATTI, C. P. Adubação da cana-de-açúcar - 30 anos de experiência. 1. ed. Itu, SP, Brazil: Editora Ottoni, 347p. 2013

RUDORFF, B. F. T.; AGUIAR, D. A.; SILVA, W. F.; SUGAWARA, L. M.; ADAMI, M.; MOREIRA, M. A. Studies on the Rapid Expansion of Sugarcane for Ethanol Production in São Paulo State (Brazil) Using Landsat Data. Remote Sensing. 2010; 2(4):1057-1076. doi: <10.3390/rs2041057>.

SALCEDO, I.M.; SAMPAIO, E.V.S.B. & ALVES, G.D. Mineralização do carbono e do nitrogênio em solo cultivado com cana-de-açúcar. R. bras. Ci. Solo, 9:3-38. 1985.

VIEIRA, S. R.; XAVIER, M.A.; GREGO, C.R.. Aplicações de geoestatística em pesquisas com cana-de-açúcar. In: DINARDO-MIRANDA, L.L., VASCONCELOS, A.C.M. & LANDELL, M.G.A. (Eds). Cana de açúcar . 1 ed. Ribeirão Preto: Instituto Agrônomo, 2008, p. 839-852.

VIEIRA, S.R. Uso de geoestatística em estudos de variabilidade espacial de propriedades do solo. In: NOVAIS, R. F. (Ed.). Tópicos em Ciência do Solo 1. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p.3-87.

VIEIRA, S.R.; MILLETE, J.A.; TOPP, G. C.; REYNOLDS, W.D. Handbook for Geostatistical analysis of variability in soil and meteorological parameters. In: ALVAREZ, V. H. (Ed.). Tópicos em Ciência do Solo 2. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. p.1-45.

ZIMBACK, C.R.L. Análise especial de atributos químicos de solo para o mapeamento da fertilidade do solo. 2001, 114p. Tese de livre docência - Faculdade de Ciências Agrônomicas/Unesp, Botucatu.