

- ALVAREZ, V. V. H.; SCHAEFER, G. R. (Ed.). Tópicos em ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 1, p. 1-54, 2000.
- VISCARRA ROSSEL, R. A. ParLeS: software for chemometric analysis of spectroscopic data. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, v. 90, p. 72-83, 2008.
- XIE, H. T.; YANG, X. M.; DRURY, C. F.; YANG, J. Y.; ZHANG, X. D. Predicting soil organic carbon and total nitrogen using mid-and near-infrared spectra for Brookston clay loam soil in Southwestern Ontario, Canada. Canada Journal Soil Science, v. 91, p. 53-63. 2011.

DESEMPENHO DO SISTEMA SOILGRIDS NA ESTIMATIVA DO CARBONO ORGÂNICO DO SOLO EM DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUÇÃO

A. M. S. Barbosa^{1,*}, J. R. S. C. Moraes², A. C. M. Cidin¹, L. G. Martorano³, S. Crestana⁴

¹ Universidade de São Paulo (EESC/USP), Avenida Trabalhador São Carlense, 400, CEP 13566-590, São Carlos, São Paulo

² Universidade Estadual Paulista (UNESP), Jaboticabal-SP

³ Embrapa Amazônia Oriental, NAPT – Médio Amazonas. Avenida NS 01 A, 98. Bairro Diamantino, CEP 68020-640. Santarém-PA

⁴ Embrapa Instrumentação, Rua 15 de Novembro, 1452, CEP 13560-970, São Carlos, São Paulo

* Autor correspondente, e-mail: aline.m.barbosa@hotmail.com

Resumo: Em prognósticos de mudanças climáticas o desafio científico é apontar indicadores de sustentabilidade em sistemas de produção agrícola. Nesse contexto, o objetivo neste trabalho foi estimar o carbono orgânico do solo (CO) usando o sistema SoilGrids simulando diferentes sistemas de produção. Para avaliação do CO, foi comparado um conjunto de dados de solo em superfície, caracterizados por amostras de 273 perfis e dados do produto SoilGrids para todo território nacional, em diferentes condições de solo tendo a vegetação nativa (VN) como referência e diferentes sistemas de produção, tais como pastagem, Integração Lavoura Pecuária (iLP) e Integração Lavoura Pecuária Floresta (iLPF). A vegetação nativa do banco de dados de solos (superfície), apresentou em médias as maiores concentrações de CO, com aproximadamente 66 g kg⁻¹, sendo que no SoilGrids as estimativas foram de 68 g kg⁻¹ de CO, porém com maiores concentrações no sistema iLP, com 78 g kg⁻¹. Os resultados estimados pelo SoilGrids em comparação com informações do conjunto de dados apresentaram médias superiores aos valores de CO nos diferentes sistemas de manejo do solo. As imagens matriciais obtidas do SoilGrids apresentaram importantes contribuições para estimativas e possíveis modelagem de previsão de CO no solo em escala nacional.

Palavras-chave: modelagem, big data, mudanças climáticas.

PERFORMANCE OF THE SOILGRIDS SYSTEM IN ESTIMATING SOIL ORGANIC CARBON IN DIFFERENT PRODUCTION SYSTEMS

Abstract: In climate change forecasting, the scientific challenge is to point out sustainability indicators in agricultural production systems. In this context, the objective of this work was to estimate soil organic carbon (CO) using the SoilGrids system simulating different production systems. To evaluate the CO, a set of soil surface data was compared, characterized by samples of 273 profiles and SoilGrids product data for the entire national territory, under different soil conditions with native vegetation (NV) as reference and different production systems, such as pasture, Livestock Crop Integration (iLP) and Forest Cattle Crop Integration (iLPF). The native vegetation (NV) of the soil database (surface) presented the highest CO concentrations in averages, with approximately 66 g kg⁻¹, and in SoilGrids the estimates were 68 g kg⁻¹ of CO, but with higher concentrations in the iLP system, with 78 g kg⁻¹. The results estimated by SoilGrids in comparison with information from the data set showed averages higher than the CO values in the different soil management systems. The matrix images obtained from SoilGrids presented important contributions to estimates and possible modeling of CO prediction in the soil on a national scale.

Keywords: modeling, big data, climate change.

1. Introdução

O estoque de carbono no solo, caracteriza-se como o maior reservatório de carbono na

biosfera, atuando como um importante controlador na concentração de CO₂ atmosférico e desempenhando um importante papel no ciclo do carbono (DAVIDSON; JANSSENS, 2006; LAL, 2004). Pequenas mudanças no estoque de carbono podem alterar as concentrações de CO₂ na atmosfera, onde os maiores aportes em sistemas de produção podem mitigar os impactos sob condições de clima atual e, em cenários de mudanças climáticas (CHEN et al., 2018).

O Brasil é um dos principais países produtores e exportadores de *commodities* agrícolas e com a expansão agrícola aumenta a preocupação com a demanda de CO₂ oriundas de diferentes manejos do solo em sistema de produção. Visto que os estoques de carbono no solo apontam presença e decomposição da matéria orgânica, especialmente na camada superficial (0–30 cm) (BUI et al., 2009).

Apesar da importância dada ao solo como grande reservatório de carbono, os recursos para coletar novas amostras de solo para todo o território em muitos países são limitados, especialmente nos países em desenvolvimento, como o Brasil, permanecendo assim, uma incerteza quanto a extensão do estoque nacional e sua distribuição espacial em diferentes solos, clima, organismos, material parental e sistemas de produção.

Para superar essa limitação na disponibilidade de informações de dados, os produtos do SoilGrids visam fornecer estimativas globais para propriedades numéricas de padrão do solo como (carbono orgânico, densidade aparente, capacidade de troca catiônica (CTC), pH, frações de textura do solo e fragmentos grossos) em sete profundidades padrão (0, 5, 15, 30, 60, 100 e 200 cm) em escala de 250 m (HENGL et al., 2017). Sendo importante avaliar a acurácia e precisão dessas informações para possível validação do seu uso em escala nacional.

Liang et al. (2019) descreveram a modelagem espacial tridimensional de mapas de carbono orgânico do (CO) em diferentes profundidades para China, a partir do projeto GlobalSoilMap (GSM), utilizando fontes do SoilGrids, XGBoost e HWSO. Esses autores observaram a importância das variáveis do produto do SoilGrids para modelagem de CO em escala nacional. Concluindo que o conteúdo de CO das terras cultiváveis foi inferior ao das florestas e pastagens, com intervalo do coeficiente de determinação para as diferentes profundidades variando de 0,35 a 0,02.

Na literatura, inúmeras técnicas como floresta aleatória; Regressão linear múltipla; rede neural artificial e outros foram aplicadas nas estimativas de carbono usando diferentes variáveis de entrada. Nota-se que existe potencial de uso dos produtos do SoilGrids como modelos preditivos de carbono orgânico do solo. Portanto, objetivou-se neste trabalho avaliar o desempenho do sistema SoilGrids em estimar o carbono orgânico do solo testando diferentes sistemas de produção.

2. Materiais e Métodos

2.1. Descrição dos dados de superfície

Para avaliação do carbono orgânico do solo (CO) foi obtido um conjunto de dados de solo em superfície de 273 perfis, derivados de um banco de informações de solos brasileiros (CIDIN, 2016). Os perfis de solo foram avaliados na camada de 0-30 cm, para diversos locais e sistemas de manejo (Figura 1).

2.2. Descrição dos dados SoilGrids

Obteve-se dados do produto SoilGrids (HENGL et al., 2017) para todo território nacional, extraindo-se as informações de CO nos mesmos pontos de perfis de solo do conjunto de dados. O SoilGrids fornece estimativas para diferentes propriedades do solo, em sete níveis de profundidade (0, 5, 15, 30, 60, 100 e 200 cm) com resolução espacial de 250 m. Foram obtidas imagens matriciais nas profundidades de 0-5-15 e 30 cm, aplicando-se um somatório nas imagens matriciais para obtenção de perfis na camada de 0-30 cm.

Os dados de CO do conjunto de dados foram comparados com informações do produto SoilGrids em diferentes sistemas de manejo do solo, sendo, vegetação nativa (VN), pastagem, Integração Lavoura pecuária (iLP) e Integração Lavoura Pecuária Floresta (iLPF).

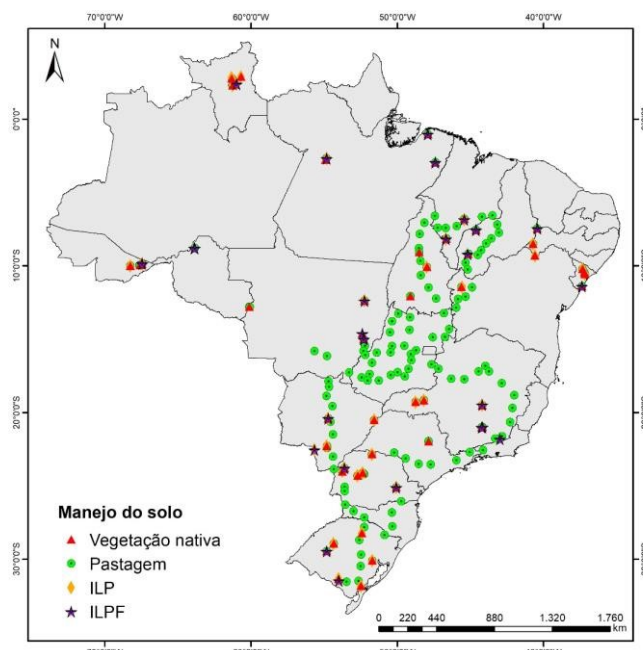


Figura 1. Mapa de distribuição espacial dos dados de carbono orgânico do solo, disponível em diferentes manejos.

2.3. Avaliação estatística

Para avaliar a performance nas estimativas de CO do produto SoilGrids, em comparação as informações do conjunto de dados em superfície, foi obtido o ajuste linear por meio do Coeficiente de determinação (R^2), Erro sistemático (Es) e Erro porcentual absoluto médio (MAPE) equação (1, 2 e 3) respectivamente.

$$R^2 = \frac{SQR}{SQT} = \frac{\sum_{i=1}^N (Yest_i - \bar{Y})^2}{\sum_{i=1}^N (Yobs_i - \bar{Y})^2} \quad (1)$$

$$Es = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Yobs_i - \bar{Y})^2}{N}} \quad (2)$$

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^N \left(\left| \frac{Yest_i - Yobs_i}{Yobs_i} \right| \times 100 \right)}{N} \quad (3)$$

Sendo: Yest: variáveis estimadas; Yobs; variáveis observadas; Y: média das variáveis observadas; N; número de variáveis.

3. Resultados e Discussão

Como a vegetação nativa (VN) foi a referência para o conjunto de dados em superfície, notam-se as maiores concentrações de CO, com aproximadamente 66 g kg^{-1} . Ao simular no SoilGrids para o sistema iLP os valores foram de 68 g kg^{-1} de CO, porém com maiores concentrações no sistema iLP, com 78 g kg^{-1} (Figura 2).

Os dados do produto SoilGrids em comparação com informações do conjunto de dados superestimou em média os valores de CO nos diferentes sistemas de manejo do solo (Figura 2). Contudo, observa-se que os valores máximos de CO são obtidos nos dados de superfície, com valores que chegam a quase 250 g kg^{-1} no sistema de pastagem.

O SoilGrids foi mais conservador na variação de CO nos diferentes sistemas de manejo, apresentando menores desvios padrões, principalmente nos sistemas de vegetação nativa, pastagem e iLPF, com pequena diferença de amplitude entre seus valores máximos.

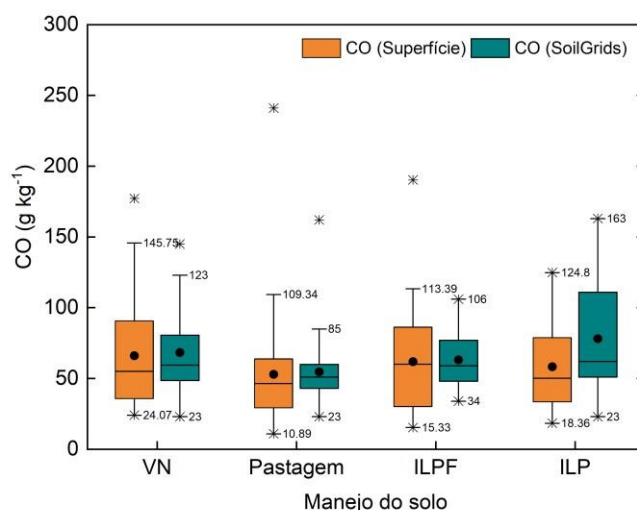


Figura 2. Variação do CO (g kg^{-1}) simulado usando diferentes manejo do solo e dados de VN (Vegetação Nativa), Pastagem, iLPF (Interação Lavoura Pecuária Floresta), iLP (Integração Lavoura pecuária).

Entre os sistemas de manejo do solo, a pastagem apresentou melhor desempenho na estimativa de CO, com medidas de precisão (R^2) igual a 0,51, acurácia (MAPE) de 45,49 e tendência (Es) de 19,61. De forma inversa, o sistema de manejo iLPF obteve os menores desempenhos, com R^2 igual a 0,10, MAPE de 73,86 e Es de 35,77 (Figura 3). Liang et al. (2019), avaliando a modelagem espacial de mapas de CO na China, preditos de diferentes bases, XGboost, SoilGrids e HWSD, também observaram superestimativas nas estimativas pelo SoilGrids.

Mulder et al. (2016) reconheceram que, para muitas áreas ao redor do mundo, as estimativas das propriedades do solo geradas localmente, provavelmente seriam significativamente mais precisas do que as estimativas do SoilGrids, pois os modelos locais podem empregar dados de covariáveis adequados para explicar especificamente a variabilidade do solo sob condições locais, como condições climáticas, cobertura e manejo do solo e outros.

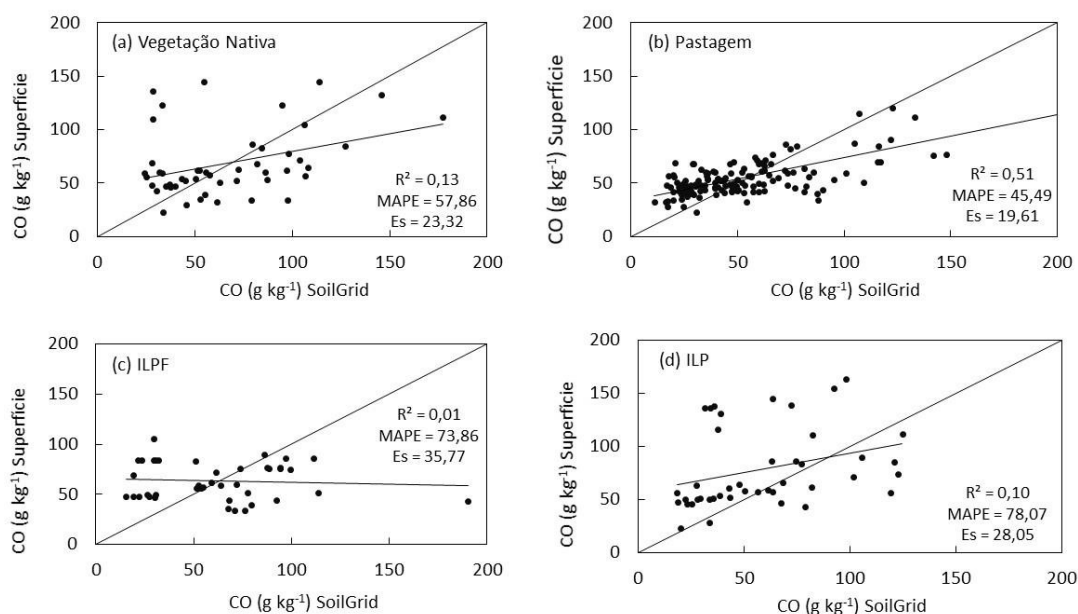


Figura 3. Desempenho do modelo SoilGrids na estimativa do CO (g kg^{-1}) nos diferentes manejos. a) Vegetação Nativa, b) Pastagem, c) ILPF, d) ILP.

4. Conclusões

O desempenho da estimativa do SoilGrids diminuiu com o uso de sistemas integrados no manejo do solo como o iLPF e iLP. As imagens matriciais obtidas do SoilGrids apresentaram importantes contribuições para estimativas e possíveis modelagens de previsão de CO no solo em escala nacional.

O SoilGrids fornece informações importantes que podem subsidiar na formulação de políticas em termos de gerenciamento de terras e produção de alimentos.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo ao primeiro autor. À Embrapa Instrumentação pelo suporte técnico à pesquisa.

Referências

- BUI, E.; HENDERSON, B.; VIERGEVER, K. Using knowledge discovery with data mining from the Australian Soil Resource Information System database to inform soil carbon mapping in Australia. *Glob. Biogeochem. Cycles* 23 (4) (n/a-n/a). 2009.
- CIDIN, A.C.M. Estoque de carbono em solos brasileiros e potencial de contribuição de mitigação de emissões de gases de efeito estufa. 2016. 76 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura e Ambiente) - Universidade Federal de São Carlos, Araras, 2016.
- CHEN, S.; MARTIN, M.P.; SABY, N.P.; WALTER, C.; ANGERS, D.A.; ARROUAYS, D. Fine resolution map of top-and subsoil carbon sequestration potential in France. *Sci. Total Environ.* 630, 389–400. 2018a.
- DAVIDSON, E.A.; JANSSENS, I.A. Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. *Nature* 440 (7081), 165–173. 2006.
- GOMES, L. C.; FARIA, A. M.; SOUZA, E.; VELOSO, G. V.; SCHAEFER, C. E. G.R.; FERNANDES FILHO, E. I. Modelling and mapping soil organic carbon stocks in Brazil. *Geoderma*. 2019.
- HENGL, T.; DE JESUS, J.M.; HEUVELINK, G.B.M.; GONZALEZ, M.R.; KILIBARDA, M.; BLAGOTIĆ, A.; SHANGGUAN, W.; WRIGHT, M.N.; GENG, X.; BAUER-MARSCHALLINGER, B.; GUEVARA, M.A.; VARGAS, R.; MACMILLAN, R.A.; BATJES, N.H.; LEENAARS, J.G.B.; RIBEIRO, E.; WHEELER, I.; MANTEL, S.; KEMPEN, B. Soilgrids250m: global gridded soil information based on machine learning. *PLoS One* 122, e0169748. 2017.
- LAL, R.. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma* 123 (1–2), 1–22. 2004.
- MULDER, V.; LACOSTE, M.; DE FORGES, A.R.; ARROUAYS, D. GlobalSoilMap France: highresolution spatial modelling the soils of France up to two meter depth. *Sci. Total Environ.* 573, 1352–1369. 2016.
- ZONGZHENG, LIANG.; SONGCHAO, CHEN.; YUANYUAN, YANG.; YUE, ZHOU.; ZHOU, SHI. High-resolution three-dimensional mapping of soil organic carbon in China: Effects of SoilGrids products on national modeling. *Science of the Total Environment* 685. 480–489. 2019.

**PREDIÇÃO DE FÓSFORO ADSORVIDO UTILIZANDO A SUSCETIBILIDADE
MAGNÉTICA EM SOLOS SOB CULTIVO DE CANA-DE-AÇÚCAR**

Katharine Viana Batista^{1,*}, Luciane Gomes da Silva¹, Aline Ferreira Moreno¹, Valter Barbosa dos Santos¹, Gustavo André de Araújo Santos¹, Gener Tadeu Pereira¹

¹ Unesp/Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, Via de Acesso Professor Paulo Donato Castellane Castellane S/N, 14884-900, Jaboticabal, São Paulo

* Autor correspondente, e-mail: ktbatista@hotmail.com

Resumo: O fósforo é considerado um nutriente que limita o desenvolvimento da cultura de cana-de-açúcar em solos brasileiros. Além disso, apresenta grande variabilidade espacial devido aos atributos que influenciam sua adsorção ao solo. O objetivo do trabalho foi mapear o fósforo adsorvido (P_{ads}) com o auxílio da susceptibilidade magnética (SM) e definir a proporção amostral para a caracterização da dependência espacial do P_{ads} . Foram coletadas 371 amostras na profundidade de 0-0,25 m, totalizando 870 ha. Em cada ponto amostral determinou-se a SM e o P_{ads} . Os dados foram analisados a partir da estatística descritiva e da geoestatística. A co-krigagem foi utilizada para a confecção dos mapas de P_{ads} e SM, definindo as quatorze proporções amostrais. A acurácia das estimativas foi obtida por meio da validação externa e a Raiz Quadrada do Erro Médio (RMSE). A partir disso, conclui-se que o P_{ads} apresenta dependência espacial com a SM, indicando seu uso no mapeamento e na identificação de áreas com diferentes potenciais de adsorção de fósforo, e a técnica de interpolação com co-krigagem utilizando a SM funciona até a proporção amostral 6 pontos por hectare, ou seja, para cada ponto de P_{ads} pode-se utilizar até 5 pontos de SM.

Palavras-chave: Geoestatística, Krigagem ordinária, Proporção amostral.

***ADSORVED PHOSPHORUS ESTIMATION USING MAGNETIC SUSCEPTIBILITY IN
SUGARCANE CULTIVATION AREAS***

Abstract: Phosphorus is considered one of the nutrients that limit the development of sugarcane crop in Brazilian soils. Moreover, it presents great spatial variability due to the attributes that influence its adsorption to the soil. The objective of this work was to map the adsorbed phosphorus (P_{ads}) with the aid of magnetic susceptibility (SM) and to define the sample proportion for the characterization of P_{ads} spatial dependence. 371 samples were collected at a depth of 0-0.25 m, with the area of 870 ha. At each sampling point the susceptibility SM and the P_{ads} were determined. Data were analyzed using descriptive statistics and geostatistics. Co-kriging was used to make the P_{ads} and SM maps, defining the fourteen sample proportions. The accuracy of the estimates was obtained through external validation and the Square Root Mean Error (RMSE). From this, it is concluded that the P_{ads} has spatial dependence with MS, indicating its use in mapping and identification of areas with different phosphorus adsorption potentials, and the co-kriging interpolation technique using MS works until Sample rate 6 points per hectare, that is, for each point of P_{ads} up to 5 points of SM can be used.

Keywords: Geostatistics, Ordinary kriging, Sample proportion.

1. Introdução

O fósforo é um macronutriente decisivo no desenvolvimento das plantas. Limitações na disponibilidade de fósforo (P) no início da estação de crescimento (ciclo vegetativo) podem resultar em restrições ao seu desenvolvimento, e podem não se recuperar mais tarde, mesmo aumentando o suprimento de P para níveis adequados. (KRUSE et al., 2015). Os solos brasileiros são no geral pobres em fósforos e isso é devido ao processo de dessorção ao solo que o fósforo apresenta, e isso por meio da dessorção e precipitação (GARCIA et al., 2011). O baixo conteúdo

de (P) nos solos tropicais é uma característica atribuída a escassez deste elemento no material de origem bem como aos avançados processos de pedogênese desses solos (FINK et al., 2016). Vários estudos ressaltam que solos de textura arenosa apresentam baixo potencial de fixação de P, já que a areia é praticamente desprovida de carga de superfície. A forte retenção de P em solos argilosos deve-se a maior área de superfície específica e a quantidade de sítios adsorptivos (SIMÕES NETO et al., 2009). Diante disso, o mecanismo de adsorção de P é regido por processos físico-químicos, de interações eletrostáticas (GOMES et al., 2017). A caracterização da variabilidade espacial do P pelos métodos convencionais torna-se inviável. Entre as dificuldades destaca-se o grande número de amostras necessária, mão-de-obra e análises laboratoriais, e ainda a morosidade dos resultados analíticos. a relação custo-benefício- tempo impossibilita o conhecimento do padrão espacial de P pelos métodos clássicos. Uma alternativa tem sido a adoção de métodos indiretos, como por exemplo a utilização da suscetibilidade magnética (SM) e métodos estatísticos, como a geoestatística (SIQUEIRA et al., 2010; PELUCO et al., 2013; GOMES et al., 2017). Modelagem matemática para estimar atributos de difícil obtenção a partir de dados de fácil obtenção são denominadas de pedotransferência (NASCIMENTO et al., 2010b). Neste propósito, pode-se utilizar a SM para avaliar determinados atributos do solo, de maneira simples, sem impacto ambiental, e de custo considerado baixo, além de ser um procedimento rápido de ser realizado (BAHIA et al., 2015). Essa técnica é utilizada como indicador geofísico, no intuito de mapear áreas de gerenciamento distintas e estimar diferentes propriedades do solo (CAMARGO et al., 2014, 2016). Considerando que a SM está relacionada aos minerais que adsorvem fósforo, esta pode ser utilizada como uma variável auxiliar na precisão de mapas (PELUCO et al., 2015; MATIAS et al., 2015). Portanto a hipótese do presente estudo é que a SM pode ser utilizada para prever o P_{ads} em solo sob cultivo de cana-de-açúcar, tendo como objetivo do estudo mapear o P_{ads} com o auxílio da SM do solo.

2. Material e Métodos

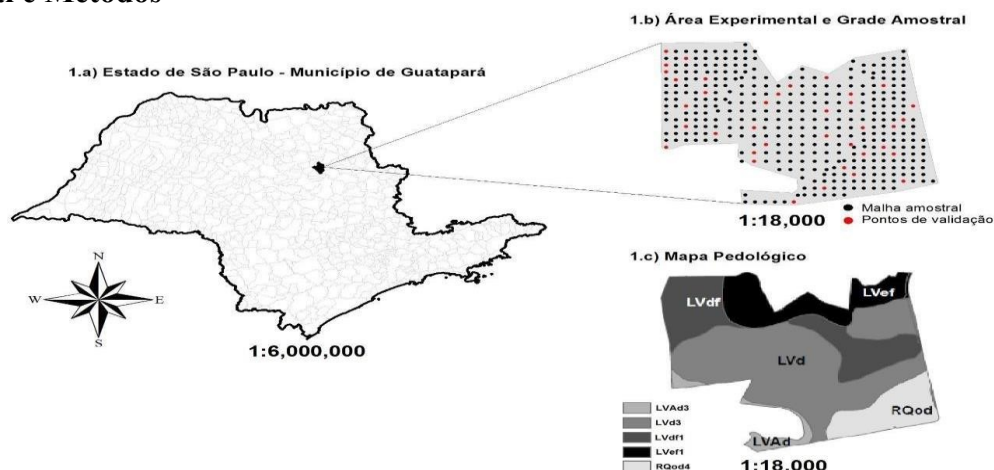


Figura 1. Localização da área de estudo(1a); Malha amostral(1b); Mapa pedológico(1c)

A pesquisa foi realizada partir de um banco de dados que fazem parte do banco de dados do grupo de pesquisa Caracterização do Solo para fins de manejo Específico (CSME). Na área experimental foi instalada uma malha de amostragem regular contendo 371 pontos com separação entre as amostras de 145 m a 174 m, abrangendo uma área total de aproximadamente 870 ha. A proporção amostral inicial foi de 1 ponto a cada 2,6 ha.

2.1 Análises Laboratoriais

A SM foi quantificada em aparelho Bartington MS2, acoplado ao sensor Bartington MS2B seguindo metodologia descrita por (DEARING, 1994) em baixa frequência (0,47 kHz). Para determinar os valores de P_{ads} utilizou-se a metodologia descrita por (FASSBENDER e IGUE 1967).

2.2 Análises geoestatísticas

As análises geoestatísticas foram realizadas nos programas estatísticos GS+ 10 (version 9.0; Gamma Software Design, 2008) Surfer 9 version 9.0; Golden Software, 2009) e R software (R development Core Team, 2018). Os dados foram submetidos à estatística descritiva (média, mediana, erro padrão, coeficiente de variação, mínimo, máximo, coeficiente de assimetria e curtose). O CV foi classificado com base no critério de Warrick e Nielsen (1980). A dependência espacial do P_{ads} e da SM foram estimadas por meio dos variogramas experimentais (SOARES, 2006). A krigagem ordinária foi utilizada para a obtenção dos mapas de padrões espaciais do Fósforo adsorvido (ISAAKS e SRIVASTAVA, 1989).

3. Resultados e Discussão

As estatísticas descritivas referentes as 14 proporções amostrais avaliadas (Tabela 1) apresentaram valores de CV alto segundo Warrick e Nielsen (1980) é considerado alta variabilidade espacial ($CV > 24\%$), portanto as proporções amostrais com o CV mais alto foram: a proporção amostral 4ha com $CV = 34,49\%$, 5ha com $CV = 33,91\%$ e 7ha com $CV = 33,84\%$. Essa alta variabilidade da SM reflete a grande sensibilidade deste atributo para indicar processos pedogenéticos.

Tabela 1. Estatística descritiva para o Fósforo adsorvido (P_{ads}) nas densidades amostrais avaliadas.

Variáveis	N	Média	Mediana	EP	Min	Max	CV	Ass	Curt
2,6	308	506,67	1384,0	9,49	101,49	931,07	32,85	0,34	0,47
3	266	504,48	469,3	10,41	101,49	931,07	33,66	0,33	-0,48
4	201	495,66	463,2	12,06	101,49	931,07	34,49	0,32	-0,38
5	162	489,67	462,8	11,71	106,91	931,07	33,91	0,44	-0,26
6	136	499,87	462,9	13,11	106,91	931,07	33,37	0,43	-0,25
7	118	490,88	462,2	14,24	106,91	931,07	33,84	0,45	-0,13
8	103	485,01	455,6	15,62	106,91	918,29	33,76	0,40	-0,16
9	91	482,96	454,0	16,99	158,23	918,29	33,54	0,46	-0,31
10	82	495,53	459,2	17,49	162,14	918,29	31,96	0,48	-0,33
11	75	496,62	464,7	18,80	162,14	918,29	32,78	0,44	-0,44
12	69	498,40	464,7	19,84	162,14	918,29	33,04	0,46	-0,44
13	64	499,11	465,8	20,30	162,14	918,29	32,54	0,48	-0,43
14	59	500,05	467,0	22,77	162,14	918,29	33,43	0,46	-0,54
15	55	493,75	464,7	22,35	162,14	918,29	33,54	0,50	-0,44

EP=erro padrão da média; CV= coeficiente de variação (%); Min = mínimo; Max = máximo; assi= coeficiente de assimetria; curt=curtose

Foram ajustados ao modelo esférico os variogramas simples da SM e P_{ads} para a proporção amostral 2,6ha (Figura 2), o mesmo reflete uma pequena variação na pequena escala da variável estudada, corroborando os resultados de (CAMARGO et al. 2014; PELUCO et al.2015). Marques Junior et al. (2014) também verificaram ajustes dos variogramas de SM ao modelo esférico.

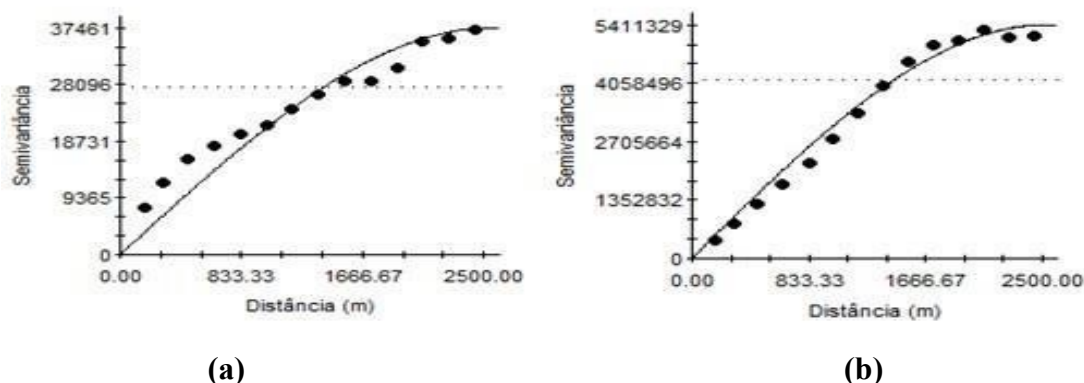


Figura 2. Variograma experimental do Fósforo adsorvido- P_{ads} (a) e suscetibilidade magnética-SM (b).

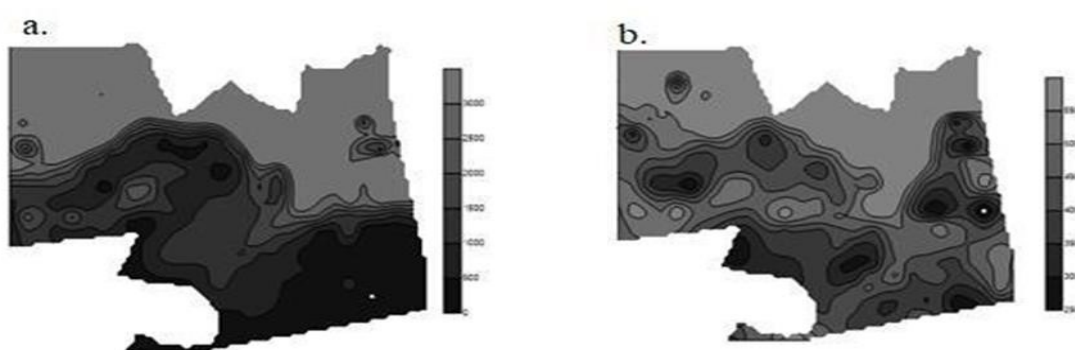


Figura 3. Mapas de padrão espacial da suscetibilidade magnética $10^{-8}m^3kg^{-1}$ (a) e Fósforo adsorvido $mg\ dm^3$ (b) na proporção amostral 2.6ha

Os mapas de padrão espacial foram obtidos a partir dos variogramas cruzados estimados para as proporções amostrais avaliadas (Figura 3). O que pode ser confirmado pelo sentido das isolinhas observadas nas classes dessa variabilidade existente (LEÃO et al., 2011).

4. Conclusões

O fósforo adsorvido apresenta dependência espacial com suscetibilidade magnética, indicando que é útil para auxiliar o mapeamento e identificação de áreas com diferentes potenciais de adsorção de fósforo.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Ao grupo de pesquisa de Caracterização do solo para fins de manejo específico (CSME)

Referências

- BAHIA, A.S.R.S.; MARQUES JÚNIOR, J.; SIQUEIRA, D.S. Procedures using diffuse reflectance spectroscopy for estimating hematite and goethite in Oxisols of São Paulo, Brazil. *Geoderma regional* 5:150-156. 2015b.
- CAMARGO, L.A.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G.T.; BAHIA, A.S.R.S. Clay mineralogy and magnetic susceptibility of Oxisols in geomorphic surfaces. *Scientia Agricola* 3(71): 244-256. 2014.
- CAMARGO, L.A.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G.; ALLEONI, L.R.F.; BAHIA, A.S.R.S.; TEIXEIRA, D.B. Pedotransfer functions to assess adsorbed phosphate using iron oxide content and magnetic susceptibility in an Oxisol. *Soil Use and Management* 32(2):172–

82. 2016.

- KRUSE, J.; ABRAHAM, M.; AMELUNG, W.; BAUM, C.; BOL, R.; KÜHN, O.; LEWANDOWSKI, H.; NIEDERBERGER, J.; OELMANN, Y.; RÜGER, C.; SANTNER, J.; SIEBERS, M.; SIEBERS, N.; SPOHN, M.; VESTERGREN, J.; VOGTS, A.; LEINWEBER, P. Innovative methods in soil phosphorus research: a review. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 1:43-88.2015.
- GARCIA, R.A.; MERLIN, A.; TOLEDO, M.Z.; FERNANDES, D. M.; CRUSCIOL, C. A. C.; BÜLL, L. T. Desenvolvimento da aveia branca e disponibilidade de fósforo em razão da aplicação de silicato de potássio. *Revista Ceres*, v.58, p.831-837, 2011.
- FINK, J.R.; INDA, V.A.; TIECHER, T.; BARRÓN, V. Iron oxides and organic matter on soil phosphorus availability. *Ciência e Agrotecnologia* 40: 369-379. 2016.
- Gamma Design Software. GS+ Geostatistics for the Enviromental Sciences, Version 9.0. Gamma Design Software, Plainwell, MI, USA. 2008.
- Golden Software. Surfer for Windows: Surface Mapping System; Version 9.11.947. Golden Software, New York, NY, USA.2009.
- GOMES, R.P.; CAMPOS, M.C.C; RODRIGUES, M.D.; PINHEIRO, D.M.; CUNHA, J.M; FRANCISCON, U.; SILVA, L.S.; OLIVEIRA, I.A; BRITO, W.B.M.Spatial Variability of Aggregates and Organic Carbon Under Three Different Uses of Indian Black Earth in Southern Amazonas. *Bioscience Journal* 33: 1513-1522.2017.
- Isaaks, E.H. & Srivastava, R.M..An introduction to applied geoestistics. New York, **Oxford University Press** 561p.1989.
- SIMÕES NETO , DE OLIVEIRA, A.C; FREIRE, F.J.; FREIRE, M.B.G.; DO NASCIMENTO, C.W.A.; DA ROCHA, A.T. Extração de fósforo em solos cultivados com cana-deaçúcar e suas relações com a capacidade tampão. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 13:840-848.2009.
- SIQUEIRA, D.S.; MARQUES JÚNIOR, JR.; MATIAS, S.S.R.; BARRÓN, V.; TORRENT, J.; BAFFA, O; OLIVEIRA, L.C.Correlation of properties of Brazilian Haplustalfs with magnetic susceptibility measurements. *Soil Use and Management* 26: 425-431. 2010.
- NASCIMENTO, G.B.; ANJOS, L.H.C.; PEREIRA, M.G.; FONTANA, A.; SANTOS, H.G. Funções de pedotransferência do conteúdo de água em Latossolos Amarelos e Argissolos Amarelos. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias* (4) 5: 560-569. 2010.
- PELUCO, R.G.; MARQUES JÚNIOR, JR.; SIQUEIRA, D.S.; PEREIRA, G.T.; BARBOSA, R.S.; TEIXEIRA, D.D.B.Mapeamento do fósforo adsorvido por meio da cor e da suscetibilidade magnética do solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. Brasília 50: 259-266.2015.
- PELUCO, R.G.; MARQUES JÚNIOR, JR.; SIQUEIRA, D.S.; CORTEZ, L.A. Magnetic susceptibility in the prediction of soil attributes in two sugarcane harvesting management systems. *Engenharia Agrícola*. 33: 1134-1143.2013.
- R Development Core Team. R Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.2018.
- 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 350.1980.

**MEDIDA DE COMPRIMENTO DE SARCÔMERO DE CARNE BOVINA POR
MICROSCOPIA DE FORÇA ATÔMICA.**

Rubens Bernardes Filho^{1,*}, Victor Seabra², Lucimara Aparecida Forato¹, Paulo Orlandi Lasso¹,
Fabiano Okumura³, Renata Tieko Nassu³.

¹ Embrapa Instrumentação, Rua Quinze de novembro, 1452, CEP 13561-206, São Carlos, SP,

² Instituto de Química de São Carlos - USP

³ Embrapa Pecuária Sudeste, Rodovia Washington Luiz, Km 234 s/nº, Fazenda Canchim, Caixa Postal: 339, CEP 13560-970, São Carlos

* Autor correspondente, e-mail: rubens.bernardes@embrapa.br

Resumo: O sarcômero é a unidade contrátil do músculo e tem papel importante na qualidade da carne. O seu comprimento pode sofrer variação durante os processos envolvidos na produção da carne bovina, principalmente no manejo pós abate, durante o resfriamento, onde pode ocorrer o fenômeno do "encurtamento pelo frio", associado à perda de qualidade da carne. A microscopia de força atômica (MFA) é uma técnica que permite obter a topografia de superfícies de amostras em escalas micrométricas e nanométricas com precisão e detalhes, que não são possíveis de se obter por microscopia eletrônica ou óptica. Neste trabalho é apresentada uma metodologia simples de preparação de amostras de sarcômeros para medida de seu comprimento utilizando microscopia de força atômica. Os sarcômeros obtidos das amostras de carne, coletadas após o resfriamento das carcaças, apresentaram comprimento médio de 1,76 µm, mensurados por esta técnica.

Palavras-chave: Sarcômero, Microscopia de Força Atômica, Carne Bovina, Comprimento

**MEASUREMENT OF BEEF SARCOMERE LENGTH USING ATOMIC FORCE
MICROSCOPY**

Abstract: The sarcomere is the contractile unit of the muscle and plays an important role on meat quality. Its length may vary during processes involved in beef production, mainly after slaughtering, where the "cold shortening" phenomenon may occur, associated with loss of meat quality. Atomic force microscopy is a technique that allows to obtain surface topography samples micrometer and nanometer scales accurately and details that are not possible to obtain by electron or optical microscopy. This study presents a simple method of preparing samples for sarcomere length measurement using atomic force microscopy. The sarcomeres obtained from beef after cooling of carcasses had an average length of 1.76 µm, measured by this technique.

Keywords: Sarcomere, Atomic Force Microscopy, Beef, Length.

1. Introdução

Existem vários fatores que influenciam diretamente a qualidade da carne bovina que chega ao consumidor, e, dentre eles podem ser citados: idade, peso, sexo, grupo genético, e manejo pré e pós abate. Uma informação importante para análises ou para acompanhamento desses processos é a medida do comprimento do sarcômero que é a unidade contrátil do músculo, responsável pela contração e expansão muscular. Quando ele sofre encurtamento há a tendência da carne tornar-se mais rígida (ERTBJERG & POULANNE, 2017; HOPKINS & THOMPSON, 2001). Entretanto, além do comprimento, outras dimensões podem variar e é necessário considerar outras variáveis envolvidas no processo. Conhecer tanto as dimensões quanto a morfologia dos sarcômeros podem auxiliar no melhor controle nas etapas de produção da carne.

O comprimento do sarcômero é usualmente mensurado pelas técnicas de microscopia por contraste de fase ou difração de raios laser, mas podem ser sujeitas a erros e não fornecem dados de