

Variabilidade espacial de atributos químicos do solo a partir de diferentes malhas amostrais em duas safras agrícolas

Eraldo Fernandes Leandro Junior¹, Ricardo Manoel Cordeiro da Cunha², Jackeline Matos do Nascimento³, Sálvio Napoleão Soares Arcoverde⁴, Mateus Luiz Secretti⁵

DOI: <https://doi.org/10.35699/2447-6218.2020.25115>

Resumo

O trabalho foi desenvolvido com o objetivo de estudar a variabilidade espacial da fertilidade do solo na cultura da soja (*Glycine max (L.) Merrill*) em um Latossolo Vermelho Distrófico. As amostras de solo foram coletadas com auxílio do aplicativo de *smartphone* C7 GPS Dados e C7 GPS Malha. No primeiro ano, fez-se uso de uma grade amostral de 1:3 na malha de amostragem e no ano posterior esta grade amostral foi de 1:5. No primeiro ano agrícola, foi necessário um manejo mecânico do solo com sua correção. Em ambos os anos agrícolas, coletas e análises foram feitas antes da implantação da cultura da soja, e de posse destes dados foram realizados a análise exploratória, que teve como objetivo realizar o cálculo de estatística descritiva. Para a classificação da variabilidade dos atributos analisados foi utilizado o coeficiente de variação (CV), e aplicada a geoestatística, com a qual foram ajustados modelos matemáticos tendo como critérios o maior coeficiente de determinação (R^2) e menor soma de quadrados de resíduos para um melhor ajuste de semivariograma. A redução da densidade amostral de 1:3 com alcance máximo de 173 m para 1:5 com alcance máximo de 223 m, mostrou-se viável atestado pela geoestatística, mantendo sua alta precisão, forte dependência espacial e reduzindo o custo.

Palavras-Chave: Dependência espacial. Geoestatística. Krigagem. Latossolos. Semivariogramas.

Spatial variability of soil chemical attributes from different sampling grid in two agricultural seasons

Abstract: This research had as objective the study of spatial variability of chemical properties of the soil soybean culture (*Glycine max (L.) Merrill*) in a typic haplorthox. The soil samples were collected with the aid of *smartphone* app C7 GPS Dados e C7 GPS Malha. In the first year, a sampling grid of 1: 3 was used in the sampling grid and in the subsequent year this sampling grid was 1: 5. In the first agricultural year, mechanical soil management was necessary with its correction. In both agricultural years, collections and analyzes were made before the implantation of the soybean crop, and in possession of these data, exploratory analysis was carried out, which aimed to perform the calculation of descriptive statistics. For the classification of the variability of the analyzed attributes, the coefficient of variation (CV) was used, and geostatistics was applied, with which mathematical models were adjusted with the criteria of the high coefficient of determination (R^2) and the low sum of squares of residues for a better adjustment of the semivariogram. The reduction of the sample density from 1: 3 with a maximum range of 173 m to 1: 5 with a

¹Centro Universitário da Grande Dourados. Dourados, MS. Brasil.
<https://orcid.org/0000-0002-7039-2447>

²Centro Universitário da Grande Dourados. Dourados, MS. Brasil.
<https://orcid.org/0000-0003-2332-6639>

³Centro Universitário da Grande Dourados. Dourados, MS. Brasil.
<https://orcid.org/0000-0001-5863-4450>

⁴Universidade Federal da Grande Dourados. Dourados, MS. Brasil.
<https://orcid.org/0000-0002-0453-4566>

⁵Centro Universitário da Grande Dourados. Dourados, MS. Brasil.
<https://orcid.org/0000-0001-9538-4104>

*Autor para correspondência: salvionapoleao@gmail.com

maximum range of 223 m, proved to be viable, attested by geostatistics, maintaining its high precision, strong spatial dependence and reducing the cost.

Keywords: Spatial dependence. *Geostatistics*. Kriging. Oxisol. Semivariograms.

Introdução

A soja (*Glycine max (L) Merrill*) é uma das principais culturas produzidas no Brasil, com área plantada distribuída nas diferentes regiões do país. Nos últimos 40 anos, o setor agropecuário vem experimentando profunda transformação, com adoção de novas tecnologias e ferramentas envolvidas no gerenciamento da propriedade rural (Trentin *et al.*, 2018). Devido ao grau de tecnificação e padronização para o cultivo da soja, apesar das variações na área cultivada, não produzem queda na produtividade da leguminosa (Freitas; Mendonça, 2016).

A grande demanda no mercado internacional proporcionou rápida expansão dessa cultura no Brasil, que ocorreu pela tomada de áreas cultivadas com outras culturas e, principalmente, da conquista de novas fronteiras agrícolas (Freitas; Mendonça, 2016). O produtor tem incrementado o uso de tecnologia a fim de aumentar a produtividade e, dessa forma, melhorar sua rentabilidade. Assim, a produtividade da soja passou de 2.823 kg ha⁻¹ na safra 2006/07, para produção recorde 3.394 kg ha⁻¹ na safra 2017/18, um aumento de 20%, já na safra 2018/19 a produção foi de 3.206 kg ha⁻¹, a estimativa para este ano agrícola (2019/20) é de 3.292 kg ha⁻¹ (CONAB, 2019).

Dentre os meios usados para elevar a produtividade está a agricultura de precisão (AP), que engloba um conjunto de ferramentas e tecnologias que permitem o gerenciamento agrícola baseado na variabilidade espacial e temporal da unidade produtiva, visando ao aumento de retorno econômico e à redução do impacto ao ambiente (Brasil, 2017).

Podem-se citar como as principais tecnologias ou operações agrícolas referidas como AP, os sistemas de guia e automação agrícola, manejo fitossanitário, amostragem de solo, sistemas de corretivos e fertilizantes em taxa variável, semeadura em taxa variável, mapeamento de produtividade e sensoriamento. A prática de AP mais disseminada no Brasil, atualmente, consiste da amostragem de solo georreferenciada para o mapeamento da fertilidade dos talhões de cultivo (Resende *et al.*, 2014).

A ferramenta de análise geoestatística se constitui na maneira mais correta que se tem conhecimento para analisar a variabilidade espacial (Santos *et al.*, 2017), através do mapeamento de atributos do solo. Um fator primordial para aplicação da geoestatística é que a AP contempla a obtenção de dados com as correspondentes coordenadas geográficas, permitindo que haja navegação sobre áreas agrícolas. Os dados georreferenciados podem ser obtidos por meio de coletas localizadas, imagens satelitárias ou fotografias por VANTS. Deve-se realizar

coletas e análise, por meio de custo/benefício, pois um maior número de amostras aumenta o custo de operação (Bolfé; Gomes, 2005).

As ações de gestão na agricultura para aplicações de insumos ou recomendações de tratamentos culturais são precedidas de uma etapa de investigação sobre a lavoura, nessa etapa são coletados dados que auxiliam na tomada de decisão de necessidade da cultura por insumos ou tratamentos culturais (Molin *et al.*, 2015).

Portanto, este trabalho tem como objetivo estudar a variabilidade espacial da fertilidade do solo na cultura da soja (*Glycine max (L.) Merrill*) em um Latossolo Vermelho Distrófico.

Material e métodos

Caracterização da área experimental

O trabalho foi conduzido na fazenda Laranja Doce no município de Itaporã - MS, em uma área de 70 hectares, situado em latitude de 22°17'71"S, longitude de 54°48'8.76" O e altitude de 351 metros, com topografia plana. O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico, cuja granulometria, na camada de 0,00-0,20 m, é composta de 571 g kg⁻¹ de argila, 67 g kg⁻¹ de silte e 362 g kg⁻¹ de areia. O clima é semelhante ao da região de Dourados - MS, Cwa, ou seja, mesotérmico úmido, verões quentes e invernos secos (Alvares, 2013).

O talhão onde foi desenvolvido o trabalho era utilizado para pastagem, e então para o primeiro ano agrícola de cultivo da soja, foi realizado um manejo mecânico do solo com grades subsoladoras e niveladoras e, logo após foi realizado o manejo de correção do solo, sendo aplicado 2 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico (85% de PRNT), 1 Mg ha⁻¹ de gesso e 150 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio a lanço.

Coleta de amostras de solo

Para a caracterização química do solo através da geoestatística, executou-se a coleta do solo, com o aplicativo para *smartphone* C7 GPS Dados 1.0 para medição da área e C7 GPS Malha 1.1, desenvolvidos pelo Laboratório de Geomática da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, que tem como uma das funções gerar malha de amostragem. Na safra 2018/19, fez-se uso de uma grade amostral de 1:3 (1 ponto a cada 3 hectares) na malha de amostragem e no ano posterior uma grade amostral de 1:5 (1 ponto a cada 5 hectares). Nos dois anos agrícolas

a amostragem foi realizada antes do preparo mecânico de solo.

Com a malha amostral definida, a navegação foi realizada através do aplicativo C7 GPS Malha 1.1 com finalidade de localizar os pontos georreferenciados nos quais se realizou a coleta das amostras de solo. Um trado de rosca motorizado foi utilizado para coletar as amostras na camada de 0,0-0,2 m, sendo que as amostras

de cada ponto foram compostas de cinco subamostras homogeneizadas. Ao finalizar o processo de coleta das amostras, estas foram encaminhadas para o laboratório de análise de solos foram avaliados os atributos químicos Fósforo (P) disponível; Potássio (K^+) disponível; Cálcio (Ca^{2+}) trocável; Magnésio (Mg^{2+}) trocável; Capacidade de Troca de Cátions (CTC); Saturação por Bases (V%), Acidez ativa (pH) e acidez potencial trocável (Al^{3+}) de acordo com a metodologia de Raji *et al.* (2001).

Figura 1 – Área demarcada onde foi realizado o trabalho.



Posteriormente as coletas, em ambas as safras agrícolas, foi semeada a cultivar de soja M6410 IPRO com espaçamento entre linhas de 0,45 m, 13,5 plantas por metro, 300 kg ha⁻¹ de adubo formulado 04-30-10 no suco de plantio.

Estatística descritiva, geoestatística e confecção de mapas

Com o auxílio do programa GS+ 7.0 (Gamma Design Software, 2012) realizou-se, para todos os dados dos atributos químicos do solo, além da estatística descritiva (média, desvio padrão, coeficiente de variação, valor mínimo, valor máximo, coeficiente de assimetria e coeficiente de curtose), a Geoestatística (Modelo de Semi-variograma; Efeito Pepita; Patamar; Alcance; Coeficiente de Determinação; Grau de Dependência Espacial; Soma de Quadrado de Resíduo). A partir de então foi processado o programa de computador ArcGIS 10.1 (Instituto de Pesquisa de Sistemas Ambientais - ESRI, 2012) para a geração dos mapas.

Resultados e discussão

Nos dois anos agrícolas, as coletas e análises foram feitas antes da implantação da cultura da soja, e de posse destes dados foram realizados a análise exploratória, esta que teve como objetivo os parâmetros da estatística descritiva, como a média, o desvio padrão, o coeficiente de variação, o valor mínimo, o valor máximo, o coeficiente de assimetria e o coeficiente de curtose (Tabela 1). Com isso comparou-se os resultados

das duas análises, juntamente com seu alcance e grau de dependência espacial (Tabela 2). Os atributos avaliados nas safras 2018/2019 e 2019/2020 foram: Fósforo (P) disponível; Potássio (K^+) disponível; Cálcio (Ca^{2+}) trocável; Magnésio (Mg^{2+}) trocável; Capacidade de Troca de Cátions (CTC); Saturação por Bases (V%), Acidez ativa (pH) e acidez potencial trocável (Al^{3+}).

Os valores médios dos atributos químicos do solo foram classificados de acordo com Sousa e Lobato (2004), na safra 2018/2019, em adequado para P (8,1 a 12,0 mg dm⁻³), pH (4,9 a 5,5), Ca^{2+} (1,5 a 7,0 cmolc dm⁻³), Mg^{2+} (0,5 a 2,0 cmolc dm⁻³) e CTC (9,1 a 13,5 cmolc dm⁻³); alto para K^+ (>80 mg dm⁻³) e MOS (>25g dm⁻³); muito alto para V% ($\geq 71\%$); e médio para Al^{3+} (0,02 a 1,5 cmolc dm⁻³). Na safra 2019/2020, o P teve um aumento e passou a ser classificado como alto teor no solo; Ca^{2+} , Mg^{2+} , CTC e pH mantiveram-se em níveis adequados, assim como K^+ , V% e M.O permaneceram com altos teores no solo. O Al^{3+} passou a ter teor baixo.

Na análise descritiva, a média aritmética deve estar sempre acompanhada do desvio padrão para que se possa visualizar a dispersão média dos valores (Guimarães, 2004). Para fins de comparação, foram adotados os limites de coeficiente de variação (CV) propostos por Dalchiavon *et al.* (2012), para a classificação da variabilidade dos atributos analisados, sendo: baixo (CV < 10%), médio (10% < CV < 20%), alta (20% < CV < 30%) e muito alta (CV > 30%). Desta forma, observa-se que no primeiro ano, classificou-se como baixo para MOS e pH; médio para CTC e V%; alta para Ca^{2+} e Mg^{2+} e muito

alta para P, K⁺ e Al³⁺. No segundo ano, houve alterações na classificação, em que o pH manteve-se baixo; CTC e V% mantiveram-se médio, porém a MOS também foi classificada como média; o Mg²⁺ permaneceu com CV alto e P, K⁺, Al³⁺ juntamente com o Ca²⁺ foram classificados com CV muito alto.

O coeficiente de assimetria é utilizado para caracterizar como e quanto a distribuição de frequências se afasta da simetria (Guimarães, 2004). Os atributos Ca²⁺, Mg²⁺, V% e pH indicaram uma alta concentração de dados nos valores mais baixos, a cauda mais longa da

distribuição fica à direita, indicando a ocorrência de valores altos com baixa frequência, esse tipo de distribuição é denominada assimétrica positiva ou à direita. Já a CTC, P, K⁺, MOS e Al³⁺ a distribuição também é assimétrica, só que agora, a maior concentração de dados está nos valores mais altos, a cauda mais longa da distribuição fica à esquerda, esse tipo de distribuição é denominada assimétrica negativa ou à esquerda (Artes, 2014). No segundo ano agrícola, os atributos CTC, P, K⁺, Al³⁺, Ca²⁺, V% e pH foram classificados como assimétrica positiva ou à direita, enquanto o Mg²⁺ e MOS como assimétrico negativa ou à esquerda.

Tabela 1 – Estatística descritiva de atributos químicos do solo na Fazenda Laranja Doce (Itaporã - MS)

SAFRA 2018-2019							
Variável	Média	CV%	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Assimetria	Curtose
CTC ¹	11,66	17,23	2,01	8,00	15,00	0,07	-1,02
P ²	9,22	36,11	3,33	5,20	18,90	1,08	1,00
K ¹	0,45	37,77	0,17	0,15	0,79	0,15	-0,76
Ca ¹	6,88	26,74	1,84	2,90	10,60	-0,11	-0,39
Mg ¹	1,49	24,16	0,36	0,70	2,20	-0,10	-0,45
V%	71,96	11,68	8,41	49,00	85,00	-0,80	0,47
MOS	23,09	7,23	1,67	20,10	26,80	0,02	-0,40
pH CaCl ₂	5,59	6,79	0,38	4,60	6,20	-0,83	0,23
Al ¹	0,02	300	0,06	0,00	0,33	4,18	17,25
SAFRA 2019-2020							
Variável	Média	CV%	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Assimetria	Curtose
CTC ¹	10,31	15,61	1,61	7,60	12,80	0,17	-1,10
P ²	23,00	63,21	14,54	14,00	63,00	2,08	2,78
K ¹	0,31	45,16	0,14	0,13	0,59	0,47	-0,92
Ca ¹	5,10	32,74	1,67	2,90	7,90	0,41	-1,22
Mg ¹	1,29	26,35	0,34	0,60	1,80	-0,24	-0,98
V%	63,56	16,51	10,50	47,00	80,00	0,10	-1,28
MOS	25,87	19,67	5,09	18,00	34,00	-0,01	-1,25
pH CaCl ₂	5,40	6,66	0,36	4,90	6,10	0,35	-1,10
Al ¹	0,01	500	0,05	0,00	0,20	3,61	11,07

*¹cmol dm⁻³; ²mg.dm⁻³; ³g.dm⁻³, MOS: matéria orgânica do solo; CV: coeficiente de variação.

O coeficiente de curtose ou achatamento mede a concentração ou dispersão dos valores de um conjunto de valores em relação às medidas de tendência central em uma distribuição de frequências conhecida (a distribuição Normal). Nas das duas safras, os atributos CTC, P, K⁺, Ca²⁺, V%, pH, Mg²⁺ e MOS apresentaram coeficiente de curtose com distribuição do tipo Platicúrtica – quando apresenta uma medida de curtose menor que a da distri-

buição normal. O Al³⁺ entregou um coeficiente de curtose com distribuição Leptocúrtica - quando apresenta uma medida de curtose maior que a da distribuição normal.

Através dos modelos de variabilidade espacial dos atributos aumenta-se a eficácia das formas de amostragem do solo, podendo ser aplicado esse conhecimento também na área da estatística experimental, locação das

unidades experimentais com maior controle local e assim realizar melhores coletas de amostras e assertividade na interpretação de resultados (Leão *et al.*, 2007). Segundo Souza *et al.* (1997), o estudo da dependência espacial dos atributos do solo pode reduzir o número de amostras em relação ao uso dos procedimentos amostrais definidos na estatística clássica.

Modelos teóricos como o esférico, o exponencial e o gaussiano foram testados para o ajuste do semivariograma escalonado pela variância dos dados, definindo os parâmetros: efeito pepita (C_0), o patamar (C_0+C) e o alcance da dependência espacial (a) (Tabela 2). Para a escolha do modelo de melhor ajuste, utilizou-se a menor soma do quadrado dos resíduos (SQR) e o maior coeficiente de determinação (R^2) (Lima *et al.*, 2010).

Tabela 2 – Parâmetros do semivariogramas ajustados aos dados dos atributos químicos do solo na Fazenda Laranja Doce (Itaporã – MS)

SAFRA 2018-2019							
Variável	Modelo	C_0	C_0+C	GDE%	$a(m)$	R^2	SQR
CTC	Gaussiano	0,590	5,512	10,70	73,76	1,00	4,44E-04
P	Exponencial	6,190	15,810	39,15	1254	0,986	0,0836
K	Gaussiano	0,016	0,040	40	815,79	0,999	1,25E-07
Ca	Gaussiano	0,850	4,651	18,27	788,08	1,00	8,15E-04
Mg	Gaussiano	0,043	0,190	22,63	840	0,998	9,39E-06
V%	Gaussiano	31,700	10,400	30,36	1174,33	0,990	4,66
MOS	Gaussiano	1,672	4,708	35,5	1252,27	0,997	1,75E-03
pH $CaCl_2$	Linear	0,087	0,141	61,70	561,78	0,963	2,34E-05
Al	Gaussiano	8,7E-04	0,003	24,38	659,91	1,00	7,21E-11
SAFRA 2019-2020							
Variável	Modelo	C_0	C_0+C	GDE%	$a(m)$	R^2	SQR
CTC	Gaussiano	0,70	4,60	15,21	898,93	1,00	5,67E-04
P	Esférico	0,900	268,00	0,33	471	0,754	1216
K	Gaussiano	1E-05	0,02	0,03	479,77	0,992	7,15E-07
Ca	Gaussiano	0,10	4,20	2,38	649,51	0,999	6,40E-03
Mg	Gaussiano	1E-04	0,14	0,06	498,83	0,992	2,32E-05
V%	Gaussiano	0,100	146,30	0,07	559,45	0,989	45,1
MOS	Linear	1,95	36,08	5,40	662,92	1,00	0,0725
pH $CaCl_2$	Gaussiano	1E-04	0,17	0,05	531,73	0,974	1,35E-04
Al	Linear	0,002	0,002	100	662,72	0,392	1,46E-08

* C_0 : efeito pepita; C_0+C : patamar; a : alcance; R^2 : coeficiente determinação; GDE: grau de dependência espacial; SQR: Soma de quadrado de resíduo; MOS: matéria orgânica do solo.

Analisando os mapas de espacialização dos atributos químicos do solo (Figura 2), para as safras 2018-19 e 2019-20, observou-se influência das práticas de manejo químico e mecânico do solo sobre a variabilidade espacial dos elementos na área experimental. Outro aspecto que influencia no conhecimento detalhado da propriedade rural é a densidade amostral. Em relação à densidade amostral, com sua redução, de 1:3 para 1:5, observou-se, em geral, redução nos teores dos elementos, o que

acarretou em decréscimo de soma de bases, pH e CTC, exceto para o P que aumentou no segundo ano.

Ressalta-se que a predominância de classes com maiores valores de bases trocáveis ao longo da área do estudo, no primeiro ano, contribuiu para a leve elevação do pH, concordando com Dalchiavon *et al.* (2012) em um Latossolo Vermelho Distroférico sob plantio direto, e com Leite *et al.* (2018) em um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico.

Figura 2 – Mapas de CTC. Safras 2018-19 (A) e 2019-20 (B)

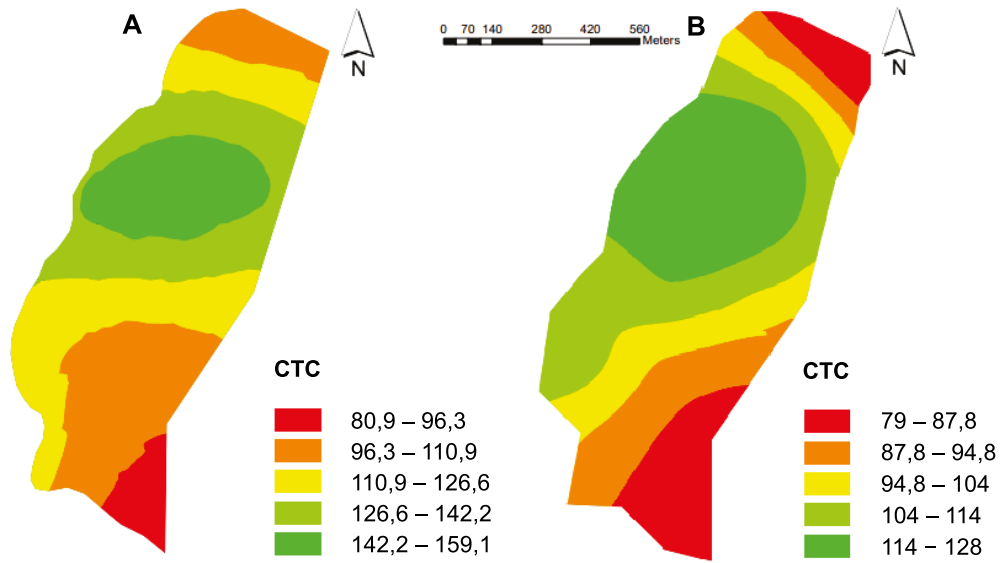


Figura 3 – Mapas de Fósforo. Safras 2018-19 (A) e 2019-20 (B)

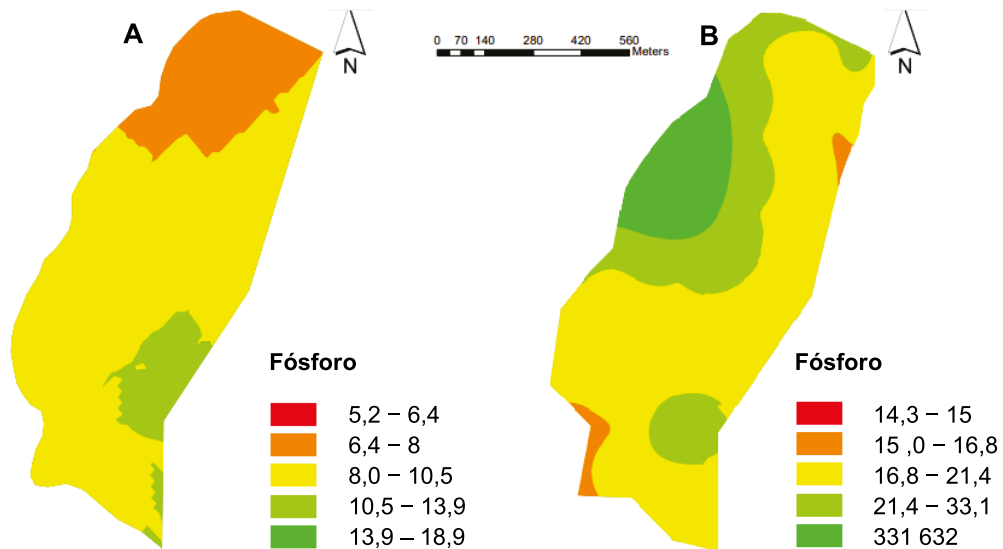


Figura 4 – Mapas de Cálcio. Safras 2018-19 (A) e 2019-20 (B)

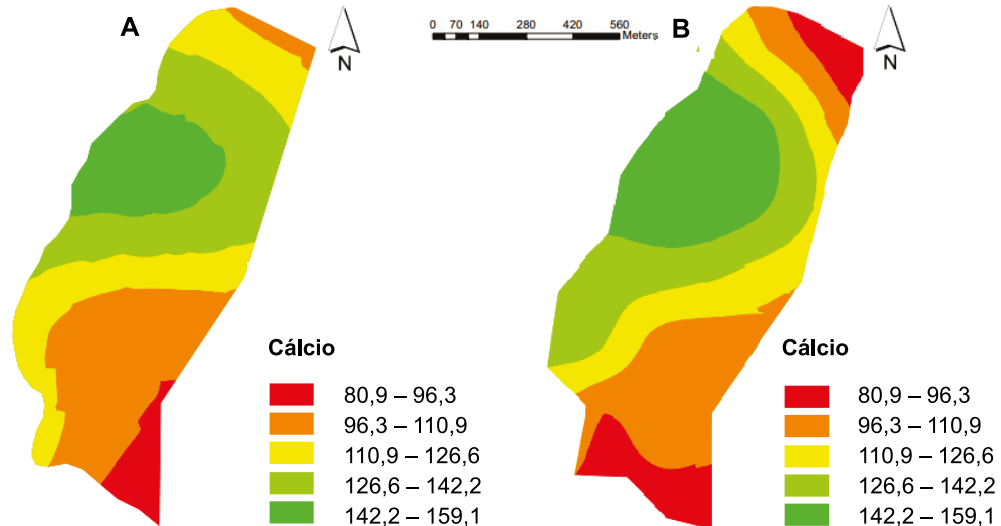


Figura 5 – Mapas de Potássio. Safras 2018-19 (A) e 2019-20 (B)

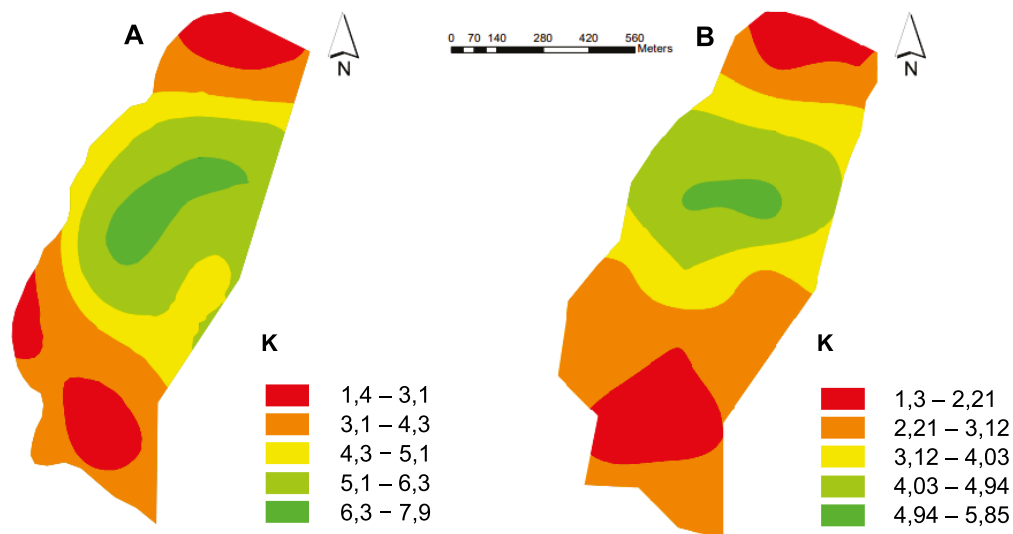


Figura 6 – Mapas de Magnésio. Safras 2018-19 (A) e 2019-20 (B)

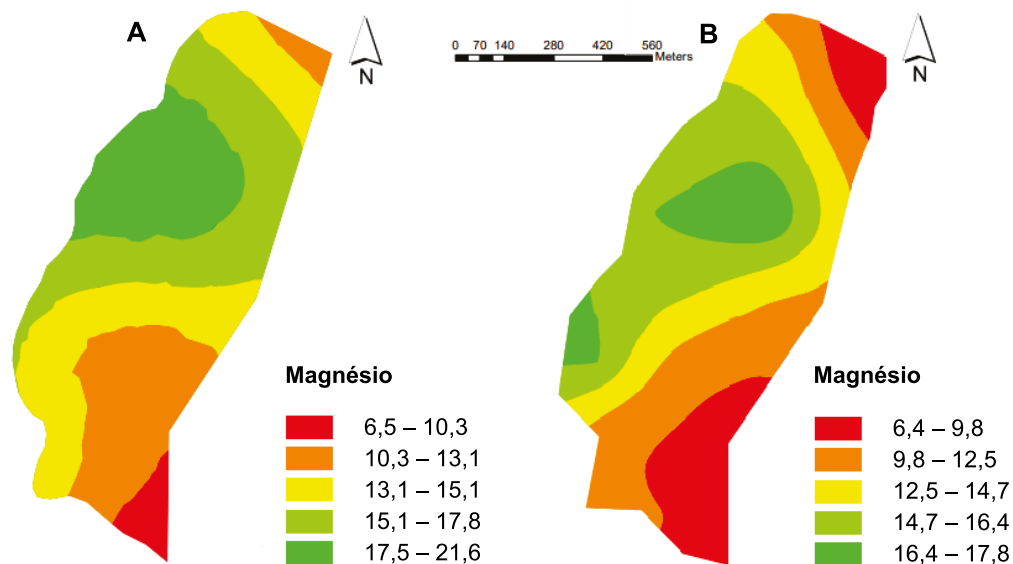


Figura 7 – Mapas de Saturação de Bases - V%. Safras 2018-19 (A) e 2019-20 (B)

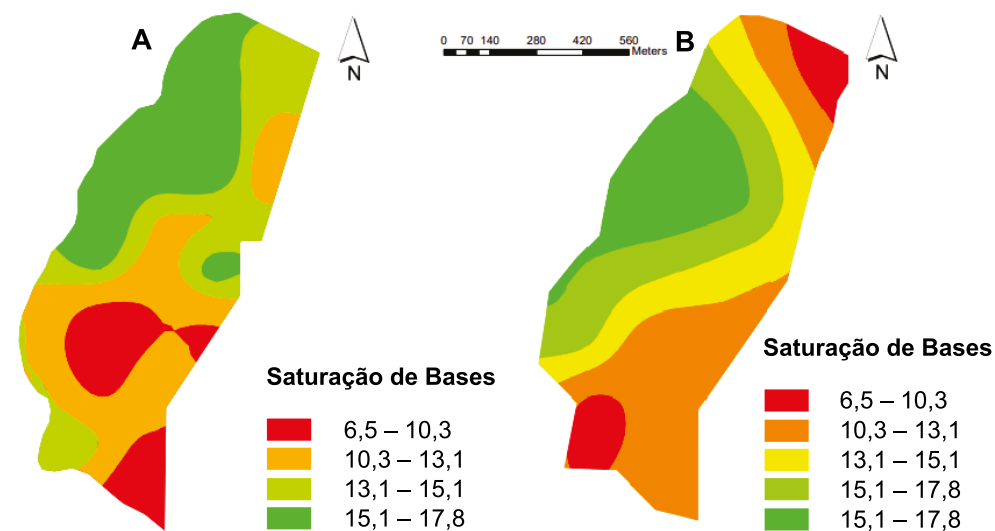


Figura 8 – Mapas de pH. Safras 2018-19 (A) e 2019-20 (B)

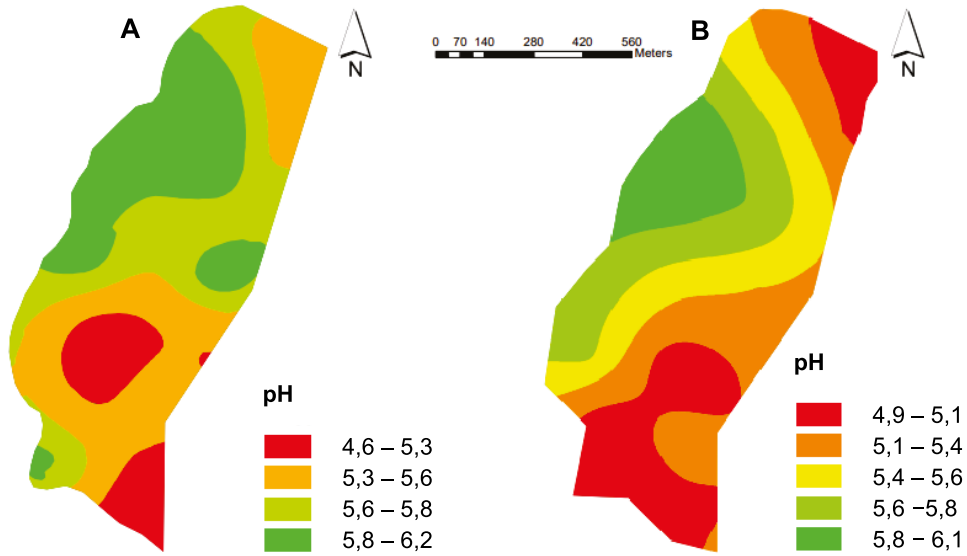


Figura 9 – Mapas de Alumínio. Safras 2018-19 (A) e 2019-20 (B)

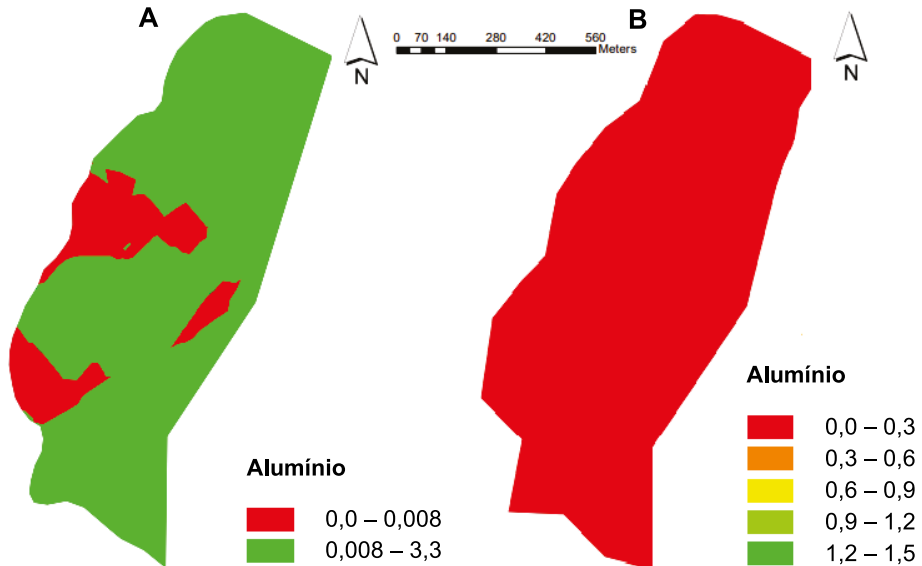
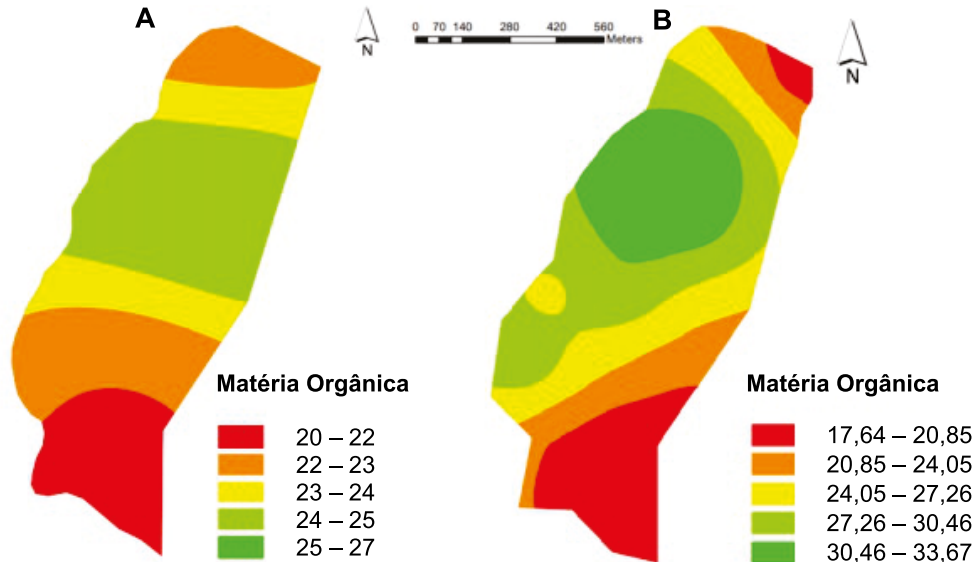


Figura 10 – Mapas de Matéria Orgânica. Safras 2018-19 (A) e 2019-20 (B)



De acordo com Caon e Genú (2013), a diminuição da densidade amostral baixa a qualidade de exatidão dos mapas a níveis não desejados na agricultura de precisão. Por outro lado, o aumento da mesma não acarretaria grandes ganhos em precisão, poderia inviabilizar o processo de amostragem pelo intenso trabalho de coleta e custo com análises aumentando a relação custo benefício. Os autores analisaram diferente densidade amostral que ofereça precisão nos mapas de atributos químicos e mensuraram sua implicação prática na adubação e calagem para a cultura da soja, na região de Guarapuava. E, observaram que, na densidade amostral de uma amostra

a cada 1 ha, os atributos apresentaram boa qualidade de exatidão em relação aos mapas gerados com a maior densidade amostral (4 ha).

Conclusão

A redução da densidade amostral de 1:3 com alcance máximo de 173 metros para 1:5 com alcance máximo de 223 metros, mostrou-se viável atestado pela geoestatística, mantendo sua alta precisão, forte dependência espacial e reduzindo o custo.

Referências

- Alvares C. A.; Stape J. L.; Sentelhas P. C.; de Moraes Gonçalves J. L.; Sparovek G. 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift, 22:711–728. Doi: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- Artes. R. 2014. Coeficiente de Assimetria. São Paulo. Disponível em: <https://www.insper.edu.br/docentes/rinaldoartes/wpcontent/uploads/sites/14/2014/09/Medidas-de-forma-Assimetria_2014.pdf>. Acesso em: 05 mai. 2020.
- Bolfe, E. L.; Gomes, J. V. B. 2005. Geoestatística subsidia agricultura de precisão. Página rural. Disponível em: <<http://www.paginarural.com.br/artigo/998/geoestatistica-subsidia-agricultura-de-precisao>>. Acesso em: 29 ago. 2019.
- Brasil. 2017. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. Agricultura de precisão 19. Brasília, 2017. 15p. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/camaras-setoriais-tematicas/documentos/camaras-setoriais/florestas-plantadas/anos-anteriores/agricultura-de-precisao-19/pdf/view>>. Acesso em: 23 set. 2019.
- Caon, D.; Genú, A. M. 2013. Mapeamento de atributos químicos em diferentes densidades amostrais e influência na adubação e calagem. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 17:629–639. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000600009>.
- Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB. 2019. Boletim da Safra de Grãos: 1º Levantamento - Safra 2019/20 - Tabela de levantamento. Brasília: CONAB, 2019. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/safra-graos>>. Acesso em: 13 out. 2019.
- Dalchiavon, F. C.; Carvalho, M. P.; Andreotti, M.; Montanari R. 2012. Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um Latossolo Vermelho Distroférrico sob Sistema Plantio Direto. Revista Ciência Agronômica, 43: 453–461.
- Freitas, R. E.; Mendonça, M. A. A. 2016. Expansão Agrícola no Brasil e a Participação da Soja: 20 anos. Revista de Economia e Sociologia Rural, 54:497–516. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1234-56781806-94790540306>.
- Gamma Design Software. 2012. GS+: Geostatistics for Environmental Sciences. Plainwell. Disponível em: <<http://www.gammadesign.com/>>. Acesso em 20 ago. 2020.
- Guimarães, E. C. 2004. Geoestatística básica e aplicada. Uberlândia: UFU/FAMAT, Uberlândia.
- Instituto de Pesquisa de Sistemas Ambientas - ESRI. 2012. ArcGIS 10.1 Software. Califórnia: Redlands.
- Leão, A. B.; Andrade, A. R. S.; Chaves, L. H. G.; Chaves, I. B.; Guerra, H. O. C. 2007. Variabilidade espacial de fósforo em solo do perímetro irrigado Engenheiro Arcoverde, PB. Revista Ciência Agronômica, 38:1–6.
- Leite, O. C.; Melo, M. S.; Oliveira, L. N.; Costa Sobrinho, M. R.; Melo, B. S. 2018. Influência de dosagens de calcário em um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico no Sul de Tocantins. Enciclopédia Biosfera, 15:640–650. Doi: [10.18677/EnciBio_2018B55](https://doi.org/10.18677/EnciBio_2018B55).
- Lima, J. S. S.; Souza, G. S.; Silva, S. A. 2010. Amostragem e variabilidade espacial de atributos químicos do solo em área de vegetação natural em regeneração. Revista árvore, 34: 127–136. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622010000100014>.
- Molin, J. P.; Amaral, L. R.; Colaço, A. F. 2015. Agricultura de precisão. 1. ed. Oficina de textos. São Paulo.
- Raj, B. V.; Andrade J. C.; Cantarella H.; Quaggio J. A. (ed). 2001. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas.
- Resende, A. V.; Hurtado, S. M. C.; Vilela, M. F.; Corazza, E. J.; Shiratsuchi, L. S. 2014. Aplicações da agricultura de precisão em sistemas de produção de grãos no Brasil. In: Sousa, D. M. G.; Lobato, E., 2014. Cerrado correção do solo e adubação.
- Santos, R. O.; Franco, L. B.; Silva, S. A.; Sodré, G. A.; Menezes, A. A. 2017. Spatial variability of soil fertility and its relation of cocoa yield. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 21:88–93. Doi: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n2p88-93>.
- Souza, L. S. Cogo, N. P.; Vieira, S. R. 1997. Variabilidade espacial de propriedades físicas e químicas do solo em um pomar cítrico. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 21: 367–372. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-06831997000300003>.
- Trentin, R. G.; Modolo, A. J.; Vargas, T. O.; Campos, J. R. R.; Adami, P. F.; Baesso, M. M. 2018. Soybean productivity in Rhodic Hapludox compacted by the action of furrow openers. Acta Scientiarum. Agronomy 40:1–9. Doi: <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagr.v40i1.35015>.