

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

DANIELI ALIXAME

**AUMENTO DE PONTOS ALEATÓRIOS EM GRADES
AMOSTRAIS NA ELABORAÇÃO DE MAPAS DE FERTILIDADE
DO SOLO**

CHAPADÃO DO SUL – MS

2020

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

DANIELI ALIXAME

**AUMENTO DE PONTOS ALEATÓRIOS EM GRADES
AMOSTRAIS NA ELABORAÇÃO DE MAPAS DE FERTILIDADE
DO SOLO**

Orientador: Prof. Dr. Fábio Henrique Rojo Baio

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Mato
Grosso do Sul, como parte dos
requisitos para obtenção do título de
Mestre em Agronomia, área de
concentração: Produção Vegetal.

CHAPADÃO DO SUL – MS

2020



Serviço Público Federal
Ministério da Educação
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

DISCENTE: Danieli Alixame

ORIENTADOR: Dr. Fábio Henrique Rojo Baio

TÍTULO: Aumento de pontos aleatórios em grades amostrais na elaboração de mapas de fertilidade do solo

AVALIADORES:

Prof. Dr. Presidente Fábio Henrique Rojo Baio

Prof. Dr. Paulo Eduardo Teodoro

Prof. Dr. Job Teixeira de Oliveira

Chapadão do Sul, 17 de dezembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Fábio Henrique Rojo Baio, Professor do Magisterio Superior**, em 17/12/2020, às 09:47, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.



Documento assinado eletronicamente por **Paulo Eduardo Teodoro, Professor do Magisterio Superior**, em 17/12/2020, às 09:52, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.



Documento assinado eletronicamente por **Job Teixeira de Oliveira, Usuário Externo**, em 17/12/2020, às 09:53, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufms.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2303005** e o código CRC **D1437B8B**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo discernimento concedido ao longo desta jornada, que sem dúvidas foi uma das mais desafiadoras da minha vida.

Agradeço a minha família pelo carinho e apoio, em especial a minha mãe que não mediu esforços para que eu pudesse chegar até esta etapa.

Ao Prof. Dr. Fábio H. R. Baio por toda a paciência e atenção, sempre dedicando tempo para me orientar, estando sempre disposto. A instituição UFMS, campus Chapadão do Sul e aos professores da Pós-graduação durante esses dois anos, que contribuíram para a melhoria do meu conhecimento.

Ao colega MSc. Éder Silva que foi fundamental para a conclusão do trabalho, sanando todas as dúvidas durante o desenvolvimento, como também agradeço às pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

LISTA DE FIGURAS

Pág.

- Fig. 1.** Localização das Fazendas São Gerônimo (MT), Serrinha (GO) e Minuano (MS) (ESRI, 2020). 12
- Fig. 2.** Mapas de localização dos pontos originais, com +5% e com +10%. Fazenda Serrinha, talhões 1 (A), 2 (B) e 3 (C); Fazenda Minuano, talhão 4 (D); e Fazenda São Gerônimo, talhão 5 (E). 14
- Fig. 3.** Mapas do atributo fósforo da Fazenda Minuano. Mapa original (A), 5% (B) e 10% (C). **Erro! Indicador não definido.**
- Fig. 4.** Mapas do atributo magnésio da Fazenda Serrinha. Mapa original (A), 5% (B) e 10% (C). 24
- Fig. 5.** Análise das variáveis canônicas para os componentes dos erros do semivariograma modelado em relação sua validação cruzada. **Erro! Indicador não definido.**
- Fig. 6.** Gráfico de calor relacionando os tratamentos e as variáveis mensuradas. 25

LISTA DE TABELAS

Pág.

Tabela 1. Área total dos talhões e distribuição do quantitativo de pontos amostrais por área.....	13
Tabela 2. Análise estatística descritiva dos valores mensurados para as variáveis pH, cálcio, magnésio, potássio, fósforo, CTC e V.	17
Tabela 3. Análise geoestatística dos pontos originais e com o aumento de 5% e 10% das variáveis pH, cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K), fósforo (P), CTC e V.	18
Tabela 4. Análise dos coeficientes dos desvios relativos (CDR) na comparação dos mapas interpolados.	Erro! Indicador não definido.

RESUMO: A definição da distância entre os pontos da grade interfere diretamente na elaboração dos mapas, pois ela atua na dependência espacial da análise semivariográfica e gera estimativas para os locais não amostrados. O estudo teve como objetivo avaliar a influência do aumento de pontos aleatórios em +5 % e +10% em grades amostrais originais na elaboração de mapas de fertilidade. Foram analisadas três áreas localizadas em diferentes estados do Cerrado brasileiro, coletando 8 sub amostras entre 5 m do ponto central, foram realizadas as coletas de 654 amostras nas três fazendas estudadas. Os atributos pH, P, K, Ca, Mg, CTC e V foram submetidos a análise de estatística descritiva. Na escolha do melhor modelo utilizou-se a menor diferença entre a raiz quadrada média (RMS) e o erro médio padrão (EMP) e posteriormente avaliou-se o valor da raiz quadrada média padronizada (RMSE). A comparação dos mapas foi realizada através do coeficiente do desvio relativo (CDR). O aumento de pontos em 5% e 10 % a partir da grade original mostraram-se eficientes para a confecção de mapas de fertilidade do solo, melhorando os resultados da raiz quadrada média (RMS) e do erro médio padrão (EMP).

Palavras-chave: Geoestatística. Agricultura de Precisão. Distância amostral.

ABSTRACT: The definition of the distance between the sample points directly interferes in the elaboration of the maps, since it acts in the spatial dependence of the semivariographic analysis and generates for the non-sampled locations. The study aimed to evaluate the influence of the increase of random sample points by adding + 5% and + 10% in original sample notes in the elaboration of fertility maps. Three renegotiated areas were analyzed in different states of the Brazilian Cerrado, collecting 8 subsamples between 5 m from the central point, and 654 samples were collected from the three studied farms. The soil attributes pH, P, K, Ca, Mg, CTC and V have been published in a descriptive statistical analysis. In choosing the best model, the smallest difference between the mean square root (RMS) and the mean standard error (EMP) is used, and the value of the standardized mean square root (RMSE) was subsequently evaluated. The maps were compared using the deviation relative coefficient (CDR). The increase of sample points by 5% and 10% from the original grid is highly efficient for a configuration of soil fertility maps, improving the results of the mean square root (RMS) and the mean standard error (EMP).

Keywords: Geostatistical. Precision Agriculture. Sampling distance.

SUMÁRIO

	Pág.
1. INTRODUÇÃO	10
2. MATERIAL E MÉTODOS	12
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
4. CONCLUSÕES.....	26
REFERÊNCIAS	26

AUMENTO DE PONTOS ALEATÓRIOS EM GRADES AMOSTRAIS NA ELABORAÇÃO DE MAPAS DE FERTILIDADE DO SOLO

RESUMO: A definição da distância entre os pontos da grade amostral interfere diretamente na elaboração dos mapas de fertilidade, pois ela atua na dependência espacial da geoestatística e interfere nas estimativas para os locais não amostrados na interpolação. O objetivo do estudo foi verificar a influência do aumento de pontos aleatórios em mais 5 e 10 % do total de pontos de uma grade amostral. Foram analisadas três áreas localizadas em diferentes estados do Cerrado brasileiro, coletando 8 sub amostras entre 5 m do ponto central, foram realizadas as coletas de 654 amostras nas três fazendas estudadas. Os atributos pH, P, K, Ca, Mg, CTC e V foram submetidos a análise de estatística descritiva. Na escolha do melhor modelo utilizou-se a menor diferença entre a raiz quadrada média (RMS) e o erro médio padrão (EMP) e posteriormente avaliou-se o valor da raiz quadrada média padronizada (RMSE). A comparação dos mapas foi realizada através do coeficiente do desvio relativo (CDR). O aumento de pontos em 5% e 10 % a partir da grade original mostraram-se eficientes para a confecção de mapas de fertilidade do solo, melhorando os resultados da raiz quadrada média (RMS) e do erro médio padrão (EMP).

Palavras-chave: Agricultura de Precisão. Distância amostral. Geoestatística.

INCREASE OF RANDOM POINTS IN SAMPLE GRIDS IN THE PREPARATION OF SOIL FERTILITY MAPS

ABSTRACT: The definition of the distance between the sample points directly interferes in the elaboration of the maps, since it acts in the spatial dependence of the semivariographic analysis and generates for the non-sampled locations. The study aimed to evaluate the influence of the increase of random sample points by adding + 5% and + 10% in original sample notes in the elaboration of fertility maps. Three renegotiated areas were analyzed in different states of the Brazilian Cerrado, collecting 8 subsamples between 5 m from the central point, and 654 samples were collected from the three studied farms. The soil attributes pH, P, K, Ca, Mg, CTC and V have been published in a descriptive statistical analysis. In choosing the best model, the smallest difference between the mean square root (RMS) and the mean standard error (EMP) is used, and the

value of the standardized mean square root (RMSE) was subsequently evaluated. The maps were compared using the deviation relative coefficient (CDR). The increase of sample points by 5% and 10% from the original grid is highly efficient for a configuration of soil fertility maps, improving the results of the mean square root (RMS) and the mean standard error (EMP).

Keywords: Precision agriculture. Sampling distance. Geostatistical.

1. INTRODUÇÃO

O aumento da demanda por alimentos no mundo, leva a busca constante por inovações no meio agrícola. Com o intuito de conseguir suprir tal necessidade, soluções ao longo do tempo foram surgindo. Dentre elas, a implantação de estratégias de gerenciamento da variabilidade da área aliada com a tecnologia, que se denomina Agricultura de Precisão (AP). Essa tecnologia está presente no mundo desde o século XX, iniciando com mapas de produtividade e aplicação em taxa variável, e no Brasil ganhou espaço a partir da década de 1990 (Molin et al., 2015).

A agricultura convencional trata a área de forma homogênea, aplicando a mesma dosagem de insumo em toda a extensão. A AP têm se destacado, pois trata a área de forma direcionada, de acordo com a necessidade de cada local do campo. Dentre as estratégias de gestão que estão relacionadas com essa tecnologia, uma das mais utilizadas é a amostragem de solo georreferenciada. Através da coleta de uma amostra de solo composta, são extraídas informações referentes a fertilidade, sendo elas químicas, físicas e biológicas (Machado et al., 2018; Muniz et al., 2018).

Os benefícios da amostragem georreferenciada de solo alinhada com a AP são promissores. Deve-se tomar cuidado ao serem realizadas, visto que uma coleta mal feita afetará na forma de tratar o solo e nas futuras utilizações da ferramenta. As informações erradas irão fazer com que os outros manejos não estejam alinhados com a variabilidade presente no local. Então, torna-se indispensável utilizar tecnologias que tragam informações que descrevam melhor a realidade (Redesnde; Coelho, 2017).

Pelas informações amostrais de solo é gerado o mapa de fertilidade de um determinado nutriente. Esse mapa irá representar a área através da interpolação dos dados amostrais, apontando os locais que apresentam variabilidade parecidas ou distintas

(Molin et al., 2015). As formas existentes para a coleta de informações afim de confeccionar mapas é a amostragem em grade (Santos et al., 2016).

A definição da distância entre os pontos da grade interfere diretamente na elaboração dos mapas, pois ela atua na dependência espacial da análise semivariográfica e gera estimativas para os locais não amostrados. Essa distância não pode ser muito longa para não superestimar valores e não deve ser muito densa pois será inviável economicamente na prática. O número de amostras por área é uma das maiores limitações quando não realizada de acordo com a necessidade ideal do local (Cherubin et al., 2015).

Segundo Oliveira et al. (2015), a geoestatística é o seguimento responsável pelo estabelecimento da quantidade ideal de pontos. Através dela é possível calcular qual a distância adequada para se obter um mapa representativo, que demonstra a variabilidade encontrada na área. É utilizado o semivariograma de cada local que foi realizado o mapeamento, ilustrando a relação de menor variabilidade espacial conforme o decréscimo da distância entre os pontos amostrais. A distância amostral no mapeamento da fertilidade do solo nunca será a mesma para toda a área ou atributos mapeados, mesmo que proveniente de uma mesma amostra de solo, portanto, deve-se sempre fazer um estudo preliminar por um transecto com todas as informações do mapeamento para assim definir a distância amostral ideal para aquele atributo de maior interesse.

Normalmente a determinação da densidade amostral a ser aplicada na prática, não segue o protocolo sugerido pela literatura para análises geoestatísticas, o qual sugere iniciar o estudo semivariográfico por um transecto (Isaaks; Srivastava, 1990). A escolha por essa distância amostral é escolhida por uma decisão econômica junto ao agricultor, muitas vezes não prezando a qualidade da mensuração da dependência espacial (Santos, 2016).

A descrição da variabilidade espacial do atributo mapeado pode estar comprometida, se a distância na curta escala não permitir a modelagem dessa variabilidade. Na prática, essa problemática compromete o mapeamento dos detalhes do mapa. Portanto, a hipótese desse trabalho remete a indagação se o aumento de pontos amostrais adicionados aleatoriamente na grade original do mapeamento melhora as características semivariográficas do estudo. O estudo teve como objetivo avaliar a influência do aumento de pontos aleatórios em +5 % e +10% em grades amostrais originais na elaboração de mapas de fertilidade.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em três Estados distintos no Cerrado brasileiro. Foram avaliados cinco talhões (Fig. 1): três talhões estão localizados na fazenda Serrinha (município Chapadão do Céu – GO, coordenadas S: 18° 35' 38,6" S e W: 52° 30' 45,5", altitude 725,0 m); um talhão na fazenda Minuano (Chapadão do Sul – MS, coordenadas S: 18° 43' 00,1" e W: 52° 28' 42,4", altitude 786,0 m); e um talhão na fazenda São Gerônimo (Nova Ubiratã – MT, coordenadas S: 13° 23' 15,0" e W: 54° 50' 32,8", altitude 396,0 m). O clima das propriedades segundo Koppen, é do tipo Aw, classificado como tropical úmido, com estação chuvosa no verão e seca no inverno. O solo é classificado na fazenda Serrinha como Latossolo Vermelho Distrófico com textura argilosa, na fazenda Minuano o solo é Latossolo Vermelho Distrófico textura média a argilosa e na fazenda São Gerônimo como Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico e textura média a argilosa (Santos et al., 2018).

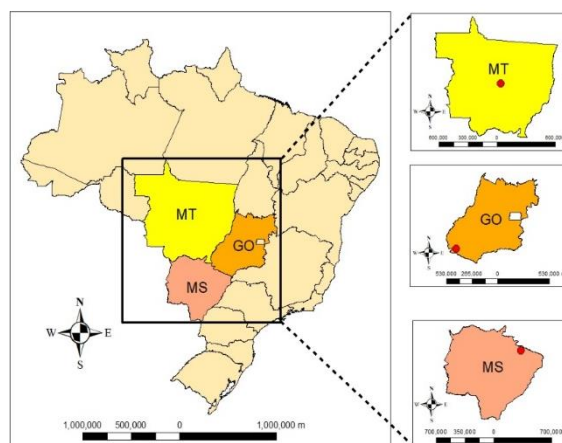


Fig. 1. Localização das Fazendas São Gerônimo (MT), Serrinha (GO) e Minuano (MS) (ESRI, 2020).

Antes de realizar as coletas das amostras de solo, foram gerados os mapas de pontos automaticamente pela utilização do programa ESRI ArcGis 10.6.1 (Esri, 2020a) a cada 180 m ($3,20 \text{ ha ponto}^{-1}$), utilizando grade regular, exceto na Fazenda Minuano onde foi utilizada a metodologia de distribuição dos pontos amostrais no centro dos polígonos de Thiessen. A distribuição das sub-amostras foi realizada conforme a existência de manchas recorrentes, observadas em imagens de satélite, e quando não era o caso, foram distribuídas de forma aleatória. A área e distribuição dos pontos por talhão estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1

Área total dos talhões e distribuição do quantitativo de pontos amostrais por área.

		área total (ha)	ha ponto ⁻¹
Original	Faz Ser1	108,20	4,44
	Faz Ser2	372,23	4,38
	Faz Ser3	311,84	3,78
	Faz Min	311,82	5,06
	Faz SG	1.338,53	4,23
+5%	Faz Ser1	108,20	4,17
	Faz Ser2	372,23	4,15
	Faz Ser3	311,84	3,59
	Faz Min	311,82	4,75
	Faz SG	1.338,53	4,01
+10%	Faz Ser1	108,20	3,97
	Faz Ser2	372,23	3,94
	Faz Ser3	311,84	3,40
	Faz Min	311,82	4,54
	Faz SG	1.338,53	3,81

Ser1: Fazenda Serrinha – Talhão 1; Ser2: Fazenda Serrinha – Talhão 2; Ser3: Fazenda Serrinha – Talhão 3; Min: Fazenda Minuano; Faz SJ: Fazenda São Gerônimo.

É recomendado aumentar no semivariograma a densidade de pontos na curta escala para melhorar o ajuste do modelo teórico, ou seja, adicionar pontos extras a grade já estabelecida, aumentar cerca de 10% o número de pontos a partir dela, sendo esses com menor distância amostral e de forma aleatória (Santos et al., 2016). Foram acrescentados pontos para serem gerados na curta escala de +5% e +10% a partir da grade original. O layout foi através do programa Avenza, o qual foi utilizado para a navegação até os pontos no campo.

Foi realizada a coleta de 654 amostras nas três fazendas, sendo uma dessas dividida em três talhões, totalizando, portanto, cinco talhões em estudo (Fig. 2). Foram coletadas 8 sub amostras entre 5 e 15 m do ponto central, sendo a primeira sub amostra descartada para limpeza da broca e do recipiente coletor, utilizando um quadriciclo Honda four trax 420, com amostrador Saci Trail Automático 0-80, na profundidade de 0–0,20 m.

As amostras foram encaminhadas ao laboratório de análise de solo. As qualificações dos teores dos nutrientes seguiram a metodologia da Embrapa Solos (Teixeira et al., 2017).

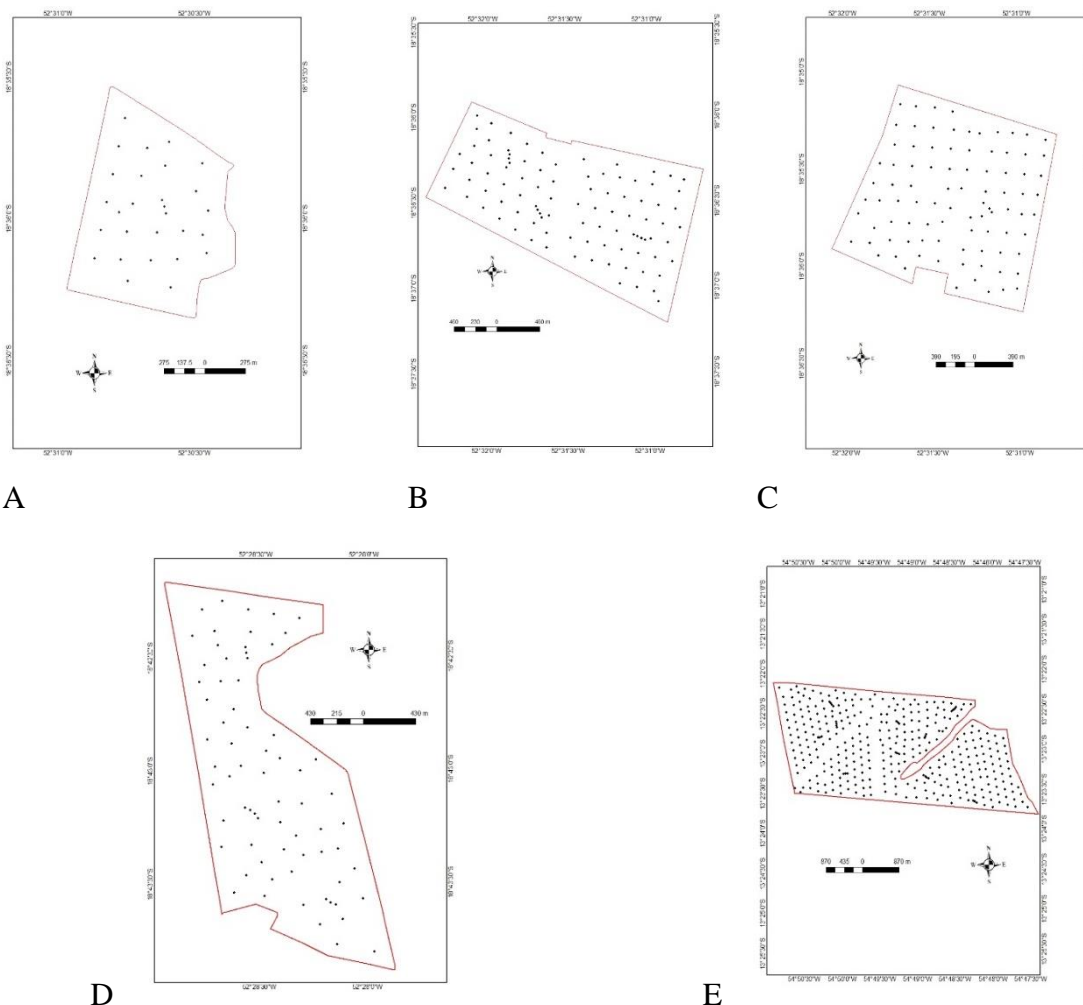


Fig. 2. Mapas de localização dos pontos originais, com +5% e com +10%. Fazenda Serrinha, talhões 1 (A), 2 (B) e 3 (C); Fazenda Minuano, talhão 4 (D) e Fazenda São Gerônimo, talhão 5 (E).

Os atributos avaliados foram pH, cálcio, magnésio, potássio, fósforo, CTC e V. Na análise estatística calculou-se a média, mediana, desvio padrão, assimetria e curtose. Os dados discrepantes (*outliers*) foram filtrados seguindo a metodologia de Tukey (1977a). Por essa metodologia pode-se considerar um dado discrepante (*outlier*) aquele valor que esteja fora do intervalo calculado entre 1,5 a 3,0 unidades da amplitude interquartil. A unidade utilizada neste trabalho foi de 1,5 para diminuir a tolerância do método para a identificação dos dados discrepantes. A metodologia por desvio não foi utilizada pois iria retirar muito mais pontos da malha amostral, comparada à metodologia descrita por Tukey (1997b). Portanto, poderia descaracterizar a avaliação em si, devido a presença de inúmeros dados discrepantes na malha adicional de +5 e de +10%.

O programa utilizado na confecção dos mapas foi o ESRI ArcGis 10.6.1 (Esri, 2020b). Através dele foi realizada a análise geoestatística segundo os preceitos da variabilidade espacial descrita por Matheron (1963). Foram elaborados os

semivariogramas de cada talhão, para cada variável e para cada densidade amostral. Os semivariogramas foram modelados utilizando como fator de decisão do mais adequado o processo de validação cruzada.

Foi analisado de cada atributo do mapa original, +5% e +10% afim de selecionar o melhor mapa, os parâmetros da geoestatísticos calculando a dependência espacial, valor “a” e “b” da equação da validação cruzada, raiz quadrada média padronizada (RMSE), raiz quadrada média (RMS), erro médio padrão (EMP) e a diferença entre o RMS e EMP.

CITAÇÃO.

Segundo Moraes et al. (2016), para verificar a dependência espacial, deve-se calcular o índice de dependência espacial (Equação 1). Através do cálculo é classificado aqueles semivariogramas que apresentarem $\leq 25\%$ fraca dependência espacial, quando estiver entre 25% e 75% moderada e $\geq 75\%$ forte.

$$IDE = \left[\frac{C}{C+CO} \right] * 100 \quad (1)$$

onde: C é a contribuição; CO efeito pepita.

A diferença entre o RMS e EMP é uma forma mais válida na hora de escolher o melhor modelo ao comparar com outro, do que utilizar apenas o valor do RMSE. Analisar essa diferença é melhor pois quando é previsto um ponto sem dados se tem apenas o erro padrão estimado para avaliar a incerteza dessa previsão. Primeiro deve-se verificar a diferença entre eles, que quanto menor melhor e posteriormente analisar se o valor do RMSE está próximo de um (Esri, 2020c).

É necessário definir o melhor modelo para ajustar aos pontos de tal técnica, afim de se obter a krigagem mais correta possível. Uma maneira para essa definição, é através validação cruzada. É comparado os valores amostrados e estimados, verificando assim o erro da estimação e escolhendo o melhor semivariograma (Lundgren et al., 2017).

Após escolher o melhor modelo, foi realizada a interpolação pelo método da krigagem ordinária dos pontos amostrais. Essa é uma das técnicas de interpolação mais utilizada e se mostra a mais completa entre outras técnicas. Ela integra a correlação espacial e a dependência de um atributo conhecido, oferecendo a melhor estimativa linear imparcial de uma variável regionalizada em um local que não foi amostrado. Ela que irá predizer os valores nos locais não amostrados (Mirzaee et al., 2016).

Foi realizada a análise de agrupamento, a fim de avaliar o quanto o aumento da densidade de pontos influenciou no semivariograma. A análise é feita através das

variáveis canônicas, que é uma multivariada, feita para mensurar a correlação entre os tratamentos e verificar o que influenciou na similaridade (Bhering, 2017).

Dentre os métodos de comparação de mapas, destaca-se o método através do coeficiente de desvio relativo (CDR). Ele utiliza a diferença média dos valores interpolados por krigagem utilizando uma grade estratificada como referência. O CDR possibilita uma boa comparação entre os mapas, porém, é de grande relevância ter uma boa quantidade de pontos para o sucesso a aplicação. Quando mais baixa a porcentagem encontrada, mais similares os mapas apresentaram (Cherubin, 2015). O CDR (Equação 2) expressa a dissimilaridade entre dois mapas no módulo. Todos os valores das variáveis foram convertidos para valores percentuais, a fim de comparar suas diferentes unidades.

$$CDR = \sum_{i=1}^n \left| \frac{P_{ij} - P_{iref}}{P_{iref}} \right| * \frac{100}{n} \quad (2)$$

onde: n é o número de pontos; P_{ij} é o valor da variável na amostra pontual específica; P_{iref} é o valor da variável de referência do mesmo ponto amostral.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dentre as variáveis analisadas, o pH foi o atributo que apresentou menor discrepância, apontando 3,8% de variação (Tabela 2), visto que as fazendas são adeptas a correção de solo em safras anteriores e por isso já há certa estabilidade, corroborando com o trabalho de Carneiro et al. (2016), que também observaram em seu trabalho menor variação para o pH em relação aos atributos.

O fósforo e o potássio foram os atributos que apresentaram maior variação (Tabela 2). Segundo Bottega (2013), a variação do P é bem comum no Cerrado e pode ocorrer devido as aplicações contínuas de fertilizantes em taxa fixa ao longo dos anos agrícolas.

Tabela 2

Análise estatística descritiva dos valores mensurados para as variáveis pH, cálcio, magnésio, potássio, fósforo, CTC e V.

	pH	Ca	Mg	K	P	CTC	V
	-	cmol _c dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³	%
Mínimo	4,8	1,6	0,6	12,0	3,9	4,3	38,9
Máximo	6,0	6,3	3,2	216,0	151,0	13,8	72,6
Mediana	5,4	2,6	1,0	52,3	25,8	6,4	58,0
Média	5,4	3,0	1,3	72,8	27,3	7,9	57,7
Desvio Padrão	0,2	1,0	0,5	42,8	12,6	2,6	5,5
Coef. de Variação	3,8%	33,3%	40,9%	58,9%	46,0%	33,1%	9,6%
Assimetria	-0,1	1,0	0,7	0,7	3,0	0,6	-0,1
Curtose	-0,1	0,2	-0,7	-0,9	22,3	-1,3	-0,1

É possível observar que os atributos P e K foram os que demonstraram maior variabilidade, chegando a quase 100%, porém o P destacou-se por seu elevado número de outliers. O pH foi o que apresentou menor variação dentre as variáveis analisadas, cerca de 20%.

A diferença entre o RMS e o EMP, diminuiu conforme aumentou o número de pontos, ou seja, ao aumentar em +10% o número de pontos na grade, foi apresentado um melhor modelo. Os atributos P e pH foram o que apresentaram maiores valores desta diferença, já o K, Ca, Mg e V apresentaram valores inferiores (Tabela 3).

Os modelos que se adequaram aos atributos analisados foi o gaussiano e o exponencial, representando 60,95% e 39,05% respectivamente (Tabela 3). Carneiro et al. (2016), ao analisar a variabilidade espacial em solos do cerrado, verificaram o modelo gaussiano na maioria das variáveis.

Houve redução no alcance geral quando comparado o mapa original com o +10%, pois mapeou melhor a curta escala (Tabela 3). Ao apresentar alcance menor, pode-se entender que a correlação é maior, permitindo uma melhor interpolação (Negreiros Neto et al., 2014).

Tabela 3

Análise geoestatística dos pontos originais e com o aumento de 5% e 10% das variáveis pH, cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K), fósforo (P), CTC e V. (continua)

			Mod.	Co	Co+C	A, (m)	DE (%)	Classe	a*	b*	RMSE*	RMS*	EMP*	RMS-EMP*
pH	Fazenda Serrinha - 1	Original	Exponencial	0,0000	0,0226	326,5289	100,0000	Forte	-0,0297	5,5583	1,0320	0,1534	0,1471	0,0063
		5%	Exponencial	0,0052	0,0227	311,3330	77,0925	Forte	-0,0391	5,6227	1,0199	0,1563	0,1520	0,0042
		10%	Exponencial	0,0000	0,0218	311,3330	100,0000	Forte	-0,0199	5,5200	1,0130	0,1501	0,1473	0,0028
	Fazenda Serrinha - 2	Original	Gaussiano	0,0168	0,0295	1444,4378	43,0508	Moderada	0,3374	3,4354	0,9524	0,1298	0,1370	0,0072
		5%	Gaussiano	0,0095	0,0208	1470,3682	53,8462	Moderada	0,3797	3,2198	0,9499	0,1271	0,1357	0,0086
		10%	Gaussiano	0,0175	0,0306	1473,0343	42,8105	Moderada	0,3238	3,5011	0,9375	0,1299	0,1392	0,0093
	Fazenda Serrinha - 3	Original	Gaussiano	0,0097	0,0182	440,3078	46,7033	Moderada	0,1399	4,9104	1,0391	0,1264	0,1210	0,0055
		5%	Exponencial	0,0000	0,0191	674,4189	100,0000	Forte	0,1204	5,0283	1,0537	0,1257	0,1176	0,0080
		10%	Gaussiano	0,0000	0,0174	363,1184	100,0000	Forte	0,1773	4,7096	1,0883	0,1245	0,1122	0,0123
	Fazenda Minuano	Original	Exponencial	0,0005	0,0459	2305,3713	98,9107	Forte	0,7064	1,5545	1,0944	0,0980	0,0911	0,0068
		5%	Exponencial	0,0000	0,0494	2341,4162	100,0000	Forte	0,7661	1,2367	1,0784	0,0969	0,0925	0,0044
		10%	Exponencial	0,0007	0,0481	2337,2561	98,5447	Forte	0,7446	1,3538	1,0484	0,0959	0,0943	0,0015
	Fazenda S. Gerônimo	Original	Gaussiano	0,0127	0,0212	833,2182	40,0943	Moderada	0,2142	4,2931	0,9881	0,1211	0,1228	0,0016
		5%	Gaussiano	0,0129	0,0210	830,3795	38,5714	Moderada	0,2040	4,3498	0,9895	0,1215	0,1231	0,0015
		10%	Gaussiano	0,0141	0,0210	894,1482	32,8571	Moderada	0,1698	4,5344	0,9927	0,1254	0,1264	0,0011
Ca	Fazenda Serrinha - 1	Original	Exponencial	0,0000	0,0825	326,5289	100,0000	Forte	0,0679	3,4218	1,1179	0,2815	0,2521	0,0294
		5%	Exponencial	0,0000	0,0816	326,5609	100,0000	Forte	0,0902	3,3304	1,0664	0,2733	0,2547	0,0186
		10%	Exponencial	0,0000	0,0801	311,3330	100,0000	Forte	0,0648	3,4160	1,0315	0,2721	0,2605	0,0116
	Fazenda Serrinha - 2	Original	Gaussiano	0,1300	0,2650	1210,1561	50,9434	Moderada	0,3414	2,5298	1,0248	0,3967	0,3878	0,0088
		5%	Gaussiano	0,1256	0,2537	1197,0833	50,4927	Moderada	0,3526	2,4855	1,0211	0,3879	0,3805	0,0075
		10%	Gaussiano	0,1306	0,2419	1144,1891	46,0107	Moderada	0,2970	2,7094	1,0047	0,3877	0,3865	0,0012
	Fazenda Serrinha - 3	Original	Exponencial	0,0000	0,6171	1071,1678	100,0000	Forte	0,2211	3,7039	0,9525	0,6544	0,6897	0,0354
		5%	Exponencial	0,0000	0,6130	964,8738	100,0000	Forte	0,2603	3,4873	0,9505	0,6349	0,6669	0,0320
		10%	Gaussiano	0,0000	0,0565	386,1126	100,0000	Forte	0,3422	3,0869	1,0382	0,6316	0,6024	0,0293

Tabela 3

Análise geoestatística dos pontos originais e com o aumento de 5% e 10% das variáveis pH, cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K), fósforo (P), CTC e V.

(continuação)

			Mod.	Co	Co+C	A, (m)	DE (%)	Classe	a*	b*	RMSE*	RMS*	EMP*	RMS-EMP*
	Fazenda Minuano	Original	Gaussiano	0,0564	0,2293	857,2260	75,4034	Forte	0,5144	1,1782	1,0512	0,3099	0,2903	0,0196
		5%	Gaussiano	0,0399	0,2212	994,1025	81,9620	Forte	0,5023	1,2054	1,0224	0,2996	0,2894	0,0102
		10%	Gaussiano	0,0454	0,2140	951,7297	78,7850	Forte	0,4848	1,2396	0,9872	0,2950	0,2943	0,0008
	Fazenda S. Gerônimo	Original	Exponencial	0,0000	0,0737	999,0693	100,0000	Forte	0,4358	1,3231	1,0328	0,1971	0,1908	0,0063
		5%	Exponencial	0,0000	0,0725	993,7551	100,0000	Forte	0,4022	1,4033	1,0293	0,2011	0,1961	0,0050
		10%	Exponencial	0,0000	0,0728	1069,7686	100,0000	Forte	0,4065	1,4011	1,0237	0,1964	0,1928	0,0036
Mg	Fazenda Serrinha - 1	Original	Gaussiano	0,0000	0,0518	326,5289	100,0000	Forte	0,0049	1,9407	1,1663	0,2200	0,1790	0,0410
		5%	Gaussiano	0,0137	0,0496	329,6065	72,3790	Moderada	0,0222	1,9146	1,1115	0,2196	0,1913	0,0283
		10%	Gaussiano	0,0268	0,0449	390,4577	40,3118	Moderada	-0,0595	2,0762	1,0692	0,2147	0,1978	0,0169
	Fazenda Serrinha - 2	Original	Exponencial	0,0198	0,0508	269,8586	61,0236	Moderada	0,2101	1,3933	0,9703	0,2242	0,2317	0,0075
		5%	Gaussiano	0,0088	0,0515	212,6446	82,9126	Forte	0,1955	1,4319	0,9843	0,2198	0,2266	0,0068
		10%	Gaussiano	0,0059	0,0549	234,2373	89,2532	Forte	0,2552	1,3163	1,0125	0,2165	0,2223	0,0058
	Fazenda Serrinha - 3	Original	Gaussiano	0,0310	0,0551	329,8679	43,7387	Moderada	0,3730	1,3563	0,9742	0,2142	0,2205	0,0063
		5%	Gaussiano	0,0280	0,0554	349,7979	49,4585	Moderada	0,3849	1,3385	0,9757	0,2131	0,2189	0,0059
		10%	Gaussiano	0,0279	0,0556	639,1781	49,8201	Moderada	0,3826	1,3439	0,9826	0,2142	0,2185	0,0044
	Fazenda Minuano	Original	Gaussiano	0,0294	0,1207	1032,2933	75,6421	Forte	0,4809	0,7502	1,0908	0,2300	0,2058	0,0242
		5%	Gaussiano	0,0240	0,1300	2561,9784	81,5385	Forte	0,4743	0,7628	1,0335	0,2343	0,2218	0,0125
		10%	Gaussiano	0,0315	0,1302	1049,1306	75,8065	Forte	0,4934	0,7594	1,0171	0,2357	0,2280	0,0077
	Fazenda S. Gerônimo	Original	Exponencial	0,0021	0,0092	1012,6248	77,1739	Forte	0,3729	0,5664	1,0454	0,0763	0,0731	0,0032
		5%	Exponencial	0,0030	0,0092	1051,9912	67,3913	Moderada	0,3268	0,6084	1,0384	0,0781	0,0753	0,0028
		10%	Exponencial	0,0036	0,0095	1261,9773	62,1053	Moderada	0,3096	0,6252	1,0089	0,0779	0,0775	0,0004

Tabela 3

Análise geoestatística dos pontos originais e com o aumento de 5% e 10% das variáveis pH, cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K), fósforo (P), CTC e V.

(continuação)

			Mod.	Co	Co+C	A, (m)	DE (%)	Classe	a*	b*	RMSE*	RMS*	EMP*	RMS-EMP*
K	Fazenda Serrinha - 1	Original	Gaussiano	201,9959	459,7577	1289,9823	56,0647	Moderada	0,0702	112,1069	1,1215	17,6714	15,5782	2,0932
		5%	Exponencial	0,0000	255,2068	359,1818	100,0000	Forte	0,0295	116,2598	1,1034	17,6066	15,7082	1,8983
		10%	Exponencial	0,0000	266,7722	326,5289	100,0000	Forte	0,0862	110,6778	1,0719	17,0110	15,4469	1,5641
	Fazenda Serrinha - 2	Original	Gaussiano	207,5442	538,2912	986,6223	61,4439	Moderada	0,2945	87,5575	1,0714	17,3038	16,0603	1,2434
		5%	Gaussiano	210,0091	548,8654	944,6183	61,7376	Moderada	0,3199	85,2163	1,0664	17,3523	16,1685	1,1838
		10%	Gaussiano	221,1615	535,3591	998,7625	58,6891	Moderada	0,2873	88,6286	1,0520	17,2838	16,3428	0,9411
	Fazenda Serrinha - 3	Original	Gaussiano	156,5979	237,3312	708,5576	34,0171	Moderada	0,2049	103,0570	0,9754	13,3973	13,7455	0,3481
		5%	Gaussiano	143,1800	239,9541	701,3949	40,3303	Moderada	0,2490	97,1460	0,9802	12,9900	13,2638	0,2738
		10%	Gaussiano	146,9627	245,3193	743,5484	40,0933	Moderada	0,2454	97,3014	0,9917	13,1698	13,2951	0,1252
	Fazenda Minuano	Original	Exponencial	1,8670	232,4578	1679,9141	99,1968	Forte	0,7921	6,7849	1,1532	8,4386	7,8728	0,5658
		5%	Exponencial	0,0388	221,7691	1601,3400	99,9825	Forte	0,8150	6,3721	1,1397	8,1153	7,6565	0,4588
		10%	Exponencial	0,0000	237,5237	1627,9736	100,0000	Forte	0,8079	6,5395	1,1426	7,9705	7,5260	0,4445
	Fazenda S. Gerônimo	Original	Exponencial	0,0000	104,4239	471,4864	100,0000	Forte	0,3506	27,7646	1,0353	8,5615	8,2407	0,3208
		5%	Gaussiano	52,8874	110,5987	591,5401	52,1808	Moderada	0,3187	29,8118	1,0181	9,1108	8,9268	0,1840
		10%	Exponencial	0,0000	117,2254	674,7550	100,0000	Forte	0,3183	30,1493	0,9845	8,9483	9,0911	0,1427
P	Fazenda Serrinha - 1	Original	Exponencial	0,0000	54,4879	359,1818	100,0000	Forte	0,1700	35,9036	1,1288	8,3911	7,3529	1,0381
		5%	Exponencial	0,0000	52,0096	359,1818	100,0000	Forte	0,1558	35,6846	1,1280	8,1520	7,1378	1,0142
		10%	Exponencial	0,0000	48,8374	359,1818	100,0000	Forte	0,1527	35,4614	1,1239	7,9285	6,9616	0,9670
	Fazenda Serrinha - 2	Original	Gaussiano	36,6161	94,4252	731,8621	61,2221	Moderada	0,3164	18,9845	1,0664	7,5685	7,5685	0,0000
		5%	Gaussiano	37,9008	96,8074	701,2308	60,8524	Moderada	0,3996	17,2346	1,0360	7,4714	7,1959	0,2755
		10%	Gaussiano	44,1152	92,5393	724,1619	52,3281	Moderada	0,3022	20,0046	1,0164	7,6485	7,5333	0,1152
	Fazenda Serrinha - 3	Original	Gaussiano	69,0651	99,3868	408,5639	30,5088	Moderada	0,1869	27,9715	0,9968	9,6248	9,6620	0,0372
		5%	Gaussiano	68,3590	97,5915	416,2471	29,9539	Moderada	0,2044	27,2439	0,9965	9,5040	9,5321	0,0281
		10%	Gaussiano	73,6665	91,3717	401,5618	19,3771	Fraca	0,1166	30,2293	0,9993	9,5319	9,5419	0,0100

Tabela 3

Análise geoestatística dos pontos originais e com o aumento de 5% e 10% das variáveis pH, cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K), fósforo (P), CTC e V. (continuação)

			Mod.	Co	Co+C	A, (m)	DE (%)	Classe	a*	b*	RMSE*	RMS*	EMP*	RMS-EMP*
	Fazenda Minuano	Original	Exponencial	0,0000	59,8124	540,7626	100,0000	Forte	0,5757	9,5496	1,1356	6,0312	5,2477	0,7834
		5%	Gaussiano	16,4333	54,5339	534,7537	69,8659	Moderada	0,5002	11,2645	1,0894	5,9775	5,4454	0,5320
		10%	Gaussiano	18,9619	56,5592	573,8926	66,4742	Moderada	0,5116	10,6352	1,0654	5,9462	5,5536	0,3926
	Fazenda S. Gerônimo	Original	Gaussiano	24,6932	62,2206	871,4722	60,3135	Moderada	0,4041	14,8070	0,9923	6,1029	6,1621	0,0593
		5%	Gaussiano	37,9466	63,8638	836,8999	40,5820	Moderada	0,3192	16,5806	0,9894	6,6193	6,6894	0,0701
		10%	Gaussiano	38,6330	71,1629	1261,6225	45,7119	Moderada	0,2982	16,5481	0,9270	6,8950	7,4798	0,5847
CTC	Fazenda Serrinha - 1	Original	Gaussiano	0,3543	0,4143	1289,9823	14,4823	Fraca	-0,0801	11,9182	1,0454	0,6548	0,6255	0,0293
		5%	Exponencial	0,1097	0,3733	342,4664	70,6134	Moderada	-0,1048	12,1962	1,0322	0,6591	0,6310	0,0281
		10%	Exponencial	0,0736	0,3696	342,4664	80,0866	Forte	-0,1045	12,1788	1,0358	0,6480	0,6218	0,0263
	Fazenda Serrinha - 2	Original	Gaussiano	0,1203	0,1991	1432,2836	39,5781	Moderada	0,1246	9,7226	1,0694	0,3934	0,3665	0,0270
		5%	Gaussiano	0,1175	0,1998	1505,8100	41,1912	Moderada	0,1427	9,5163	1,0608	0,3843	0,3612	0,0231
		10%	Gaussiano	0,1139	0,1949	1445,4576	41,5598	Moderada	0,1910	8,9641	1,0459	0,3730	0,3558	0,0172
	Fazenda Serrinha -3	Original	Gaussiano	0,0000	1,0443	329,8679	100,0000	Forte	0,3774	7,2042	1,0336	0,9422	0,9039	0,0384
		5%	Exponencial	0,0000	1,1134	645,8235	100,0000	Forte	0,3659	7,3988	1,0203	0,9115	0,8871	0,0244
		10%	Exponencial	0,0000	1,0482	639,1781	100,0000	Forte	0,3494	7,5976	1,0194	0,9071	0,8833	0,0238
	Fazenda Minuano	Original	Gaussiano	0,2751	1,6912	1178,3192	83,7334	Forte	0,6902	2,2650	0,9884	0,6353	0,6638	0,0285
		5%	Gaussiano	0,2450	1,8902	1164,9352	87,0384	Forte	0,7349	1,8252	0,9500	0,6184	0,6737	0,0553
		10%	Gaussiano	0,1106	1,9619	1348,8066	94,3626	Forte	0,7602	1,6171	0,9197	0,5691	0,6424	0,0733
	Fazenda S. Gerônimo	Original	Exponencial	0,0000	0,2041	782,0225	100,0000	Forte	0,5854	2,4375	1,0330	0,3325	0,3178	0,0147
		5%	Gaussiano	0,0855	0,2821	2369,5033	69,6916	Moderada	0,4989	2,9699	1,0165	0,3660	0,3584	0,0076
		10%	Gaussiano	0,1262	0,2898	1964,5508	56,4527	Moderada	0,4226	3,4318	0,9958	0,3874	0,3888	0,0014

Tabela 3

Análise geoestatística dos pontos originais e com o aumento de 5% e 10% das variáveis pH, cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K), fósforo (P), CTC e V.

(conclusão)

			Mod.	Co	Co+C	A, (m)	DE (%)	Classe	a*	b*	RMSE*	RMS*	EMP*	RMS-EMP*
V	Fazenda Serrinha - 1	Original	Exponencial	0,0000	13,7922	342,4664	100,0000	Forte	-0,0773	57,4954	1,1477	4,2327	3,6111	0,6216
		5%	Exponencial	0,0000	14,7410	342,4664	100,0000	Forte	-0,0682	56,9657	1,1133	4,1806	3,6690	0,5117
		10%	Exponencial	0,0000	14,7804	373,6239	100,0000	Forte	-0,0078	54,1544	1,0879	3,9979	3,5973	0,4006
	Fazenda Serrinha - 2	Original	Gaussiano	2,8233	25,7193	230,4658	89,0226	Forte	0,2486	40,3733	1,0028	4,9620	5,1748	0,2128
		5%	Gaussiano	0,0000	26,4947	257,3001	100,0000	Forte	0,2706	39,5177	0,9597	4,9893	5,1982	0,2089
		10%	Gaussiano	3,9924	27,8532	232,0382	85,6663	Forte	0,3314	36,0142	0,9714	5,0017	5,2055	0,2038
	Fazenda Serrinha - 3	Original	Exponencial	0,0000	15,6865	283,0301	100,0000	Forte	0,1525	52,8477	1,0109	3,8341	3,7810	0,0530
		5%	Exponencial	0,0000	17,4348	1006,2169	100,0000	Forte	0,0846	57,1737	1,0031	3,7956	3,7650	0,0306
		10%	Exponencial	0,0000	16,8257	831,1054	100,0000	Forte	0,1037	56,1885	1,0020	3,7250	3,6954	0,0296
	Fazenda Minuano	Original	Gaussiano	14,5538	71,4750	1291,4220	79,6379	Forte	0,5829	24,2831	1,1635	5,2341	4,3564	0,8778
		5%	Gaussiano	14,4066	67,3711	1199,2710	78,6161	Forte	0,5874	24,0765	1,1317	5,0637	4,3446	0,7191
		10%	Gaussiano	15,1774	69,1929	1173,2096	78,0651	Forte	0,5681	25,5292	1,1234	5,1324	4,4475	0,6849
	Fazenda S. Gerônimo	Original	Gaussiano	9,5115	19,1019	784,4681	50,2065	Moderada	0,3319	38,4979	1,0102	3,4733	3,4380	0,0353
		5%	Gaussiano	10,0906	19,1420	806,8286	47,2856	Moderada	0,3037	40,1412	1,0096	3,5329	3,5009	0,0319
		10%	Gaussiano	11,1916	18,8174	830,5585	40,5253	Moderada	0,2436	43,6025	1,0084	3,6579	3,6268	0,0311

Mod: modelo; Co: efeito pepita; Co+C: patamar; A: alcance; DE: dependência espacial; Classe: classificação conforme a dependência espacial; a*: valor a da raiz quadrada; b*: valor b da raiz quadrada; RMSE*: raiz quadrada média padronizada; RMS*: raiz quadrada média; EMP*: erro médio padrão; RMS-EMP*: diferença entre a raiz quadrada média e o erro médio padrão.

O fósforo foi o atributo que demonstrou maior valor na análise de coeficientes dos desvios relativos (CDR) ao comparar o mapa original com o +10% e +5%, é observada grande diferença entre os mapas, apresentando melhoria conforme ocorreu o aumento de número de pontos amostrados (Tabela 4) (Fig. 3). Cherubin et al. (2015), relatam que mapas com pontos mais distantes apresentam maior dissimilaridade quando comparados com os que possuem grades mais densas, e que o método de comparação pelo desvio relativo se mostra eficiente.

Tabela 4

Análise dos coeficientes dos desvios relativos (CDR) na comparação dos mapas interpolados.

		Variável Correspondente		
		Original	+5%	+10%
Ca	Original	--	1,103	2,095
	+5%	1,103	--	0,891
	+10%	2,095	0,891	--
V	Original	--	0,564	2,719
	+5%	0,564	--	2,848
	+10%	2,719	2,848	--
CTC	Original	--	1,193	3,109
	+5%	1,193	--	1,991
	+10%	3,109	1,991	--
K	Original	--	1,493	3,813
	+5%	1,493	--	3,373
	+10%	3,813	3,373	--
Mg	Original	--	2,363	4,419
	+5%	2,363	--	2,552
	+10%	4,419	2,552	--
pH	Original	--	0,602	0,529
	+5%	0,602	--	0,821
	+10%	0,529	0,821	--
P	Original	--	2,617	6,409
	+5%	2,617	--	5,461
	+10%	6,409	5,461	--

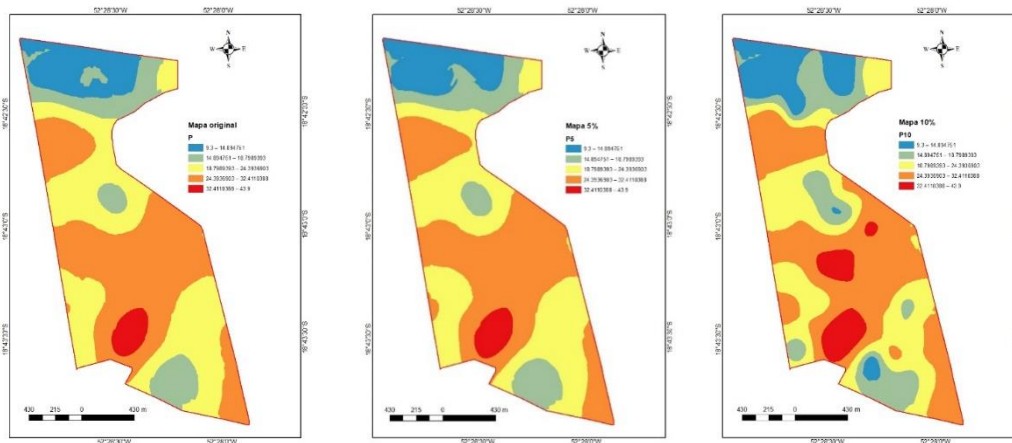


Fig. 3. Mapas do atributo fósforo da Fazenda Minuano. Mapa original (A), 5% (B) e 10% (C).

Outro que destacou-se foi o magnésio, onde o mapa +10% apresentou mais detalhamento, sendo possível verificar com mais precisão a variabilidade apresentada pelo talhão (Tabela 4) (Fig. 4). Segundo Demattê et al. (2014), o aumento do número de pontos na grade melhora a resolução do mapa, fornecendo descrições mais detalhadas dos nutrientes na área.

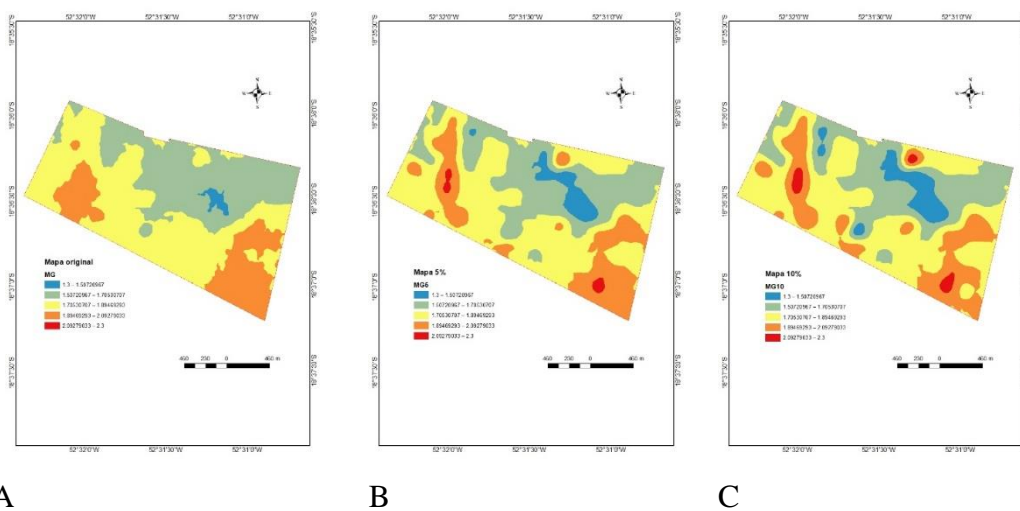


Fig. 4. Mapas do atributo magnésio da Fazenda Serrinha. Mapa original (A), 5% (B) e 10% (C).

O aumento de +10% e +5% de pontos na grade amostral aproximou os resultados, melhorando o RMS e EMP, ou seja, com uma grade maior que a original é possível ter mais precisão nos resultados e assim recomendar aplicações mais precisas na área (Figura 5). Dias et al. (2017) ao fazer a comparação entre duas grades com diferentes densidades amostrais, notaram que a grade com um maior número de pontos apresentou potencial

superior para verificar diferentes escalas de variabilidade espacial dos atributos físicos. Cherubin et al. (2015) recomendam a diminuição da malha afim de confeccionar mapas mais precisos, porém relata que, na prática, pode se tornar algo inviável economicamente e por isso se faz necessário o estudo prévio da área para poder adaptar a quantidade de coleta ideal para gerar dados confiáveis de forma rentável.

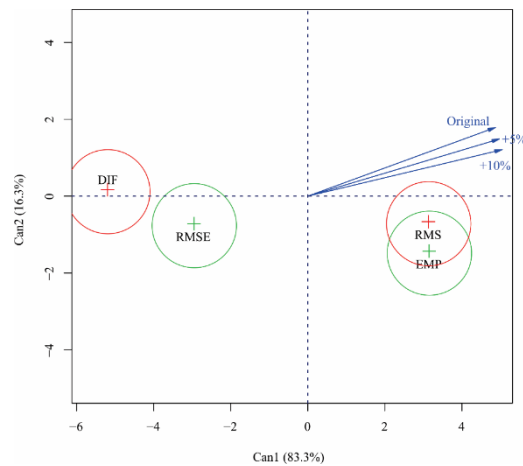


Fig. 5. Análise das variáveis canônicas para os componentes dos erros do semivariograma modelado em relação sua validação cruzada.

Observa-se que o tratamento original ficou distante, apresentando maior dissimilaridade (Fig. 5). Caon e Genú (2013) relatam que os mapas gerados com 4 a 5 ha para cada ponto possuem qualidade inferior a aqueles gerados a cada 1 ha para cada ponto.

A CTC foi a único atributo que apresentou neutralização (cor cinza), ou seja apresentou distância euclidiana igual. A variável original apresentou cores quentes em praticamente todos os atributos, já no +10% cores frias, exceto o P e o pH (Fig. 6).

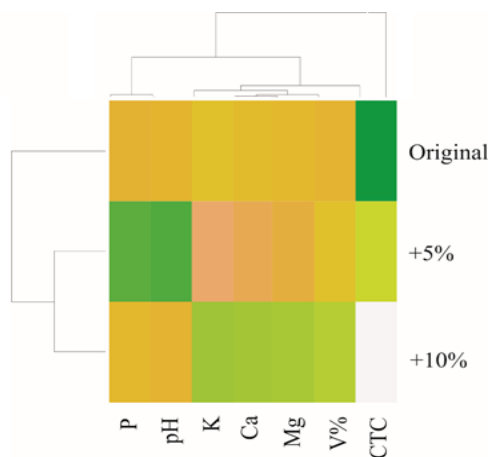


Fig. 6. Gráfico de calor relacionando os tratamentos e as variáveis mensuradas.

4. CONCLUSÕES

O modelo que mais se adequou ao trabalhar os atributos químicos do solo foi o gaussiano.

O aumento de pontos +5% em relação ao original mostrou-se eficiente para a confecção de mapas de fertilidade, porém +10% destacou-se, aproximando mais os resultados do RMS e EMP.

REFERÊNCIAS

- Bhering, L.L. 2017. Rbio: Uma ferramenta de análise biométrica e estatística usando a plataforma R. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*. 17, 187-190. <http://dx.doi.org/10.1590/1984-70332017v17n2s29>.
- Caon, D., Genú, AM. 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. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662013000600009>.
- Carneiro, J.S.S., Faria, Á.J.G., Fidelis, R.R., Neto, S.P.S., Santos, A.C., Silva, R.R. 2016. Diagnóstico da variabilidade espacial e manejo da fertilidade do solo no Cerrado. *Scientia Agraria*. 17, 38-49. <http://dx.doi.org/10.5380/rsa.v17i3.50096>.
- Cherubin, M.R., Santi, A.L., Eitel Wein, M.T., Amado, T.J.C., SIMON, D.H., Damian, J.M. 2015. Dimensão da malha amostral para caracterização da variabilidade espacial de fósforo e potássio em Latossolo Vermelho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 50, 168-177. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2015000200009>.
- Dias, F.P.M., Castro, J.R., Nunes, F.J., Nonato, A.C.R., Botelho Jr., F., Fé, J.A.R., Santos, D.N., Nóbrega, J.C.A. 2017. Eficiência de malhas amostrais na caracterização da variabilidade espacial de atributos físicos do solo. *Anuário do Instituto de Geociências*. 40, 31-36. http://dx.doi.org/10.11137/2017_2_31_36.
- Demattê, J.A.M., Demattê, J.L.I., Alves, E.R., Negrão, R. Morelli, J. L. 2014. Precision Agriculture for Sugarcane Management: A strategy applied for brazilian conditions. *Acta scientiarum. Agronomy*. 36, 111-117. <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v36i1.17664>.
- ESRI, 2018. ArcGIS 10.6.1. Disponível em: <<http://www.esri.com/en/arcgis/products/arcgis-pro/overview>>. Acesso em 03 de outubro de 2020.

- Isaaks, E.H., Srivastava, R.M. 1990. An Introduction to Applied Geostatistics. Oxford University Press, New York, pp. 561.
- Leite, C.W., Luz, C.A.S., Luz, M.L.G.S., Gadotti, G.I., Navroski, R. 2017. Nota técnica: zonas de manejo nos níveis de fósforo e potássio no solo e a produtividade de arroz irrigado. *Revista Engenharia na Agricultura*. 25, 164-172. <http://dx.doi.org/10.13083/reveng.v25i2.749>.
- Lundgren, W.J.C., Silva, J.A.A.D., Ferreira, R.L.C. 2017. A Precisão da Estimativa do Erro da Krigagem pela Validação Cruzada. *Floresta e Ambiente*. 24, e00124114. <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.124114>.
- Machado, J., Shinohara, N.K., Padilha, M.R., SILVA, K.E., Barreto, T.S.P., Silva, A.G. 2018. Agricultura de Precisão: Programas Tecnológicos no Brasil. *Revista Geama*. 4, 23-30.
- Matheron, G. 1963. Princípios de geoestatística. *Geologia econômica*. 58, 1246-1266. <http://dx.doi.org/10.2113/gsecongeo.58.8.1246>.
- Mirzaee, S., Ghorbani-Dashtaki, S., Mohammadi, J., Asadi, H., Asadzadeh, F. 2016. Spatial variability of soil organic matter using remote sensing data. *Catena*. 145, 118-127. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2016.05.023>.
- Molin, J. P., Amaral, L.R., Colaço, A. 2015. Agricultura de Precisão, 1a ed. Oficina de Textos, São Paulo, pp. 248.
- Moraes, D.A.C., Spadotto, C. A., Sartori, A. A. C., Zimback, C. R. L. 2016. Variabilidade espacial do risco de contaminação de águas subterrâneas por tebuthiuron em área de cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 5, 1992-1999. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2016001200010>.
- Muniz, Y.S., Sousa, T.Y.O., Neto, C.B., Vieira, K.R.S., Vieira, E.G.S., Reis, M.G.F. 2018. Análise da fertilidade do solo em área experimental da Universidade Estadual do Maranhão. *Revista Craibeiras de Agroecologia*. 2, 1-3. Disponível em: <<https://www.seer.ufal.br/index.php/era/article/view/6122>>. Acesso em 10 de dezembro de 2020.
- Neto, J.V.N., Santos, A.C., Guarnieri, A., Souza, D.J.A.T., Daronch, D.J., Dotto, M.A., Araújo, A.S. 2014. Variabilidade espacial de atributos físico-químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico em sistema plantio direto. *Semina: Ciências Agrárias*. 35, 193-204. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2014v35n1p193>.
- Oliveira, R.P., Grego, C.R., Brandão, Z.N. 2015. Geoestatística aplicada na Agricultura de Precisão utilizando o Vesper, vigésima terceira ed. Brasília, Distrito Federal.

Disponível em:

<<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/146837/1/GeoVesper-cap-3.pdf>> Acesso em 10 de outubro de 2020.

Resende, A.V., Coelho, A.M. 2017. Amostragem para mapeamento e manejo da fertilidade do solo na abordagem de Agricultura de Precisão. Embrapa Milho e Sorgo- Artigo em periódico indexado (ALICE). <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1081571/1/Amostragemmapeamento>> Acesso em 16 de outubro de 2020.

Santos, C.L.R., Flores, R.A., Leal, A.J.F., Maranhao, D.D.C., Baio, F.H.R., Arruda, E. M. 2016. Critérios para amostragem de solo, in: Flores, R.A., Cunha, P.P. (Org.), Práticas de manejo do solo para adequada nutrição de plantas no cerrado. Gráfica UFG, Goiânia, pp. 107-124. Disponível em: <<https://repositorio.ifgoiano.edu.br/handle/prefix/1336>> Acesso em 10 de dezembro de 2020.

Santos, H.G., Jacomine, P.K.T., Anjos, L.H.C., Oliveira, V.A., Lumberras, J.F., Coelho, M.R., Cunha, T.J.F. 2018. Sistema brasileiro de classificação de solos, 5a ed. Embrapa, Brasília, pp. 117-120. ISBN 978-85-7035-817-2.

Teixeira, P.C., Donagema, G.K., Fontana, A., Teixeira, W.G., 2017. Manual de Métodos de Análise de Solo, 2ª ed. Embrapa, Rio de Janeiro, pp. 4-173. ISBN 978-85-7035-771-7.

Tukey, J.W. 1977. Exploratory Data Analysis, in: Tukey, J.W. (Eds.), Plots of relationship. Addison-Wesley Publishing Company, Boston, pp. 131-160. ISBN 0-201-07616-0.