

Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um Latossolo Vermelho distrófico sob cultivo de cana-de-açúcar⁽¹⁾

Douglas Martins Pereira Pellin⁽²⁾, **Rafael Montanari**⁽³⁾, **Adriany Rodrigues Corrêa**⁽⁴⁾, **Adolfo Luiz Moreira de Souza e Silva**⁽⁵⁾, **Max Alexandre de Oliveira Honorato**⁽⁵⁾ e **Antonio Carlos Tadeu Vitorino**⁽⁶⁾

⁽¹⁾Trabalho executado com recursos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)

⁽²⁾Engenheiro Agrônomo, Doutorando em Agronomia, Produção Vegetal, Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD, Rodovia Dourados-Itahum, km 12, CEP 79804-970, Dourados, MS, Brasil. E-mail: douglas.martins@agronomo.eng.br

⁽³⁾Professor Doutor, Universidade Estadual Paulista, UNESP/FEIS, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, DEFERS, Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos, Rua Monção, 226, CEP: 15385-000, Ilha Solteira (SP). e-mail: montanari@agr.feis.unesp.br

⁽⁴⁾Engenheira Agrônoma, Mestre em Agronomia, Produção Vegetal, Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Unidade Universitária de Aquidauana, Rodovia Aquidauana-UEMS, Km 12, 79200-000, Aquidauana, Mato Grosso do Sul, Brasil. E-mail: adriany@agronoma.eng.br

⁽⁵⁾Graduandos em Agronomia, Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, UEMS, Unidade Universitária de Aquidauana, Rodovia Aquidauana-UEMS, km 12, CEP: 79200-000, Aquidauana, MS, Brasil. e-mail: adolfo_dm@yahoo.com.br, alexandre_honorato51@hotmail.com

⁽⁶⁾Professor, Doutor, Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD, Rodovia Dourados-Itahum, km 12, CEP 79804-970, Dourados, MS, Brasil. E-mail: antoniovitorino@ufgd.edu.br

RESUMO: No ano agrícola de 2011/2012, no município de Rio Brillhante (MS), foi analisada as correlações lineares e espaciais da produtividade da cultura da cana-de-açúcar com atributos químicos de um Latossolo Vermelho distrófico. O objetivo foi selecionar, entre os atributos pesquisados do solo, aquele com melhor representatividade para explicar a variabilidade da produtividade de colmos por hectare (TCH). Foi instalada uma malha geoestatística, para a coleta de dados do solo e planta, com 80 pontos amostrais, numa área de 80 ha. A obtenção dos resultados foi feita por métodos de análises estatísticas e geoestatísticas. A matéria orgânica correlacionou-se significativamente com a tonelada de colmos por hectare nas duas profundidades avaliadas, apresentando ser um bom indicador da qualidade do solo. Os valores de alcances da dependência espacial para trabalhos futuros utilizando os mesmos atributos deverão estar compreendidos entre 246 (TCH) e 760 m (pH1).

Termos de indexação: *Saccharum spp.*, geoestatística, fertilidade do solo.

INTRODUÇÃO

No cultivo da cana-de-açúcar são necessárias diversas operações de preparo do solo, com a utilização de grades aradoras e subsoladores, além do uso de tratores e outros implementos que contribuem para a degradação da estrutura e queda de fertilidade do solo para a efetuação do plantio (SOUZA et al., 2009). O preparo intensificado do solo para o cultivo da cana-de-açúcar, segundo Souza et al. (2010b), causa modificação na estrutura

do mesmo. Para Souza et al. (2010a) saber quantificar os atributos do solo é fundamental para a tomada de decisão mais adequada quanto ao preparo e manejo do solo visando a obtenção de maiores produtividades.

O estudo da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo por meio da utilização da ferramenta geoestatística pode indicar alternativas de manejo que propiciem a minimização do efeito da variabilidade dos atributos químicos do solo sobre os cultivos. Assim, permite-se modelar e analisar a variabilidade espacial dos atributos de interesse agrícola gerando mapas de variabilidade espacial sem tendência e com variância mínima por meio da técnica de interpolação por krigagem ordinária (SOUZA et al., 2010a).

De acordo com Montanari et al. (2010) a geoestatística analisa a dependência espacial de dados georreferenciados, aos quais é ajustado o semivariograma, representado pelo gráfico da semivariância em função das distâncias entre as observações no terreno. A partir dele pode-se confeccionar o mapa de krigagem para cada atributo pesquisado, do solo ou da planta, que representa a variabilidade espacial dos dados.

Diante do exposto, esta pesquisa objetivou: a) analisar a variabilidade espacial de atributos de planta e solo; b) definir as correlações lineares e espaciais entre os atributos de planta e solo; c) pesquisar, entre os atributos químicos estudados, aqueles que melhor se correlacione espacialmente com o atributo TCH (tonelada de colmos por hectare).

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado a campo, durante os ciclos de cana planta (2003/2004) e cana soca (2004/2011). A área experimental, de propriedade da Usina Eldorado ETH – Bioenergia S/A localiza-se no município de Rio Brillante, MS, com precipitação anual de 1200 mm. O trabalho foi desenvolvido num talhão de cana-de-açúcar cultivado no sistema de colheita mecanizada sem queima prévia (*cana crua*), em solo caracterizado como Latossolo Vermelho distrófico (EMBRAPA, 2006), textura argilosa, numa área de 80 ha.

Um croqui georreferenciado foi confeccionado contendo 80 pontos distribuídos aleatoriamente de forma a cobrir a área do talhão escolhido para amostragem (80 ha). Suas coordenadas originaram uma planilha de dados de latitude e longitude de cada ponto no espaço. Com o auxílio de um GPS de bolso alimentado por essa planilha de coordenadas os pontos foram materializados num talhão de cana-de-açúcar.

O atributo da cultura estudada foi: tonelada de colmos por hectare (TCH) coletados em 80 pontos em uma área útil de 9 m² e depois extrapolada para 1 ha, e os atributos químicos do solo determinados foram o teor matéria orgânica (MO) e potencial hidrogeniônico (pH) em CaCl₂. O pH foi determinado potenciometricamente em solução de CaCl₂ 0,01M, enquanto que o carbono orgânico foi obtido pelo método da combustão úmida, via colorimétrica, resultando no teor de matéria orgânica do solo (MO) pela expressão proposta por Rajj et al. (1987).

As amostras de solo foram coletadas nas profundidades de 0,00-0,20 e 0,20-0,40m. Portanto, a síntese dos atributos do solo nas respectivas profundidades será: a) profundidade 1: pH1 e MO1; b) profundidade 2: pH2 e MO2.

Para cada atributo estudado, efetuou-se a análise descritiva clássica, com auxílio do software estatístico SAS (SCHLOTZHAVER e LITTELL, 1999). A análise geoestatística foi feita com o software GS⁺ (GS⁺, 2004).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na **Tabela 1** está apresentada a análise descritiva dos atributos estudados. De acordo com Pimentel Gomes e Garcia (2002), a variabilidade de um atributo pode ser classificada segundo a magnitude de seu coeficiente de variação (CV). Suas classes foram determinadas como baixa (CV ≤ 10%), média (10% < CV ≤ 20%), alta (20% < CV ≤ 30%) e muito alta (CV > 30%). Portanto, o atributo TCH, apresentou média variabilidade com valor de coeficiente de variação de 19,9%. Resultado

semelhante foi obtido por Souza et al. (2010a), onde trabalharam com um Argissolo Vermelho Amarelo, encontrando valor de 18,5% para TCH.

Os atributos químicos do solo pH1 e pH2 (Tabela 1) apresentaram baixa variabilidade com coeficientes de variação entre 6,2 e 8,3%, respectivamente. Para a MO1 e MO2 apresentou alta variabilidade com coeficiente de variação entre 21,4 e 26,3 %. De forma geral, os dados foram semelhantes aos obtidos por Souza et al. (2010) tendo seus valores respectivamente 7,69; 7,05 (pH1 e pH2) e 26,64; 29,00 (MO1 e MO2) trabalhando com cana-de-açúcar em um Argissolo Vermelho Amarelo. O baixo coeficiente, indica que o solo não teve muita variação no pH com o passar dos 8 anos de cultivos seguidos sem renovação do canavial. Já para o teor de matéria orgânica teve uma alta variação, pois com o passar do tempo de cultivo e dos cortes, acrescentou maior incremento de matéria orgânica, onde ocorreu uma mineralização da mesma, auxiliando na melhoria das propriedades químicas do solo.

Quando uma variável estatística qualquer possuir distribuição de frequência do tipo normal, a medida de tendência central mais adequada para representá-la deve ser a média. Em contrapartida, ou será pela mediana, ou pela média geométrica, caso possua distribuição de frequências do tipo lognormal (ROSA FILHO et al., 2009). O atributo TCH apresentou distribuição de frequência do tipo normal, com valor do teste de normalidade de Shapiro e Wilk (1965), de 0,065 a 5% de probabilidade, concordando com Dalchiavon (2012).

A distribuição de frequência dos atributos químicos do solo foi do tipo normal. Apenas pH2 obteve o modelo de frequência do tipo tendendo a normal, demonstrando heterogeneidade dos dados, o que pode ser “herança” do preparo inicial do solo. Frequência semelhante foi obtida por Dalchiavon, Gioia (2012) quando avaliaram cana de açúcar com geoestatística em um Argissolo Vermelho eutrófico e distrófico, respectivamente.

Ainda na **Tabela 1** pode-se observar que a média do atributo TCH foi de 59,64 t ha⁻¹ valor abaixo da média nacional (70,3 t ha⁻¹) e do estado do Mato Grosso do Sul (70,7 t ha⁻¹) (CONAB, 2012). Esse dado discorda dos obtidos por Carvalho et al. (2011) avaliando a produtividade de cana-de-açúcar num Latossolo Vermelho distrófico, para análise de custos de produção dos diferentes sistemas de preparo do solo e estudo das possíveis alterações nos atributos físicos encontraram um alto valor de TCH em cana planta de (146,20 t ha⁻¹), valor esse duas vezes superior ao da média nacional. Entretanto, Souza et al. (2010a) analisando os atributos do solo e a produtividade da cultura de cana-de-açúcar com o uso da geoestatística e

árvore de decisão, obtiveram produtividade de 11,4% superior ao do presente trabalho. A baixa produtividade obtida pode ser devido ao fato à cana-de-açúcar estar na 8ª safra, sendo a área posteriormente renovada, e também pelo fato de no inverno do último corte ter ocorrido uma forte geada comprometendo ainda mais a produtividade.

As médias de pH1 e pH2 foram 5,25 e 5,27, respectivamente. Souza et al (2010c) avaliando a variabilidade dos atributos do solo e cana em um Latossolo Vermelho obtiveram valores de pH de 5,8.

Apesar de os níveis de matéria orgânica no solo se apresentarem diferentemente entre as camadas avaliadas (**Tabela 1**), ambas estavam na faixa de médio teor (18,56 e 14,18 g dm⁻³). Uma das características marcantes da palhada presente no solo após a colheita é o aumento do teor de MO na camada superficial do solo (0-0,10 m) com o decorrer do tempo de implantação do sistema, reflexo da ausência de preparo do solo, da quantidade e da qualidade dos resíduos das culturas ao longo dos anos.

A razão do acréscimo de MO decorre do fato de a taxa de decomposição da palha mantida na superfície do solo ser menor do que se fosse incorporada. Em consequência, a alteração no teor de MO, tanto em quantidade como em qualidade, tem implicações graduais nas alterações do pH (associada aos seus teores de cátions de reação básica e carbono orgânico solúvel) e na toxidez por Al, por meio de hidrólise ou complexação por ácidos orgânicos, conforme salientado por Zanão Júnior et al. (2007).

Entre os atributos estudado da cultura da cana-de-açúcar e químicos do solo, foi constatada uma correlação, significativa a 5 % de probabilidade, entre os pares TCH x MO1 ($r = 0,242^*$) e TCH x MO2 ($r = 0,370^*$). Braga (2011) pesquisando as inter-relações entre produtividade de cana-de-açúcar e atributos químicos de um Argissolo do noroeste paulista encontraram para a profundidade de 0,00 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m, uma correlação significativa positiva direta entre o TCH x MO, indicando que, com o aumento da MO1 obtém-se maior tonelada de colmo por hectare.

O TCH, em função do atributo do solo MO1 e MO2, pôde ser estimada pelas seguintes equações de regressão: TCH = 4,605.10 + 4,605.10.MO1 com ($r^2 = 0,242^*$; n = 80) e TCH = 4,416.10 . exp^{MO2} . 1,980.10⁻² com ($r^2 = 0,370^*$; n = 80), indicando que as variações dos atributo MO1 e MO2, entre 7,00 e 26,00 g dm³(MO1) e 6,00 e 22,00(MO1) acarretará em uma variação da TCH entre 31,9 e 101,11 t ha⁻¹, que corresponde a uma diferença de 69,21 t ha⁻¹.

Foi encontrada dependência espacial para todos os atributos estudados, onde foram ajustados os semivariogramas simples da planta e químicos do

solo (**Tabela 2**). Os atributos TCH, MO1, MO2, pH1 e pH2 apresentaram dependência espacial entre média (pH1; ADE = 54,2%) e muito alta (TCH; ADE = 84,3%)., cujos modelos de semivariogramas que melhor ajustaram-se foram do tipo exponencial para TCH e MO2; esférico para MO1 e pH1 e gaussiano para pH2.

No tocante ao desempenho dos semivariogramas, a relação decrescente deles, analisada pelo coeficiente de determinação (r^2), foi a seguinte: 1- pH2 (0,953), 2- MO1 (0,930), 3- pH1 (0,929), 4- MO2 (0,848) e 5- TCH (0,361). Também com relação ao avaliador da dependência espacial (ADE), a referida relação foi: 1- TCH (84,3%), 2- MO2 (72,7%), 3- pH2 (60%), 4- MO1 (54,4%) e 5- pH1 (54,2%).

Dessa forma, em relação aos primeiros, que tiveram os mais elevados coeficientes de determinação espacial observou-se o seguinte: pH2, seu r^2 (0,953) foi o melhor ajuste semivariográfico, apresentando um ADE alto (60%), com um alcance de 740 metros e modelo gaussiano, ficando na mesma ordem de grandeza dos obtidos por Souza et al. (2010a) pH2, r^2 (0,65) com ADE (67%).

Na **figura 1** estão contidos os mapas de krigagem obtidos dos atributos que apresentaram dependência espacial. Ao analisarmos os 5 mapas obtidos, pode-se observar que os menores valores tanto de pH1, pH 2 e MO1 (**Figura 1a, 1c e 1d**) foram mapeados sítios mais abaixo do mapa.

Os diferentes valores de TCH apareceram distribuídos aleatoriamente em todo mapa, onde que as regiões mais escuras do mapa foram as que apresentaram os menores valores de produtividade, vice-versa. Diante disso, ao observar os 5 mapas de krigagem, pode-se indicar alternativas de manejo em sítios específicos da área avaliada, visando o acréscimo de produtividade.

CONCLUSÕES

A matéria orgânica correlacionou-se significativamente com a tonelada de colmos por hectare nas duas profundidades avaliadas, apresentando ser um bom indicador da qualidade do solo.

Os valores de alcances da dependência espacial para trabalhos futuros utilizando os mesmos atributos deverão estar compreendidos entre 246 (TCH) e 760 m (pH1).

REFERÊNCIAS

BRAGA, J.A. **Inter-relações da produtividade de cana-de-açúcar com atributos físico-químicos de um Argissolo Vermelho eutrófico do noroeste Paulista.**



2011. 87f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2011.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Cana-de-açúcar**. Quadro Comparativo de Área, Produção e Produtividade, Safra 2012/2013 - 1º Levantamento. Abril 2012. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conabweb>>.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa/CNPQ, 2006. 306 p.
- GS⁺. **Geostatistics for environmental sciences**. 7. ed. Michigan, Plainwell: *Gamma Design Software*, 2004. 159p
- MONTANARI, R.; CARVALHO, M. P.; ANDREOTTI, M.; DLACHIAVON, F. C.; LOVERA, L. H.; HONORATO, M. A. O. Aspectos da produtividade do feijão correlacionados com atributos físicos do solo sob elevado nível tecnológico de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, n.6, p.1811-1822, 2010.
- RAIJ, B van. Fertilidade do solo e adubação. Piracicaba: Ceres, 1991. 343p.
- DALCHIAVON, F. C. **Correlações de pearson e geoestatísticas entre a produtividade de cana-de-açúcar, estabelecida em dois métodos de colheita, e atributos físico-químicos do solo**. 2012. 110f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2012.
- PIMENTEL GOMES, F. P. & GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais**. 309p. 2002. Piracicaba. Brasil.
- ROSA FILHO, G.; CARVALHO, M. P.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R.; BINOTTI, F. F. S.; GIOIA, M. T. Variabilidade da produtividade da soja em função de atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférrico sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 2, p. 283-293, 2009.
- SCHLOTZHAVER, S. D. & LITTELL, R. C. **SAS System for elementary statistical analysis**. 1997. 905p. Cary, North Carolina, USA.
- SHAPIRO, S. S. & WILK, M. B. An analysis of variance test for normality: complete samples. **Biometrika**, London, v. 52, p. 591-611, 1965.
- SOUZA, Z. M.; CERRI, D. G. P.; MAGALHÃES, P. S. G.; SIQUEIRA, D. S. Spatial variability of soil attributes and sugarcane yield in relation to topographic location. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Camprina Grande, v.14, n.12, p. 1250-1256, 2010.
- SOUZA, Z. M.; CERRI, D. G. P.; COLET, M. J.; RODRIGUES, L. H. A.; MAGALHÃES, P. S. G.; MANDONI, R. J. A. Análise dos atributos do solo e da produtividade da cultura de cana-de-açúcar com o uso da geoestatística e árvore de decisão. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 4, p. 840-847, 2010a.
- SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Geoestatística e atributos do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.40, n.1, p.48-56, 2010b.
- SOUZA, Z. M.; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; SAENZ, C. M. S. Spatial variability of aggregate stability in latosols under sugarcane. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 2, p. 245-253, 2009.
- ZANÃO JÚNIOR, L. A.; LANA, R. M. T.; GUIMARÃES, E. C. Variabilidade espacial do pH, teores de matéria orgânica e micronutrientes em profundidades de amostragem num Latossolo Vermelho sob semeadura direta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, n.4, p.1000-1007, 2007.

Tabela 1: Análise descritiva inicial dos componentes tecnológicos da cultura da cana-de-açúcar e atributos físicos em um Latossolo Vermelho distrófico da Fazenda São Joaquim em Rio Brillhante, MS

Atributo ^(a)	Medidas estatísticas descritivas								Probabilidade do teste ^(b)	
	Média	Mediana	Valor		Desvio Padrão	Coeficiente			Pr<w	DF
			Máximo	Mínimo		Variação (%)	Curtose	Assimetria		
Atributos da planta										
TCH (t ha ⁻¹)	59,64	59,11	101,11	31,9	11,910	19,9	1,114	0,695	0,065	NO
Atributos do solo										
<i>Profundidade 0,00 - 0,20m</i>										
MO1 (g dm ⁻³)	18,56	19,00	26,00	7,00	3,974	21,4	0,122	-1,483	0,122	NO
pH1 (CaCl ₂)	5,25	5,30	6,00	4,40	0,324	6,2	-0,284	-0,129	0,509	NO
<i>Profundidade 0,20 - 0,40m</i>										
MO2 (g dm ⁻³)	14,18	14,0	22,0	6,0	3,727	26,3	-0,341	0,185	0,185	NO
pH2 (CaCl ₂)	5,27	5,3	6,9	4,3	0,436	8,3	1,542	0,112	0,031	TN

^(a)TCH, são respectivamente a tonelada de colmos por hectare; ^(b) MO, pH, são respectivamente o teor de matéria orgânica, potencial hidrogeniônico, coletados nas camadas do solo de 0,00-0,20 m e 0,20-0,40 m; ^(c) DF = distribuição de frequência, sendo NO e TN respectivamente do tipo normal, não determinado e tendendo a normal.

Tabela 2. Parâmetros dos semivariogramas simples ajustados para toneladas de colmos de cana-de-açúcar por hectare e de alguns atributos químicos do solo de um Latossolo Vermelho distrófico da Fazenda São Joaquim em Rio Brillhante, MS.

Atributos ^(a)	Parâmetros										
	Modelo ^(b)	Efeito pepita (C ₀)	Patamar (C ₀ + C)	Alcance (A ₀) (m)	r ²	SQR ^(c)	ADE ^(d)		Validação cruzada		
							%	Classe	a	b	r
<i>y(h) simples dos atributos da planta</i>											
TCH (t ha ⁻¹)	exp. (89)	1,270 .10	8,070.10	246		1,937.10 ³	84,3	MA	-	-	-
<i>y(h) simples dos atributos químicos do solo</i>											
MO1(g dm ⁻³)	esf.	5,700	1,249.10	413	0,930	2,13	54,4	ME	-1,56	1,084	0,435
pH1(CaCl ₂)	esf.(50)	4,930.10 ⁻²	1,076.10 ⁻¹	760	0,929	0,542	54,2	ME	0,32	0,940	0,290
MO2(g dm ⁻³)	exp.(50)	3,700	1,353.10	351	0,848	7,66	72,7	AL	1,19	0,917	0,263
pH2(CaCl ₂)	gau.(50)	7,960.10 ⁻¹	1,992.10 ⁻¹	740	0,953	1,395.10 ⁻³	60	AL	03,200.10 ⁻¹	0,939	0,363

^(a)TCH, MO, pH, são respectivamente a tonelada de colmos por hectare, matéria orgânica do solo, potencial hidrogeniônico, coletados nas profundidades de 0,00-0,20 e 0,20-0,40 m; ^(b)exp = exponencial, gau = gaussiano, esf = esférico, com seus devidos pares de lags; ^(c)SQR = soma dos quadrados dos resíduos; ^(d)ADE = avaliador da dependência espacial, sendo MA = muito alta, AL = alta e ME = média.

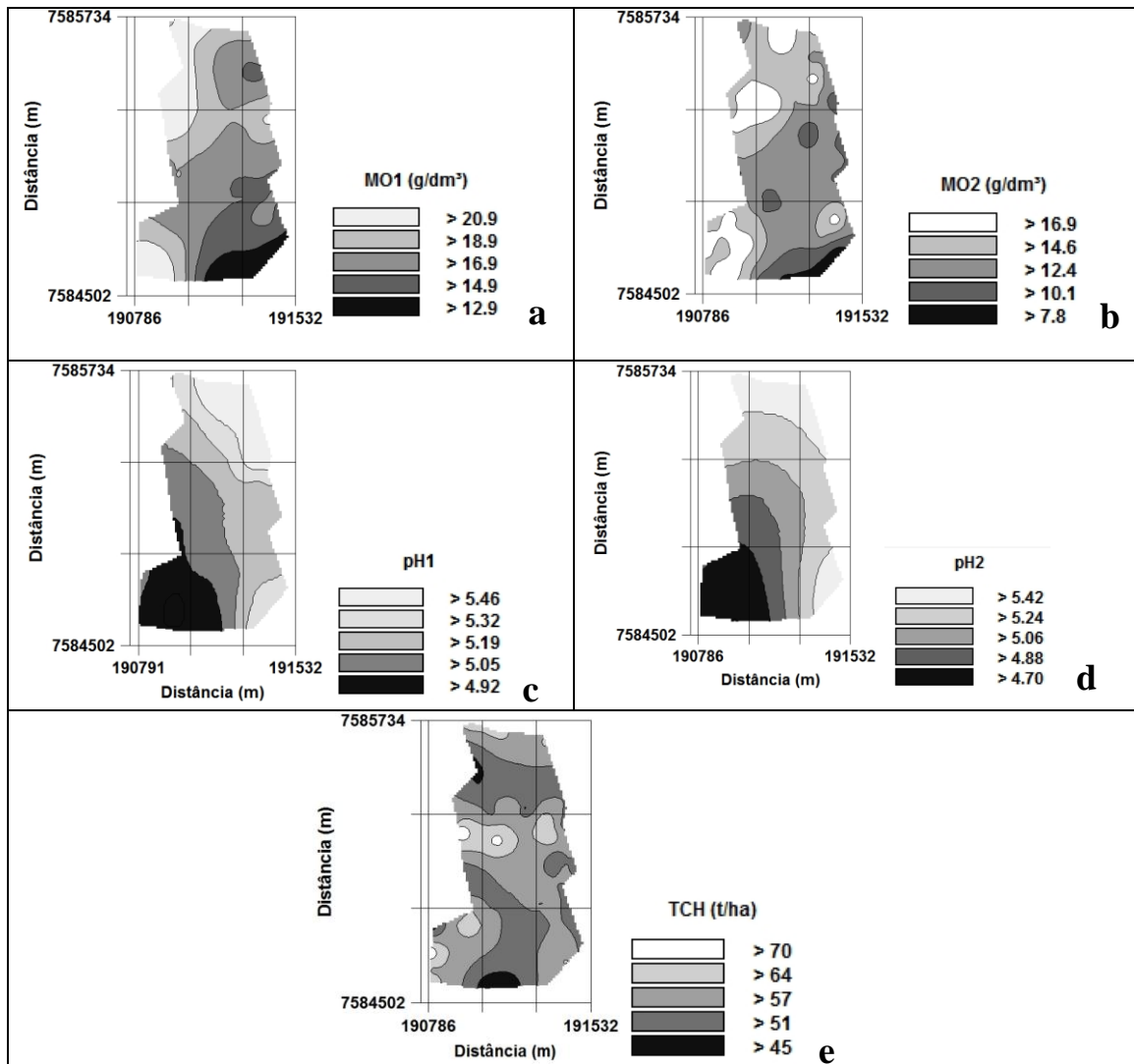


Figura 1: Mapas de krigagem dos atributos (MO1, MO2, pH1, pH2 e TCH) de um Latossolo Vermelho distrófico da Fazenda São Joaquim em Rio Brillhante, MS.