

# VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DE ATRIBUTOS QUÍMICOS DE LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRICO EM MATO GROSSO DO SUL SOB PLANTIO DIRETO

Rafael Montanari<sup>1</sup>, Hernandes Andrade Queiroz<sup>2</sup>, Pamela Kerlyane Tomaz<sup>3</sup>, Lenon Henrique Lovera<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Prof. Adjunto do Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos da Faculdade de Engenharia / UNESP Campus de Ilha Solteira (SP).

<sup>2</sup> Pós-Graduando em Agronomia na Faculdade de Engenharia / UNESP Campus de Ilha Solteira (SP).

<sup>3</sup> Graduando em Zootecnia na Faculdade de Engenharia / UNESP Campus de Ilha Solteira (SP).

**RESUMO:** A caracterização da variabilidade espacial dos atributos do solo é necessária para que se possam interpretar as possíveis causas de variações nas produtividades das culturas. Objetivou-se com este trabalho analisar a variabilidade espacial e temporal dos teores de fósforo, potencial hidrogeniônico, enxofre e alumínio nos anos de 2004, 2008 e 2011 em Latossolo Vermelho distroférico em Maracaju, MS sob plantio direto sendo implantado no verão soja e milho safrinha no inverno. As amostragens de solo foram realizadas utilizando uma malha irregular experimental constituída por 14 pontos, onde cada ponto foi identificado com o auxílio de um GPS. Foram obtidos também mapas de produtividade das culturas por meio de uso de colheitadeira, equipada com programas que geram mapas de produtividade. O pH apresentou correlação linear indireta com P e Al. Os atributos que apresentaram dependência espacial foram pH e P. Tanto linear quanto espacialmente, o pH e o P do solo se destaca como um potencial indicador da produtividade de grãos quando cultivado sob sistema plantio direto.

**Palavras-chave:** Agricultura de precisão. Sítios específicos de manejo.

## SPATIAL VARIABILITY AND TIME OF CHEMICAL ATTRIBUTES DYSTROPHIC RED DISTROFERRIC IN MATO GROSSO DO SUL PLANTATION UNDER DIRECT

**ABSTRACT:** The characterization of the spatial variability of soil attributes is necessary so that we can interpret the possible causes of the crop yields variations. The objective of this work to analyze the spatial and temporal variability of phosphorus, hydrogenionic potential, sulfur and aluminum in 2004, 2008 and 2011 in Oxisol in Marazion, MS tillage system being implemented in the summer soy and corn safrinha in the winter. The soil samples were performed using an experimental irregular grid consisting of 14 points, where each point was identified with the aid of a GPS. Were also obtained yield maps of cultures through use of combine harvester, equipped with programs that generate yield maps. The pH was indirect linear correlation with P and Al. The attributes that presented spatial dependence were pH and P. Both linear and spatially, pH and soil P stands out as a potential grain yield indicator when grown under no-tillage system.

**Key words:** Precision agriculture. Site-specific management.

## INTRODUÇÃO

Sabendo-se que a agricultura atual necessita de elevadas produtividades para um crescimento contínuo, a tecnologia com uso da Agricultura de Precisão é de suma importância para o crescimento da mesma. O custo crescente dos insumos agrícolas exige, cada vez mais, a adoção de técnicas de cultivos adequadas para a produção das culturas anuais. Contudo, sabendo-se que os solos agrícolas é um sistema extremamente heterogêneo, a utilização da agricultura de precisão, prima pela economicidade, objetivando o mapeamento da variabilidade espacial desses atributos, correlacionando-a com a variabilidade espacial da produtividade agrícola, de forma a se poder desenvolver o conceito de zonas específicas de manejo do solo (DALCHIAVON et al., 2012; LIMA et al., 2013; BOTTEGA et al., 2013).

A adoção desta tecnologia justifica-se pelo fato de que a maioria das áreas agrícolas é manejada uniformemente, sem levar em consideração as variações em seus atributos, tais como tipo de solo, produtividade, características físicas e químicas do solo (MERCANTE et al., 2003).

O conhecimento da variabilidade espacial dos atributos do solo é importante, pois pode indicar alternativas de manejo do solo para reduzir os efeitos dessa variabilidade nas produtividades das culturas. A geoestatística é uma das ferramentas que vem sendo utilizada para caracterizar e quantificar a variabilidade espacial, desenvolver uma interpolação racional e estimar a variância dos valores interpolados (FENG et al., 2004).

Segundo Capelli (2004), a interpretação do mapa de produtividade é imprescindível para a correção dos fatores de produção que persistem ao longo do tempo. Sendo assim, objetivou-se com este trabalho analisar a variabilidade espacial e temporal do teor de fósforo, potencial hidrogeniônico, teor de enxofre e alumínio nos anos de 2004, 2008 e 2011 em um Latossolo Vermelho distroférico em Maracajú, MS.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido na Fazenda Fortaleza, localizada no município de Maracaju (MS), com precipitação média anual de 1300 mm, nos anos agrícolas 2004/2005, 2008/2009 e 2011/2012, onde nas tabelas os mesmos estão sendo representados pelos atributos seguido da numeração 04, 08 e 11. Sendo que no ano de 2004/2005 e 2008/2009 foram realizadas amostragens de solo, em 2010/2011 foi feita a colheita da soja, amostragens de solo e colheita do milho safrinha e 2011/2012 foi feita a colheita da soja. O sistema de manejo utilizado é a semeadura direta. O solo estudado foi um Latossolo Vermelho distroférico, apresentando uma média de conteúdo de argila de 66 g kg<sup>-1</sup>, sendo considerada textura argilosa Santos et al. (2013).

As amostragens foram realizadas utilizando uma malha irregular experimental

constituída por 14 pontos para os anos de 2004, 2008 e 2011. Cada ponto foi identificado com auxílio de um GPS Garmin etrex. Foram obtidos mapas de produtividade de grãos através de uma colheitadeira, tanto do milho como da soja, ao qual é equipada por sensores que medem a produtividade e geram os mapas.

Os atributos químicos do solo estudados foram o teor fósforo (P) determinado pelo método de extração com a resina trocadora de íons, dado em  $\text{mg dm}^{-3}$  (RAIJ et al, 1987). Teor de enxofre (S) extraído por  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  (TEDESCO et al., 1995). Potencial hidrogeniônico (pH) determinado potenciométricamente em solução de  $\text{CaCl}_2$  0,01M (EMBRAPA, 2011). Teor de alumínio (Al) trocáveis por extração com KCl 1 mol/L (RAIJ et al., 1987). Coletados na profundidade de 0,00-0,20 m, determinados no laboratório de análises de solo Sial Solo, localizado em Campo Grande, MS.

As análises estatísticas dos atributos estudados foram realizadas utilizando o programa SAS (Statistical Analysis System 1999), versão 9.3. Já para as análises geoestatísticas foi empregado o GS+ (GAMMA DESIGN SOFTWARE, 2005).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 está apresentada a análise descritiva dos atributos estudados. De acordo com Warrick e Nielsen (1980), estudando a variabilidade de diversas propriedades do solo, verificaram que, para algumas, a variabilidade expressa pelo coeficiente de variação pode ser inferior a 10 %, enquanto, para outras, pode superar 1.000 %. Classificaram a variabilidade em três níveis: baixa ( $\text{CV} \leq 12 \%$ ), média ( $12 \% < \text{CV} \leq 52 \%$ ) e alta ( $\text{CV} > 52 \%$ ).

Desta forma, observa-se que para a profundidade de 0,00-0,20 m de solo analisada, os CV's foram classificados como baixo, alto e muito alto. Portanto, os atributos pH04, pH08 e pH11, apresentaram baixa variabilidade com CV's de 4,4, 4,2, e 4,4 %, respectivamente, isso ocorreu devido este atributo sofrer uma correção de log em sua determinação, o que não ocorre para os demais atributos. Média variabilidade para P04, P08, S04, P11, S08, S11 com CV's de 29,3, 26,3, 25,4, 43,3, 36,5, 30,1 %, respectivamente. Variabilidade alta para os atributos, Al04, Al08, Al11, com CV's de 55,2, 60,5, 55,1, e %, respectivamente.

O uso antrópico do solo ao longo do tempo resulta em um aumento na heterogeneidade dos atributos químicos devido a interação do processo de sua formação, manejo do solo e da cultura Cavalcante et al. (2007a).

Os valores médios de pH (pH04 = 5,0, pH08 = 4,8 e pH11 = 5,2), classificaram o solo como acidez alta (pH entre 4,8 e 5,2). Tal fato ocorreu em função de que a correção da acidez do solo em 2008 foi efetuada para atingir uma saturação por bases de 50%.

No geral, os dados do presente estudo (Tabela 1) apresentam tendências à variabilidade de forma análoga aos de Cavalcante et al. (2007a), Dalchiavon (2011) e Dalchiavon et al. (2012), onde trabalharam estudando a variabilidade espacial da fertilidade de um Latossolo Vermelho distroférico sob sistema de plantio direto na cultura da soja. Da

mesma forma, foram semelhantes à pesquisa de Amado et al. (2009), que analisaram dois Latossolos Vermelhos distróficos nos municípios de Trindade do Sul e Palmeira das Missões, no Rio Grande do Sul, em sistema de plantio direto (SPD) de milho e feijão irrigados por pivô central, e verificaram maior variabilidade nos dados de P, e menor nos de pH do solo.

**Tabela 1.** Análise descritiva de atributos químicos de um Latossolo Vermelho distroférrico em Maracajú, MS, nos anos de 2004, 2008 e 2011 na profundidade de 0,00-0,20m.

Atributo <sup>(a)</sup>	Medidas estatísticas descritivas									
	Média	Mediana	Valor		Desvio Padrão	Variação (%)	Coeficiente		Probabilidade do teste <sup>(b)</sup>	
			Máximo	Mínimo			Curtose	Assimetria	Pr<W	DF
	P04 (mg dm <sup>-3</sup> )	14,4	15,0	20,0	7,0	4,2	29,3	-1,175	-0,176	0,210
P08 (mg dm <sup>-3</sup> )	14,0	13,0	20,0	8,0	3,6	26,3	-0,726	0,345	0,305	NO
P11 (mg dm <sup>-3</sup> )	12,1	11,0	28,0	7,0	5,2	43,3	6,565	2,340	0,002	IN
pH04 (CaCl <sub>2</sub> )	5,0	5,0	5,4	4,7	0,2	4,4	-0,730	0,394	0,421	NO
pH08 (CaCl <sub>2</sub> )	4,8	4,9	5,2	4,6	0,2	4,2	-0,860	0,440	0,247	NO
pH11 (CaCl <sub>2</sub> )	5,2	5,2	5,6	4,7	0,2	4,4	0,558	-0,453	0,527	NO
Al04 (mmolc dm <sup>-3</sup> )	2,4	2,0	2,0	5,0	1,0	55,2	-0,866	0,622	0,034	TN
Al08 (mmolc dm <sup>-3</sup> )	3,8	3,0	9,0	2,0	2,3	60,5	0,618	1,332	0,002	TN
Al11 (mmolc dm <sup>-3</sup> )	2,0	2,0	5,0	1,0	1,1	55,1	2,846	1,652	0,008	IN
S04 (mg dm <sup>-3</sup> )	38,3	37,0	60,0	22,0	9,7	25,4	1,013	0,468	0,571	NO
S08 (mg dm <sup>-3</sup> )	13,7	13,0	25,0	6,0	5,0	36,5	0,734	0,606	0,830	NO
S11 (mg dm <sup>-3</sup> )	33,8	33,5	48,0	9,0	10,2	30,1	1,446	-0,893	0,413	NO

<sup>(a)</sup> P, pH, Al e S, são respectivamente o fósforo, potencial hidrogeniônico, alumínio e enxofre, <sup>(b)</sup> DF = distribuição de frequência, sendo NO, IN e TN, respectivamente do tipo normal, indeterminado e tendendo a normal, Pr<W 0,05%.

A elevada variabilidade dos nutrientes no solo é comum em sistema de plantio direto (SPD) pelo efeito localizado de adubações, principalmente no caso do P, com baixa mobilidade. Desta alta variabilidade surge a necessidade de técnicas mais apuradas como a agricultura de precisão que levam em condição justamente o efeito do erro amostral de coleta de solo Montanari et al. (2011).

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, será representada pela mediana, ou pela média geométrica, caso possua distribuição de frequência do tipo lognormal Montanari et al. (2011).

Com nível de significância de 5% os atributos do solo estudados provêm de uma distribuição normal pelo Teste de Shapiro-Wilk, os não significativos estão ocorrendo de forma aleatória. Os atributos analisados que são significativos pelo teste de normalidade de Shapiro e Wilk (1965), foram P04, P08, pH04, pH08, pH11, S04, S08 e S11, uma vez que seus valores oscilaram entre 0,210 e 0,830 (Tabela 1), corroborando com os obtidos por Dalchiavon et al. (2011).

Para os atributos químicos do solo, que são significativos ao nível de significância de 5 % são P04, P08, pH04, pH08, pH11, S04, S08 e S11, com médias de 14,4, 14,0 mg dm<sup>-3</sup>; 5,0, 4,8, 5,2 CaCl<sub>2</sub>, 38,3, 13,7 e 33,8 0 mg dm<sup>-3</sup> para, respectivamente (Tabela 1). Foi possível verificar ainda que os valores medianos do P11 e Al 11, cuja distribuição de

frequência foi do tipo indefinida, foram, respectivamente, 11,0 mg dm<sup>-3</sup> e 2,0 mmolc dm<sup>-3</sup> e para o Al 08 e Al011, com distribuição de frequência do tipo tendendo a normal, a mediana obtida foi de 2,0 e 3,0 mmolc dm<sup>-3</sup>.

As correlações entre os atributos do solo, foram significativos somente para os pares P x pH ( $r = -0,348^*$ ) e Al x pH ( $r = -0,739^{**}$ ). Para ambas as correlações, o comportamento foi indireto, indicando que com o aumento do pH haverá uma redução nos teores de P e Al. A correlação inversa obtida entre pH x Al é amplamente discutida em literaturas específicas, A acidificação dos solos ocorre de modo especial, em regiões tropicais úmidas e deve-se à substituição de cátions trocáveis por íons H<sup>+</sup> e Al<sup>3+</sup> no complexo de troca, absorção de cátions básicos pelas plantas e, também, pelo uso de fertilizantes de caráter ácido. O Al em concentração elevada, além de ser tóxico às plantas, pode interferir na disponibilidade de outros nutrientes, principalmente na solubilidade do fosfato no solo, que tende a reagir com o Al solúvel, formando fosfatos de Al de baixa solubilidade em solos ácidos. Existem evidências de que a disponibilidade de P em solos ácidos altamente intemperizados é governada, principalmente, pelo fosfato ligado a alumínio, que aparentemente é a forma mais lábil de P no solo (NOVAIS; SMYTH, 1999). Mesmo os pares P x pH não terem sido significativos, apresentaram comportamento indireto.

**Tabela 2.** Análise de variância de atributos químicos de um Latossolo Vermelho distroférico em Maracajú, MS, nos anos de 2004, 2008 e 2011 na profundidade de 0,00-0,20m.

Atributo <sup>(a)</sup>	Ano			P
	2004	2008	2011	
P (mg dm <sup>-3</sup> )	14,4±1,2	14,0±1,2	12,1±1,2	0,375
pH (CaCl <sub>2</sub> )	5,0±0,06 b	4,8±0,06 b	5,2±0,06a	0,002
Al (mmolc dm <sup>-3</sup> )	2,4±0,4b	3,7±0,4a	2,1±0,4b	0,024
S (mg dm <sup>-3</sup> )	38,3±2,3a	13,7±2,3b	33,8±2,3a	<0,0001

<sup>(a)</sup> P, pH, Al e S, são respectivamente o fósforo, potencial hidrogeniônico, alumínio e enxofre; <sup>(b)</sup> p = probabilidade, sendo <0,01, significativo a 1% e entre 0,01 e 0,05 significativo a 5%, letras diferentes na mesma linha significa que possuem diferença significativa.

O teste de comparação de médias para os atributos do solo nos 3 anos avaliados, a (Tabela 2), apresenta os resultados com diferença significativa a 1 % de probabilidade para pH (CaCl<sub>2</sub>) e S (mg dm<sup>-3</sup>) e significativa a 5% para Al (mmolc dm<sup>-3</sup>), onde que, para o pH, o seu menor valor médio ocorreu no ano de 2008 (4,8 ± 0,6). Tal fato ocorreu em função de que a correção da acidez do solo ainda não tinha sido efetuada. Para o ano de 2011 o valor do pH já foi consideravelmente mais elevado, tanto que o mesmo se diferiu entre os anos. Consequentemente, o valor de S teve uma relação direta com o valor de pH, onde também apresentou o menor valor (13,7 ± 2,3) em 2008. Isso pode ter ocorrido devido ao baixo pH, uma vez que o cátion Al compete e tem preferência, em função de sua trivalência, pelo sítio de adsorção nas cargas negativas dos colóides minerais e/ou orgânicos em relação a outros cátions.

Nos anos de 2008 e 2011 para o P e 2004 e 2011 para o pH, apresentaram dependência espacial (Tabela 3). Os coeficientes de determinação espacial (r<sup>2</sup>) observados

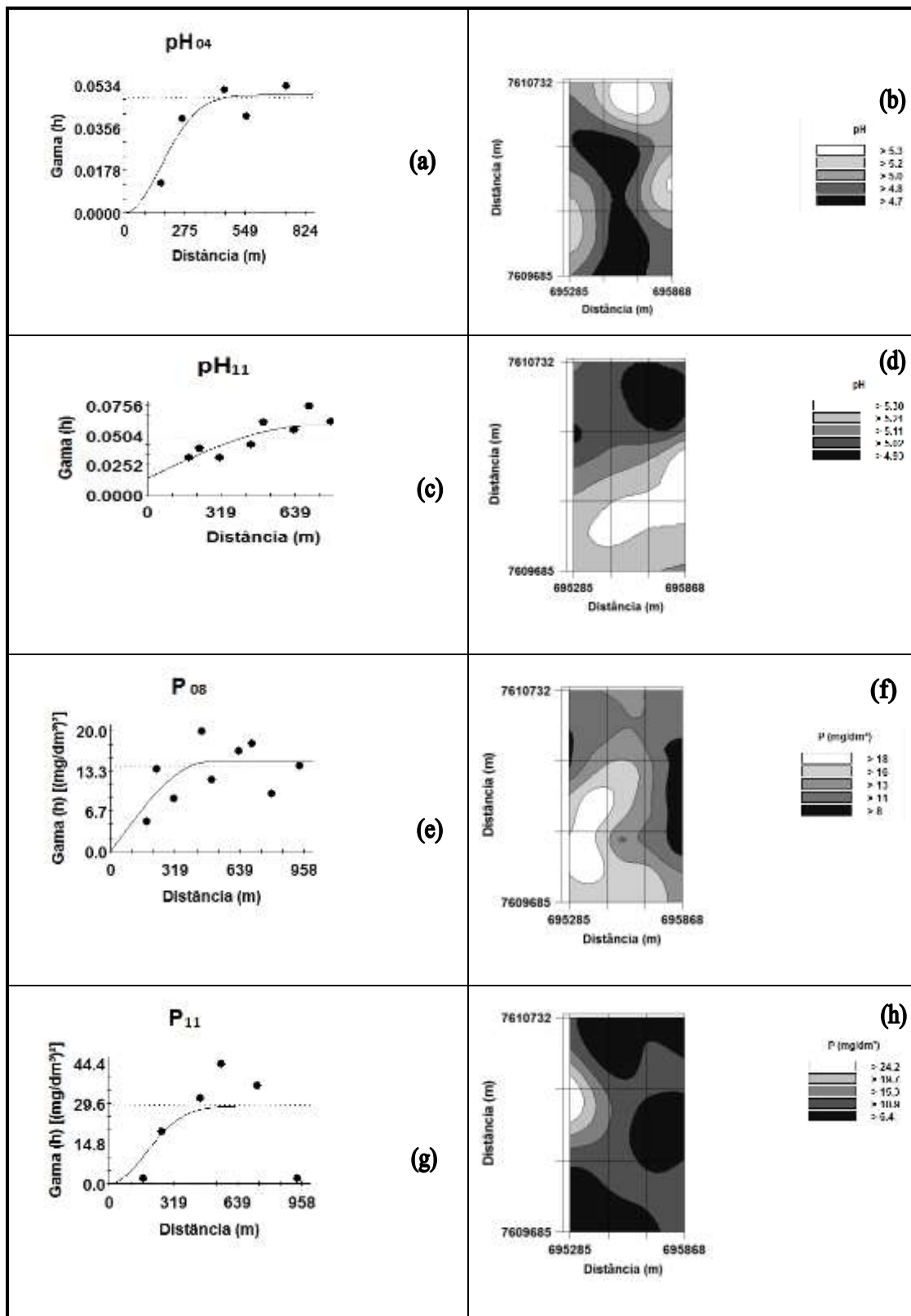
nos semivariogramas, decresceram na seguinte ordem: 1) pH04 (0,857), 2) pH11 (0,522), 3) P08 (0,381) e 4) P11 (0,334). Segundo Novais e Smyth (1999) o aumento da força iônica da solução de solos ácidos mascaram o efeito esperado de maior pH, decrescendo a adsorção de P dos solos. Em vista de ter sido apresentada aleatoriamente a menor dispersão dos lags em torno do modelo exponencial, o melhor semivariograma foi o do pH04 (0,857), com ADE alto (99,8%), modelo gaussiano (Tabela 3; Figura 1a) e alcance de 408,7 m. Montanari et al. (2008) também observaram que o pH foi o atributo com melhor ajuste semivariográfico.

**Tabela 3.** Parâmetros dos semivariogramas simples ajustados para atributos químicos de Latossolo Vermelho distroférico em Maracajú (MS), nos anos de 2004, 2008 e 2011 na profundidade de 0,00-0,20m.

Atributo <sup>(a)</sup>	Modelo <sup>(b)</sup>	Efeito Pepita (C <sub>0</sub> )	Patamar (C <sub>0</sub> +C)	Parâmetros			Avaliador da dependência espacial	
				Alcance (A <sub>0</sub> ) (m)	r <sup>2</sup>	SQR <sup>(c)</sup>	ADE <sup>(d)</sup>	Classe
<i>γ(h) simples dos atributos da planta</i>								
P04 (mg dm <sup>-3</sup> )	epp	1,782.10	1,782.10	-	-	-	-	-
P08 (mg dm <sup>-3</sup> )	esf	1,100.10 <sup>-2</sup>	1,483.10 <sup>2</sup>	482,0	0,381	1,130.10 <sup>2</sup>	99,9	Forte
P11 (mg dm <sup>-3</sup> )	gau	1,100.10 <sup>-2</sup>	2,866.10	450,3	0,334	1,098.10 <sup>3</sup>	99,9	Forte
pH04 (CaCl <sub>2</sub> )	gau	1,000.10 <sup>-4</sup>	4,950.10 <sup>-2</sup>	408,7	0,857	1,667.10 <sup>-4</sup>	99,8	Forte
pH08 (CaCl <sub>2</sub> )	epp	5,070.10 <sup>-2</sup>	5,070.10 <sup>-2</sup>	-	-	-	-	-
pH11 (CaCl <sub>2</sub> )	esf	1,390.10 <sup>-2</sup>	5,870.10 <sup>-2</sup>	721,0	0,522	8,874.10 <sup>-4</sup>	76,3	Forte
Al04 (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	epp	1,915	1,915	-	-	-	-	-
Al08 (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	epp	4,747	4,747	-	-	-	-	-
Al11 (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	epp	1,739	1,739	-	-	-	-	-
S04 (mg dm <sup>-3</sup> )	epp	1,577.10 <sup>2</sup>	1,577.10 <sup>2</sup>	-	-	-	-	-
S08 (mg dm <sup>-3</sup> )	epp	2,704.10	2,704.10	-	-	-	-	-
S11 (mg dm <sup>-3</sup> )	epp	1,030.10 <sup>2</sup>	1,030.10 <sup>2</sup>	-	-	-	-	-

<sup>(a)</sup> P, pH, Al, S, são respectivamente o fósforo, potencial hidrogeniônico, alumínio, enxofre; <sup>(b)</sup> esf = esférico, gau = gaussiano e epp = efeito pepita puro; <sup>(c)</sup> SQR = soma dos quadrados dos resíduos; <sup>(d)</sup> ADE = avaliador da dependência espacial.

Para o pH11 referente ao ano de 2011/2012, seu r<sup>2</sup> (0,522) indicou ser o segundo atributo de melhor ajuste semivariográfico, com ADE alta (76,3 %), modelo esférico (Tabela 3; Figura 1c) e alcance de 721,0 m, semelhante ao de Dalchiavon et al. (2012), onde também encontraram modelo de ajuste semivariográfico tipo esférico mas com um alcance de 25, 8 m. O P08 foi o terceiro atributo do solo com melhor ajuste do semivariograma r<sup>2</sup> (0,381), com ADE alta de 99,9 %, modelo esférico (Tabela 3; Figura 1e) e alcance de 482,0 m, concordando com Amado et al. (2009), que também obtiveram modelo esférico e uma dependência espacial alta (ADE = 88 %). O quarto melhor ajuste semivariográfico foi o P11 do ano 2011/2012, cujo r<sup>2</sup> (0,334). O modelo do semivariograma ajustado foi o gaussiano (Tabela 3; Figura 1g), com ADE de 99,9 %, sendo, portanto classificado como atributo de forte dependência espacial e alcance de 450,3 m, discordando de Montanari et al. (2008) e Amado et al. (2009), que relataram ajuste semivariográfico do tipo exponencial para o P.



**Figura 1.** Mapas de krigagem dos atributos químicos pH e P de Latossolo Vermelho distroférrico em Maracajú (MS), nos anos de 2004, 2008 e 2011 na profundidade de 0,00-0,20m.

Fonte: Dados do próprio autor (2013).

De acordo com Cambardella et al. (1994) e Castrignanò et al. (2000), a forte dependência espacial das características químicas do solo é atribuída a fatores intrínsecos tais como a mineralogia, a textura e a dependência espacial moderada dos fatores extrínsecos como o manejo do solo adotado. Situação semelhante foi observada por Cavalcante et al. (2007b), estudando diferentes sistemas de uso e manejo do solo.

Ainda na Tabela 3 é possível observar que a relação decrescente dos alcances foi a seguinte: 1) pH11 (721,0 m), 2) P08 (482,0 m), 3) P11 (450,3 m) e 4) pH04 (408,1 m). Esse resultado leva à sugestão de que em trabalhos futuros, que utilizem malhas geoestatística e distância entre pontos iguais ao do presente, os valores dos alcances a serem utilizados nos pacotes geoestatísticos, que alimentarão os pacotes computacionais empregados na agricultura de precisão, em geral, deverão estar compreendidos entre 408,1 m e 721,0 m, por representarem a distância dentro da qual os valores de um determinado atributo são iguais entre si.

O mapa de krigagem da Figura 1b apresenta os maiores valores de pH04 de 5,2 a 5,3 no sentido Norte. Foi evidenciada relação entre os mapas de *krigagem* do pH04 e do P08 (Figura 1b, f). Nos sítios onde ocorreram os menores valores de pH04, no sentido Centro-Sul, foram os locais onde ocorreram os maiores valores de P08. Nas regiões com os maiores valores de pH04, ocorreram os menores valores de P08.

A adsorção de P por óxidos de Fe e Al ocorre através de ligação eletrostática inicial, posteriormente à adsorção por oxidróxidos por meio de troca de ligantes, conhecida como ligação predominante covalente. Esse fenômeno de adsorção do P por oxidróxidos de Fe e Al se dá principalmente sob baixo pH do solo. Nas condições de pH 4,0 o solo geralmente apresenta condições não ideais de plantio, necessitando de calagem com calcários calcíticos, magnesianos ou dolomíticos, variando a concentração do óxido de magnésio (MgO) na sua composição química Malavolta (2006).

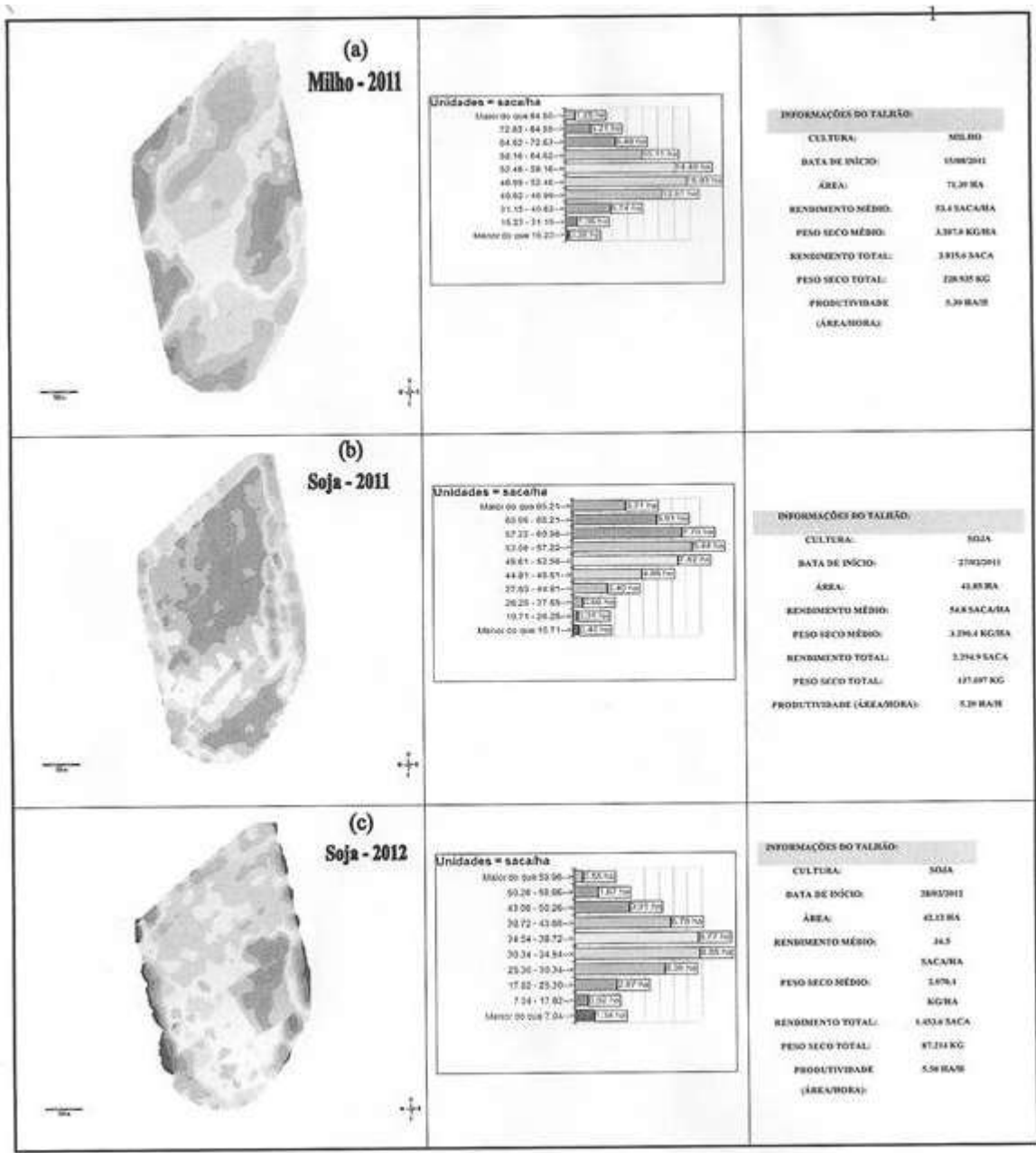
Na Figura 2 são apresentados os mapas de produtividade de milho e soja em 2011 e soja em 2012.

Na Figura 2a, pode-se observar o mapa de produtividade do milho 2011 que aproximadamente 80% da área, variaram de 47 a 58 sacas  $ha^{-1}$ , estando abaixo da média nacional; e cerca de 20% da área, variou de 65 a 85 sacas  $ha^{-1}$ , encontrando-se dentro da faixa da média nacional. A Figura 2b, apresenta o mapa de produtividade da soja 2011 com aproximadamente 80% da área, variaram de 57 a 65 sacas  $ha^{-1}$ , estando maior que a média nacional; e cerca de 20% da área, variou de 45 a 53 sacas  $ha^{-1}$ , encontrando-se na faixa da média nacional, provavelmente por ser a faixa relacionada à bordadura.

O mapa de produtividade de soja 2012 na Figura 2c pode-se observar que aproximadamente 80% da área apresentou produtividade abaixo da média nacional que ficaram entre 25 e 38 sacas  $ha^{-1}$ , e 20% da área apresentou produtividade cerca da média nacional, variando entre 43 a 59 sacas  $ha^{-1}$ . A região leste e pequena parte noroeste do mapa é a que apresentou maiores teores de P no ano de 2008, região esta, que coincide com a área de faixa verde (Figura 2a), que apresentou produtividade dentro da média nacional;



possivelmente, isto ocorreu porque o P provocou nessa região uma melhoria da qualidade química do solo, pois este ano agrícola da soja de 2011/2012, foi atípico por causa da falta de pluviometria, a adubação adequada e disponibilidade hídrica são essenciais para obtenção de elevados tetos produtivos Conab (2012).



**Figura 2.** Mapas de colheita dos anos agrícolas 2010/ 2011 (colheita da soja e colheita do milho safrinha) 2011/2012 (colheita da soja) em Maracajú, MS.

## CONCLUSÃO

Os atributos químicos têm dependência espacial, classificada como média e alta, com modelo dos semivariogramas ajustados predominantemente do tipo gaussiano e esférico.

Tanto linear quanto espacialmente, o pH e o P do solo se destacam como potenciais indicadores da produtividade de grãos quando cultivado sob sistema plantio direto.

## AGRADECIMENTOS

A empresa Agroexata de Campo Grande (MS) pelo auxílio nas coletas de dados de campo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMADO, T. J. C.; PES, L. Z.; LEMAINSKI, C. L.; SCHENATO, R. B. Atributos químicos e físicos de latossolos e sua relação com os rendimentos de milho e feijão irrigados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 2, p.831-843, 2009.

BOTTEGA, E. L.; QUEIROZ, D. M.; PINTO, F. A. C.; SOUZA, C. M. A. Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n. 1, p.1-9, 2013.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa Soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 58, n. 5, p.1501-1511, 1994.

CAVALCANTE, E. G. S.; ALVES, M. C.; PEREIRA, G. T.; SOUZA, Z. M. Variabilidade espacial de MO, P, K e CTC do solo sob diferentes usos e manejos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 2, p.394-400, 2007. (a)

CAVALCANTE, E. G. S.; ALVES, M. C.; SOUZA, Z. M.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 2, p.1329-1339, 2007. (b)

CAPELLI, N. L. **Agricultura de precisão - Novas tecnologias para o processo produtivo**, 2004. Disponível em: <<http://www.bases.cnptia.embrapa.br/cria/gip/gipap/capelli.doc>>: Acesso em: 24 jun. 2012.

CASTRIGNANÒ, A.; GIUGLIARINI, L.; RISALITI, R.; MARTINELLI, N. Study of spatial relationships among some soil physicochemical properties of a field in central Italy using multivariate geostatistics. **Geoderma**, Amsterdã, v. 97, n. 2, p.39- 60, 2000.

DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. P.; FREDDI, O. S.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R. Variabilidade espacial da produtividade do feijoeiro correlacionada com atributos químicos de um Latossolo Vermelho Distroférico sob sistema de semeadura direta. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 4, p.908-916, 2011.

---

**Cultura Agronômica**, Ilha Solteira, v.24, n.3, p.245-256, 2015

DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. P.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R. Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um Latossolo Vermelho Distroférico sob Sistema Plantio Direto. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 43, n. 2, p.453-461, 2012.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos** (Rio de Janeiro, RJ). Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro: Embrapa, 2011. 230 p.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 2006. 306 p.

FENG, Q.; LIU, Y.; MIKAMI, M. Geostatistical analysis of soil moisture variability in grassland. **Journal of Arid Environments**, Flora, v. 58, n. 4, p.357–372, 2004.

GAMMA DESIGN SOFTWARE. **GS+: Geostatistics for environmental sciences**. 7. ed. Michigan, Plainwell: Gamma Design Software, 2005. 159 p.

LIMA, J. S. S.; SILVA, S. A.; SILVA, J. M. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado em plantio direto. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n. 2, p.16-23, 2013.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 2006. 638 p.

MERCANTE, E.; OPAZO, M. A. U.; SOUZA, E. G. Variabilidade espacial e temporal da resistência mecânica do solo à penetração em áreas com e sem manejo químico localizado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 3, p.1149-1159, 2003.

MONTANARI, R.; PEREIRA, G. T.; MARQUES JUNIOR, J.; SOUZA, Z. M.; PAZETO, R. J.; CAMARGO, L. A. Variabilidade espacial de atributos químicos em Latossolo e Argissolos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 5, p.1266-1272, 2008.

MONTANARI, R.; CARVALHO, M. P.; ANDREOTTI, M.; DALCHIAVON, 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. 3, p.1811-1822, 2011.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399 p.

PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais**. 11. ed. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309 p.

---

**Cultura Agronômica**, Ilha Solteira, v.24, n.3, p.245-256, 2015

PORTO, S.I.; NETO, A.A.; BESTETTI, C.R. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos, terceiro levantamento**. Brasília: CONAB, 2012. 32p. (Companhia Nacional de Abastecimento). Boletim Técnico.

RAIJ, B. V.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1987. 285 p.

SANTOS, R. D.; GONTIJO, I.; LUCAS, R. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 6. ed. rev. e ampl. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo / Ed. Suprema Gráfica e Editora Ltda, 2013. 100 p.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality: Complete samples. **Biometrika**, v. 52, n. 2, p.591-611, 1965.

SCHLOTZHAVER, S. D.; LITTELL, R. C. **SAS system for elementary statistical analysis**. 2. ed. Cary: SAS, 1997. 441 p.

SILVA, V. R.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 2, p.399-406, 2004.

TEDESCO, M. J. GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 215 p. (Boletim Técnico, 5)

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). **Applications of soil physics**. New York: Academic Press, 1980. cap. 13, p. 319-344.