

**Efeito do fogo no comportamento e na variabilidade espacial dos atributos químicos do solo sob mata, no jardim botânico, Goiânia-GO****Fire effect on behavior and spatial variability of soil chemical properties under forest, the botanical garden, Goiania-GO**

DOI:10.34117/bjdv6n11-510

Recebimento dos originais:08/10/2020

Aceitação para publicação:24/11/2020

**Glaucia Machado Mesquita**

Doutora em Agronomia-Solo e Água pela Universidade Federal de Goiás

Instituição: Universidade Federal de Goiás

Endereço: Av. Esperança, s/n. Campus Samambaia, 74690-900, Goiânia/Go, Brasil

E-mail:agroglucia@gmail.com

**Felipe Corrêa Veloso dos Santos**

Doutor em Agronomia-Solo e Água pela Universidade Federal de Goiás

Escola de Engenharia, Pontifícia Universidade Católica de Goiás

Endereço:1ª Avenida, s/n - Quadra 88 - Setor Leste Universitário, Goiânia - GO, 74605-010

E-mail: felipesantos@pucgoias.edu.br

**Vladia Correchel**

Doutora em Ciências - Energia Nuclear na Agricultura pela Universidade de São Paulo

Instituição: Universidade Federal de Goiás

Endereço: Av. Esperança, s/n. Campus Samambaia, 74690-900, Goiânia/Go, Brasil

E-mail:vladiaea@ufg.br

**RESUMO**

A ação do fogo promove modificações químicas, físicas e biológicas nos solos, que aceleram a mineralização da matéria orgânica. O objetivo deste estudo foi avaliar as propriedades químicas de um *Latossolo Vermelho distrófico* sob mata queimada (MQ) e mata preservada (MP) no Jardim Botânico em área urbana, Goiânia-GO, observando os valores encontrados a partir da estatística clássica e sua variabilidade espacial nas áreas. As coletas foram realizadas nas paredes da mini trincheira nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, obtendo (30 amostras/área x duas profundidades x duas áreas de estudo) totalizando 240 amostras para cada variável. A amostragem do solo foi feita em duas épocas distintas: MQ – mata queimada e MP – mata preservada. Os dados obtidos de cada um dos atributos químicos do solo foram submetidos à análises de estatística descritiva, à comparação de média pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância, ao estudo geoestatístico. A análise geoestatística mostrou que as variáveis pH e P, para a área de MQ, não apresentaram dependência espacial. Os atributos químicos apresentaram dependência espacial, na profundidade de 0-5 cm na área de MQ, ajustando-se ao modelo exponencial a MOS, H+Al e Al<sup>3+</sup>. Para as variáveis, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>, foram ajustados ao modelo esférico. O estudo da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo em mata preservada (MP) e em mata após a ação do fogo (MQ) proporcionou a definição e o mapeamento da área de estudo.

**Palavras-chave:** Matéria orgânica, distribuição espacial, queimada.

**ABSTRACT**

The action of fire promotes chemical, physical and biological changes in the soil, which accelerates the mineralization of organic matter. The objective of this study was to evaluate the chemical properties of an *Latosolo Vermelho distrófico* (Oxisol) under fire kills (MQ) and preserved forest (MP) in the Botanical Garden in urban areas, Goiânia-GO, observing the values found from the classical statistical and spatial variability areas. Samples were collected on the walls of mini trench at depths of 0-5, 5-10, 10-20 and 20-40 cm, obtaining (30 samples / area x two depths two study areas) totaling 240 samples for each variable. Soil sampling was done in two different periods: MQ - Burnt forest and MP - preserved forest. Data from each of the soil chemical properties were submitted to analysis of descriptive statistics, the average comparison by the Tukey test at 5% significance level, the geostatistical study. The geostatistical analysis showed that the variables pH and P, to the area of MQ did not present spatial dependence. Chemical attributes presented spatial dependence at a depth of 0-5 cm in the area of MQ, setting the exponential model MOS, H+Al and Al<sup>3+</sup>. For the variables, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> and Mg<sup>2+</sup> were adjusted to a spherical model. The study of the spatial variability of soil chemical attributes in preserved forest (MP) and kills after the action of fire (MQ) provided the definition and mapping of the study area.

**Key words:** Organic matter, spatial distribution, burned.

**1 INTRODUÇÃO**

O fogo é, possivelmente, um fator cujo efeito já está inserido na adaptação das espécies do Cerrado e na dinâmica deste ecossistema (PINHEIRO; DURIGAN 2009). A ação do fogo provoca uma série de modificações de natureza química, física e biológica dos solos (REDIN et al., 2011). As queimadas aceleram a mineralização da matéria orgânica do solo (MOS), liberam nutrientes, como N e P para a solução do solo, deixando o N susceptível a perdas por percolação e volatilização, e por eliminar a cobertura vegetal, facilitam as perdas de solo e nutrientes por erosão hídrica e eólica.

A queima também reduz o aporte de matéria orgânica bruta (biomassa vegetal) e, conseqüentemente, altera o ciclo do carbono, contribuindo para a emissão de gases de efeito estufa para a atmosfera conforme revisão realizada por Redin et al. (2011). Em relação ao efeito do fogo na quantidade e qualidade da matéria orgânica do solo (MOS), esse impacto depende, especialmente, da intensidade do fogo, tipo de vegetação e textura do solo (KNICKER, 2007).

Pomianoski et al. (2006) relatam que em geral, o fogo não afeta os nutrientes nas camadas abaixo de 2 cm de profundidade no solo. No entanto, o maior estoque de nutrientes está na MOS contida nos primeiros centímetros de solo e em menor quantidade na serapilheira. Com a queimada, a biomassa vegetal e a MOS sofrem uma abrupta mineralização, especialmente em camadas com até 5 cm de profundidade de solo, devido às cinzas com alta concentração de P, K e Ca. Durante as chuvas fortes os elementos são arrastados pelas águas ou lixiviados em profundidades, prejudicando o processo de ciclagem biogeoquímica que, na prática, garante a continuidade da produtividade florestal (POMIANOSKI et al., 2006).

O comportamento diferenciado dos atributos dos solos em diferentes segmentos da paisagem pode ser entendido pela caracterização da variabilidade espacial dos solos por meio de técnicas de geoestatística, identificando locais específicos na paisagem (MONTANARI et al., 2008). Torna-se necessário o uso de ferramentas de geoestatística, pois a estatística clássica não permite observar a presença de dependência espacial, uma vez que ela não leva em consideração a distância na qual as amostras foram coletadas no campo. A geoestatística é considerada uma ferramenta estatística utilizada para estudar a variabilidade espacial, possibilita a interpretação dos resultados com base na estrutura da variabilidade natural dos atributos avaliados, considerando a dependência espacial dentro do intervalo de amostragem (MACHADO et al., 2007).

O propósito desse trabalho foi verificar o comportamento de alguns atributos químicos de um Latossolo Vermelho distrófico sob mata preservada e mata queimada do Jardim Botânico, em área urbana de Goiânia-Goiás, e sua variabilidade espacial nas áreas analisadas.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

O estudo foi realizado no Jardim Botânico Amália Hermano Teixeira (JATH) situado na região sul de Goiânia-Goiás. Possui área de aproximadamente 1.000.000 m<sup>2</sup>, sob clima tropical com estação seca, Aw (Köppen), com temperatura amena sendo a média anual de 23,15 °C, e média anual de precipitação de 1.520 mm. O período chuvoso compreende outubro a abril e período seco de maio a setembro. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico (LVd) de acordo com Sistema Brasileiro de Classificação de Solos-SiBCS (SANTOS et al., 2018). No JATH, foram selecionadas duas áreas distintas para a realização do estudo: mata queimada (MQ), área a qual sofreu processo de queimada clandestina em 2010, com altitude média de 826 m; mata preservada (MP), com altitude média de 820 m. Sua cobertura vegetal caracteriza-se por ser mata primária já alterada, do tipo Floresta Estacional Semidecidual e relevo suavemente ondulado (SANT'ANA, 2007). As amostragens do solo foram realizadas em: MP em maio de 2013 e MQ em setembro de 2013. A precipitação acumulada no ano de 2013 foi de 1.713,9 mm.

### **2.2 ÁREA EXPERIMENTAL**

Em cada área foram coletadas amostras de solo formando uma malha amostral composta por seis linhas e cinco colunas com distância de 10 m entre os pontos amostrais, formando um gride de 300 m<sup>2</sup>. No entorno de cada ponto de amostragem foi aberta uma mini-trincheira, onde, em suas paredes, foram coletados monólitos de terra de 5x20x20 cm nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm e acondicionados em filme plástico. Em laboratório, as amostras foram destorroadas, secas e passadas em peneiras com malha de 2 mm para determinações químicas do solo e para caracterização

textural do solo das áreas estudadas. Obtendo (30 amostras/área x duas profundidades x duas áreas de estudo) totalizando 240 amostras para cada variável.

As análises químicas foram realizadas seguindo metodologias descritas em EMBRAPA (2011): matéria orgânica do solo (MOS) - oxidação via úmida com solução de dicromato de potássio em meio ácido, utilizando como fonte externa de calor o ácido sulfúrico e titulado com sal de Mohr; pH - extraído em  $\text{CaCl}_2$ ;  $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{H+Al}$  - extraído com KCl; P e K - Mehlich I e determinados por colorimetria e fotometria de chama, respectivamente e; Ca e Mg - espectrofotometria de absorção atômica extraídos com KCl. A saturação por bases (V%) foi determinada pela relação entre a soma dos valores de cátions básicos trocáveis e a soma dos cátions totais.

Os dados obtidos foram submetidos a análises de variância (ANOVA), sendo as médias comparadas dentro de cada profundidade e em cada área pelo teste Tukey a  $p < 0,05\%$ . Para a comparação de médias utilizou o programa Assistat (SILVA; AZEVEDO, 2002).

A geoestatística foi usada para avaliar a variabilidade espacial dos atributos estudados. Para realizar a análise geoestatística, foi necessário saber se havia dependência espacial ou não dos atributos estudados. O semivariograma é uma representação gráfica entre a semivariância  $\gamma(h)$ , representada na coordenada Y, em função de uma determinada distância (h), representada na coordenada X. O semivariograma pode ser estimado pela seguinte equação(1):

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (1)$$

em que  $N(h)$  representa o número de pares de valores medidos,  $Z(x_i)$  e  $Z(x_i + h)$ , separados por uma determinada distância (h). Os valores de Z podem ser qualquer um dos parâmetros estudados, enquanto os valores de  $x_i$  e  $x_i + h$  são definidos de acordo com as posições dos pontos amostrais no campo.

Deve-se ajustar uma função matemática, utilizando alguns parâmetros, a saber: efeito pepita ( $C_0$ ); é o valor da semivariância, quando a distância é igual a 0 (zero); patamar ( $C_0 + C_1$ ); à medida que a distância aumenta, também aumenta o valor da semivariância, até um valor máximo, no qual ela se estabiliza, denominado alcance (a) e é a distância-limite de dependência espacial, que representa o raio de um círculo, em que os valores são tão semelhantes que se tornam correlacionados (VIEIRA, 2000).

Os modelos de semivariogramas considerados foram o esférico, o exponencial, o linear e o gaussiano. Para realização desses cálculos foi utilizado o software GS + 7 Geostatistics for the Environmental Sciences (ROBERTSON, 1998).

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 observam-se valores médios de atributos químicos do solo sob mata queimada (MQ) e mata preservada (MP) nas profundidades amostradas. O maior aporte de matéria orgânica do solo (MOS) foi encontrado na profundidade 0-5 cm, tanto na MQ (3,49%), quanto em MP (3,69%), o que não representa diferença estatística. Os teores médios de MOS encontrados entre as áreas não apresentaram diferença estatística, mas apresentaram diferença estatística em relação às profundidades analisadas, onde observa-se uma diminuição dos valores encontrados com o aumento da profundidade. Os menores valores estão na profundidade 20-40 cm de 1,66 e 1,77%, na MQ e MP, respectivamente, onde encontraram-se também os menores valores de pH. A MOS possui a função de complexar os cátions  $H^+$  e  $Al^{3+}$  livres com compostos orgânicos aniônicos dos resíduos e adicionar bases ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  e  $K^+$ ) que reduzem a acidez do solo e aumentam o pH (PAVINATO; ROSOLEM, 2008).

Tabela 1. Valores médios de matéria orgânica do solo (MOS), acidez ativa (pH), fósforo disponível (P), potássio ( $K^+$ ), cálcio ( $Ca^{2+}$ ), magnésio ( $Mg^{2+}$ ), acidez potencial (H+Al), acidez trocável ( $Al^{3+}$ ), capacidade de troca de cátions a pH 7,0 (CTC) e saturação por bases (V%), nas profundidades (cm) de Latossolo Vermelho distrófico em Unidade de Conservação, sob mata queimada (MQ) e mata preservada (MP)

Área	Profundidade (cm)	MOS		pH		P(Mehl)		$K^+$		$Ca^{2+}$		$Mg^{2+}$	
		%		( $CaCl_2$ )		mg $dm^{-3}$		mg $dm^{-3}$		cmol <sub>c</sub> $dm^{-3}$		cmol <sub>c</sub> $dm^{-3}$	
MQ	0-5	3,49	A a	4,77	A a	2,40	A a	68,13	A a	3,48	A a	1,76	A a
MP	0-5	3,69	A a	4,38	B a	0,93	B a	44,93	B a	1,03	B a	0,59	B a
MQ	5-10	2,66	A b	4,63	A ab	1,37	A ab	62,23	A ab	2,18	A b	1,08	A b
MP	5-10	2,81	A b	4,25	B b	0,80	A ab	37,83	B b	0,59	B b	0,34	B b
MQ	10-20	2,14	A c	4,50	A b	1,20	A b	58,97	A b	1,34	A b	0,76	A b
MP	10-20	2,19	A c	4,21	B b	0,68	B ab	32,03	B bc	0,38	B b	0,22	B b
MQ	20-40	1,66	A c	4,44	A b	0,96	A b	53,60	A b	1,30	A b	0,71	A b
MP	20-40	1,77	A d	4,21	B b	0,54	B b	28,67	B c	0,26	B b	0,19	B b
		H+Al		$Al^{3+}$		CTC		V					
		cmol <sub>c</sub> $dm^{-3}$		cmol <sub>c</sub> $dm^{-3}$		cmol <sub>c</sub> $dm^{-3}$		%					
MQ	0-5	4,93	A a	0,32	A b	10,34	A a	50,19	A a				
MP	0-5	4,07	B ab	0,84	B b	5,80	B a	26,47	B a				
MQ	5-10	5,42	A a	0,61	B ab	8,84	A b	36,12	A b				
MP	5-10	4,17	B a	1,10	A ab	5,19	B ab	18,34	B b				
MQ	10-20	5,50	A a	0,88	A a	7,75	A bc	27,70	A b				
MP	10-20	4,00	B ab	1,41	A a	4,68	B bc	14,22	B b				
MQ	20-40	5,35	A a	0,64	B ab	7,50	A c	25,60	A b				
MP	20-40	3,59	B b	1,01	A ab	4,12	B c	12,64	B b				

Médias seguidas de mesma letra maiúscula nas colunas não diferem entre área de estudo para a mesma profundidade e médias seguidas por letras minúsculas iguais nas colunas não diferem entre as profundidades nas áreas, de acordo com os resultados do teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Os valores de pH encontrados nas áreas analisadas foram muito baixos, sobremaneira, nas profundidades de 10-20 cm (4,50) e 20-40 cm (4,44) na MQ. Esses resultados corroboram com valores encontrados por Iwata et al. (2012) em 10-20 cm (4,22) e 20-40 cm (4,15), em uma região

caracterizada por apresentar uma formação vegetal predominante de transição entre os biomas Cerrado e floresta secundária mista.

Na MP, em todas as profundidades, o pH do solo é mais baixo em relação à MQ devido, provavelmente, ao maior teor de ácidos orgânicos na MP. Em mata nativa, na profundidade de 0-5 cm, Dick et al. (2008) encontraram um valor de pH de 4,2, associado ao maior aporte de MOS encontrado nas amostras analisadas, corroborando com os resultados encontrados no presente trabalho.

Os valores médios mais elevados de pH encontram-se na MQ. Este fato também foi observado por Menezes et al. (2008) que atribuíram este resultado ao provável aporte de nutrientes pela queima da vegetação ocorrida na área. No presente trabalho, na profundidade 0-5 cm observaram-se valores médios de pH de 4,77 e 4,38 em MQ e MP, respectivamente, caracterizando a condição de acidez do solo. Nesse caso, com a presença de MOS seria esperada a liberação de bases pela decomposição e, conseqüentemente, incrementos no pH. A adição de MOS resultaria em aumento ou redução do pH, dependendo da predominância dos processos de decomposição que consomem ou liberam  $H^+$  (SILVA; MENDONÇA, 2007). Mendonça et al. (2006) relatam que a decomposição da MOS libera prótons  $H^+$  e complexa bases como o  $Ca^{2+}$ .

Observa-se na Tabela 1 que os valores médios de pH em todas profundidades (0-40 cm) diminuíram independente da ação do fogo, elevando a acidez com o aumento da profundidade, o que é atribuído à mineralização da MOS, que pode permitir a lixiviação das bases trocáveis para o subsolo, além da quantidade de MOS ser naturalmente menor com o aumento da profundidade.

Os valores médios de pH, cálcio e magnésio na MQ podem ser explicados pelo fato da queima gerar óxidos, e com isso, neutralizar a acidez e adicionar esses nutrientes ao solo. A acidez trocável ( $Al^{3+}$ ) foi diminuída pelo aumento do pH, enquanto a acidez potencial do solo ( $H+Al$ ) diminuiu em função também da redução do teor de MOS. Mesmo comportamento foi observado por Faria et al. (2011).

Em relação ao fósforo (P) na MQ apresentou o maior teor médio observado na profundidade 0-5 cm de  $2,4 \text{ mg dm}^{-3}$ , observando-se uma redução dos teores encontrados (Tabela 1), com o aumento da profundidade, o que pode ser explicado pela menor mobilidade relativa do P. Estudos de Faria et al. (2011), em solo após queimada, mostram quase três vezes mais P ( $22,06 \text{ mg dm}^{-3}$ ) que o solo da área testemunha ( $8,32 \text{ mg dm}^{-3}$ ) na profundidade 0-5 cm. Os teores de P diferiram entre profundidades e. Na profundidade 20-40 cm foram encontrados os menores valores de P em MQ e MP ( $0,96 \text{ mg dm}^{-3}$ ,  $0,54 \text{ mg dm}^{-3}$ ), respectivamente.

Pomianoski et al. (2006) observaram em Cambissolo Háplico, que após um ano no tratamento com uso do fogo, houve um aumento no teor de P ( $2,8 \text{ mg dm}^{-3}$  para  $6,4 \text{ mg dm}^{-3}$ ) na profundidade de 0-5 cm. É provável que o fogo tenha liberado este nutriente da vegetação queimada e da MOS

mineralizada, tendo sido então depositado e incorporado ao solo. Para Soares e Batista (2007), a mineralização dos nutrientes após uma queimada os libera para absorção imediata pelas plantas subsequentes, embora muitos dos elementos solúveis possam ser lixiviados através do perfil do solo ou mesmo levados pelas enxurradas. No caso do P, a disponibilidade imediata por meio da queima pode favorecer complexos de esfera interna com óxidos, muito presentes nos Latossolos.

No presente trabalho, os teores de potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), apresentam valores médios maiores na MQ, na profundidade 0-5 cm de 68,13 mg dm<sup>-3</sup>, 3,48 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> e 1,76 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, respectivamente, em relação à MP. Variações não significativas podem ser observadas nos teores de Ca e Mg em profundidade o que pode ser atribuído, em parte, ao efeito residual das cinzas (MENEZES et al., 2008). A distribuição das bases K, Ca e Mg, no perfil, reflete sua associação aos teores de MOS.

Menezes et al. (2008) observaram maiores valores de Ca e Mg, quando comparados aos solos das florestas remanescentes adjacentes, atribuídos ao aporte de nutrientes que restaram da queima anterior da floresta. Faria et al. (2011) verificaram aumento de K (0,372 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) e Ca (3,70 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) na camada de 0-5 cm do solo exposto ao fogo existindo um indicativo de que estes serão aproveitados pelas plantas remanescentes.

Silva et al. (2011), encontraram valores de Ca e Mg no subsolo, ou seja, na profundidade de 20-40 cm, os quais apresentaram valores menores do que na profundidade de 0-20 cm, condição essa que ocorre naturalmente nos solos, e de mesma magnitude aos encontrados no presente trabalho, para a profundidade de 20-40 cm, em MQ e MP de Ca (1,30 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; 0,26 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), e Mg (0,71 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; 0,19 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), respectivamente, devido a baixa mobilidade deste nutriente em profundidade.

A acidez trocável (Al<sup>+3</sup>) na MQ apresenta o seu menor valor médio na profundidade 0-5 cm de 0,32 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>. Observa-se ainda a diminuição do Al<sup>+3</sup> nos solos após a queima, esse resultado pode ser atribuído à elevação do pH resultante do aumento da concentração de bases, em solos de floresta. A diminuição dos teores de Al<sup>+3</sup> tem relação com efeito da MOS, complexando o alumínio livre em solução. A diminuição na camada superficial do teor de cátions livres H<sup>+</sup> e Al<sup>+3</sup> pode estar relacionada à influência das cinzas sobre as características químicas do solo que atuam neutralizando a acidez do solo pela ação de componentes básicos (Ca, Mg e K) que são liberados após a queima da vegetação (IWATA et al., 2012). Ressalta-se, porém, que embora a queima dos resíduos vegetais possa elevar os teores das bases trocáveis e diminuir os teores de H<sup>+</sup> e Al<sup>+3</sup>, ela poderá, também, a longo prazo, diminuir a fertilidade do solo, uma vez que as cinzas são facilmente carreadas por lixiviação (OLIVEIRA et al., 2014).

A saturação por bases (V%) apresentou seu maior valor médio na profundidade de 0-5 cm (50,19%) na MQ indicando o efeito residual das cinzas. Esse valor difere do encontrado na MP na

mesma profundidade. Esse fato é decorrente da mineralização da MOS na MQ, que reduz a CTC e, conseqüentemente, eleva a saturação por bases, tal como observado por Iwata et al. (2012). É importante destacar neste trabalho que o solo estudado apresenta baixa quantidade de nutrientes, ou seja, baixa fertilidade natural, mas suficiente para garantir a manutenção da cobertura vegetal nativa presente na área.

Na Tabela 2 encontram-se os modelos de semivariograma ajustados aos dados experimentais, dos atributos químicos do solo. Os atributos químicos apresentaram dependência espacial, na profundidade de 0-5 cm, na área de MQ, ajustando-se ao modelo exponencial a MOS, H+Al, Al<sup>3+</sup> e V%. Para as variáveis, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>, foram ajustados ao modelo esférico. Para a CTC, ajustou-se ao modelo gaussiano. O pH e P, ajustaram-se ao modelo linear, para todas as profundidades analisadas.

Tabela 2. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas de matéria orgânica do solo (MOS), acidez ativa (pH), fósforo disponível (P), potássio (K<sup>+</sup>), cálcio (Ca<sup>2+</sup>), magnésio (Mg<sup>2+</sup>), acidez potencial (H+Al), acidez trocável (Al<sup>3+</sup>), capacidade de troca de cátions a pH 7,0 (CTC) e saturação por bases (V%) nas profundidades (cm) de Latossolo Vermelho distrófico em Unidade de Conservação, sob mata queimada (MQ)

Prof. (cm)	Parâmetro	MOS %	pH (CaCl <sub>2</sub> )	P mg dm <sup>-3</sup>	K <sup>+</sup> mg dm <sup>-3</sup>	Ca <sup>2+</sup> cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Mg <sup>2+</sup> cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	H+Al cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Al <sup>3+</sup> cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	CTC cmol <sub>c</sub> dn <sup>-3</sup>	V %
0-5	Modelo*	Exp.*	Lin.*	Lin.	Esf.*	Esf.	Esf.	Exp.	Exp.	Gau*	Exp.
	Co	0,221	0,10238	9,70177	186,5	0,001	0,02	0,195	0,115	0,01	6
	Co+C1	1,294	0,12038	9,70177	471,9	2,919	0,827	1,708	0,506	4,003	422,9
	A	20,25	28,13	28,13	61,59	9,28	9,28	3,99	71	9,97	16,81
	r <sup>2</sup>	0,636	0,277	0,42	0,954	0	0	0,0703	0,486	0,825	0,699
	DE	17,08	<b>85,05</b>	<b>100,00</b>	39,52	0,03	2,42	11,42	22,73	0,25	1,42
05--10	Modelo	Gau.	Lin.	Lin.	Gau.	Lin.	Esf.	Esf.	Exp.	Gau	Gau
	Co	0,001	0,1281	3,1559	146	2,76252	0,051	0,074	0,0115	0,01	1
	Co+C1	0,587	0,1281	3,1559	292,1	2,76252	0,522	1,663	0,224	3,188	377,7
	A	9,12	28,13	28,13	36,21	28,13	9,28	9,28	3,76	7,72	9,7
	r <sup>2</sup>	0,742	0,041	0,315	0,942	0,094	0	0	0,016	0,789	0,755
	DE	0,17	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	49,98	<b>100,00</b>	9,77	4,45	5,13	0,31	0,26
10--20	Modelo	Exp.	Lin.	Lin.	Exp.	Lin.	Lin.	Lin.	Esf.	Gau	Gau.
	Co	0,0551	0,10084	0,6183	21,4	0,9949	0,39525	1,1087	0,001	0,001	0,1
	Co+C1	0,3482	0,10084	0,6183	205,9	0,9949	0,39525	1,1087	1,291	1,467	274,4
	A	14,27	28,13	28,13	4,24	28,13	28,13	28,13	9,28	8,32	9,75
	r <sup>2</sup>	0,424	0,187	0,311	0,139	0,094	0,041	0,196	0	0,748	0,792
	DE	15,82	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	10,39	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	0,08	0,07	0,04
20--40	Modelo	Gau.	Lin.	Lin.	Esf.	Esf.	Gau.	Lin.	Esf.	Gau	Gau.
	Co	0,001	0,09471	0,38035	0,1	0,631	0,001	0,86629	0,0772	0,01	1
	Co+C1	0,5	0,09471	0,38035	123,6	3,695	0,736	0,86629	0,2084	6,294	388,4
	A	11,1	28,13	28,13	20	19,98	10,86	28,13	41,54	10,01	11,88
	r <sup>2</sup>	0,471	0,302	0,184	0,859	0,607	0,703	0,452	0,752	0,77	0,9
	DE	0,2	<b>100</b>	<b>100</b>	0,0809061	17,077131	0,1358696	<b>100</b>	37,04415	0,1588	0,2574

Co: Efeito pepita; Co + C1: Patamar; A: Alcance (m); R2: Coeficiente de determinação; DE: dependência espacial. Modelo\*: Exp.:Exponencial, Lin.: Linear; Esf.: Esférico; Gau.:Gaussiano.



Para a análise do grau de dependência espacial das variáveis em estudo, utilizou-se a classificação de Cambardella et al. (1994), onde valores de dependência espacial (DE) menores que 25% são considerados dependência espacial forte, valores de DE entre 25 e 75 % indicam dependência espacial moderada e valores de DE maiores que 75% dependência espacial fraca. A análise da DE mostrou que os atributos químicos do solo entre as áreas e nas profundidades analisadas, em sua maioria apresentaram forte dependência espacial, com exceção do pH e P.

A análise geoestatística mostrou que as variáveis pH e P, para a área de MQ, não apresentaram dependência espacial, denominado efeito pepita puro. Tratasse de uma indicação clara de que esses atributos são espacialmente independentes, apresentam distribuição casual ou de que o espaçamento de amostragem usado é maior que o necessário para revelar a dependência espacial e de que a única estatística aplicável é a clássica (MACHADO et al., 2007). O efeito pepita puro é importante e indica variabilidade não explicada, podendo ser decorrente de erros de medidas ou microvariações não detectadas, considerando a distância de amostragem é necessário, portanto, menor distância entre os pontos de amostragem para se detectar a dependência.

Estudos relacionados com a variabilidade espacial de atributos do solo têm mostrado que os modelos esférico e exponencial tem sido os mais frequentes (AMADO et al., 2009; DALCHIAVON et al., 2012) corroborando, assim, aos modelos ajustados no presente estudo que estão de acordo com as pesquisas realizadas sobre variabilidade do solo, observando as condições pertinentes a cada área analisada. Observa-se que nas profundidades analisadas, na MQ, ocorreu variação do modelo ajustado, essas variações estão diretamente relacionadas ao comportamento dos atributos químicos em relação ao solo e sua disponibilidade e uso pela vegetação.

O alcance (A) de um atributo garante que todos os pontos dentro de um círculo com este raio são tão similares que podem ser usados para estimar valores para qualquer ponto entre eles (SILVA NETO et al., 2011). Os atributos químicos do solo apresentaram diferentes alcances na MQ na profundidade de 0-5 cm, o  $Al^{3+}$  apresentou os maiores valores de alcance com 71 m e menor valor de 3,99 m para H+Al.

Todos os atributos químicos do solo da MP apresentaram diferentes valores de alcance na profundidade 0-5 cm (Tabela 3) e estes foram superiores, ao valor de espaçamento utilizado na malha de amostragem para as variáveis, indicando que as amostras estão espacialmente relacionadas e, assim, há continuidade na distribuição espacial dos atributos químicos. Com exceção da  $Al^{3+}$  e CTC na profundidade de 5-10 cm; o P,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$   $Mg^{2+}$  e V% na profundidade 10-20 cm; P,  $Mg^{2+}$  e H+Al na profundidade 20-40 cm, apresentaram valores de alcance menores do que o espaçamento usado na malha.

Tabela 3. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas de matéria orgânica do solo (MOS), acidez ativa (pH), fósforo disponível (P), potássio (K<sup>+</sup>), cálcio (Ca<sup>2+</sup>), magnésio (Mg<sup>2+</sup>), acidez potencial (H+Al), acidez trocável (Al<sup>3+</sup>), capacidade de troca de cátions a pH 7,0 (CTC) e saturação por bases (V%) nas profundidades (cm) de Latossolo Vermelho distrófico em Unidade de Conservação, sob mata preservada (MP)

Prof. (cm)	Parâmetro	MOS %	pH (CaCl <sub>2</sub> )	P mg dm <sup>-3</sup>	K <sup>+</sup> mg dm <sup>-3</sup>	Ca <sup>2+</sup> cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Mg <sup>2+</sup> cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	H+Al cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Al <sup>3+</sup> cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	CTC cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	V %
0-5	*Modelo	Lin.	Gau.	Esf.	Esf.	Esf.	Gau.	Gau.	Gau.	Gau.	Gau.
	Co	0,5919	0,0318	0,001	63,8	0,262	0,0739	0,093	0,186	0,6	105,9
	Co+C	0,5919	0,148	0,355	153,6	0,85	0,2258	0,966	1,039	2,62	358,8
	A	28,43	69,5673	23,61	27,31	48,27	22,14	13,34	66,09	21,68	31,79
	r <sup>2</sup>	0	0,774	0,875	0,938	0,943	0,998	0,999	0,851	0,999	0,991
DE	100,00	21,49	0,28	41,54	30,82	32,73	9,63	17,90	22,81	29,52	
05--10	Modelo	Lin.	Gau.	Esf.	Lin.	Exp.	Gau.	Gau.	Gau.	Exp.	Exp.
	Co	0,5192	0,015	0,1597	162,107	0,1833	0,0289	0,055	0,00001	0,1	69,1
	Co+C	0,5192	0,0548	0,3364	162,107	0,702	0,1813	0,75	0,1612	312,5	224,9
	A	28,43	28,65	59	28,43	71	68,92	13,02	8,82	7,22	71
	r <sup>2</sup>	0	0,978	0,912	0,099	0,425	0,807	0,989	0,772	0,586	0,564
DE	<b>100,00</b>	27,37	47,47	<b>100,00</b>	26,11	15,94	7,33	0,01	0,03	30,72	
10--20	Modelo	Lin.	Esf.	Esf.	Esf.	Exp.	Esf.	Esf.	Exp.	Lin.	Esf.
	Co	0,21414	0,00001	0,094	0,1	0,0001	0,00001	0,1495	0,718	124,99	0,1
	Co+C	0,21414	0,02042	0,442	44,44	0,0932	0,01022	0,381	3,446	124,99	38,82
	A	28,43	19,83	9,96	9,96	5,17	9,96	25,63	61,11	28,42	9,96
	r <sup>2</sup>	0,808	0,912	0	0	0,055	0	0,978	0,24	0,731	0
DE	<b>100,00</b>	0,05	21,27	0,23	0,11	0,10	39,24	20,84	100,00	0,26	
20--40	Modelo	Esf.	Gau.	Exp.	Lin.	Exp.	Esf.	Gau.	Esf.	Gau.	Exp.
	Co	0,0011	0,00309	0,056	28,64	0,0103	0,00001	0,071	0,035	55,4	8,3
	Co+C	0,1512	0,00969	0,188	28,64	0,094	0,00503	0,4	0,157	184	25,33
	A	11,19	23,49	8,96	28,43	71	9,96	9,92	25,28	40,08	71
	r <sup>2</sup>	0,004	0,974	0,27	0,679	0,434	0	0,962	0,786	0,99	0,367
DE	0,73	31,89	29,79	<b>100,00</b>	10,96	0,20	17,75	22,29	30,11	32,77	

Co: Efeito pepita; C0 + C1: Patamar; A: Alcance (m); R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinação; DE: dependência espacial.  
\*Modelo: Exp.: Exponencial; Lin.: Linear; Esf.: Esférico; Gau.: Gaussiano.

Na área de MP, na profundidade de 0-5 cm, os atributos químicos apresentaram dependência espacial, ajustando-se ao modelo gaussiano, pH, Mg<sup>2+</sup>, H+Al, Al<sup>3+</sup>, CTC e V%. Para as variáveis foram ajustados ao modelo linear a MOS e esférico, P, K<sup>+</sup> e Ca<sup>2+</sup>.

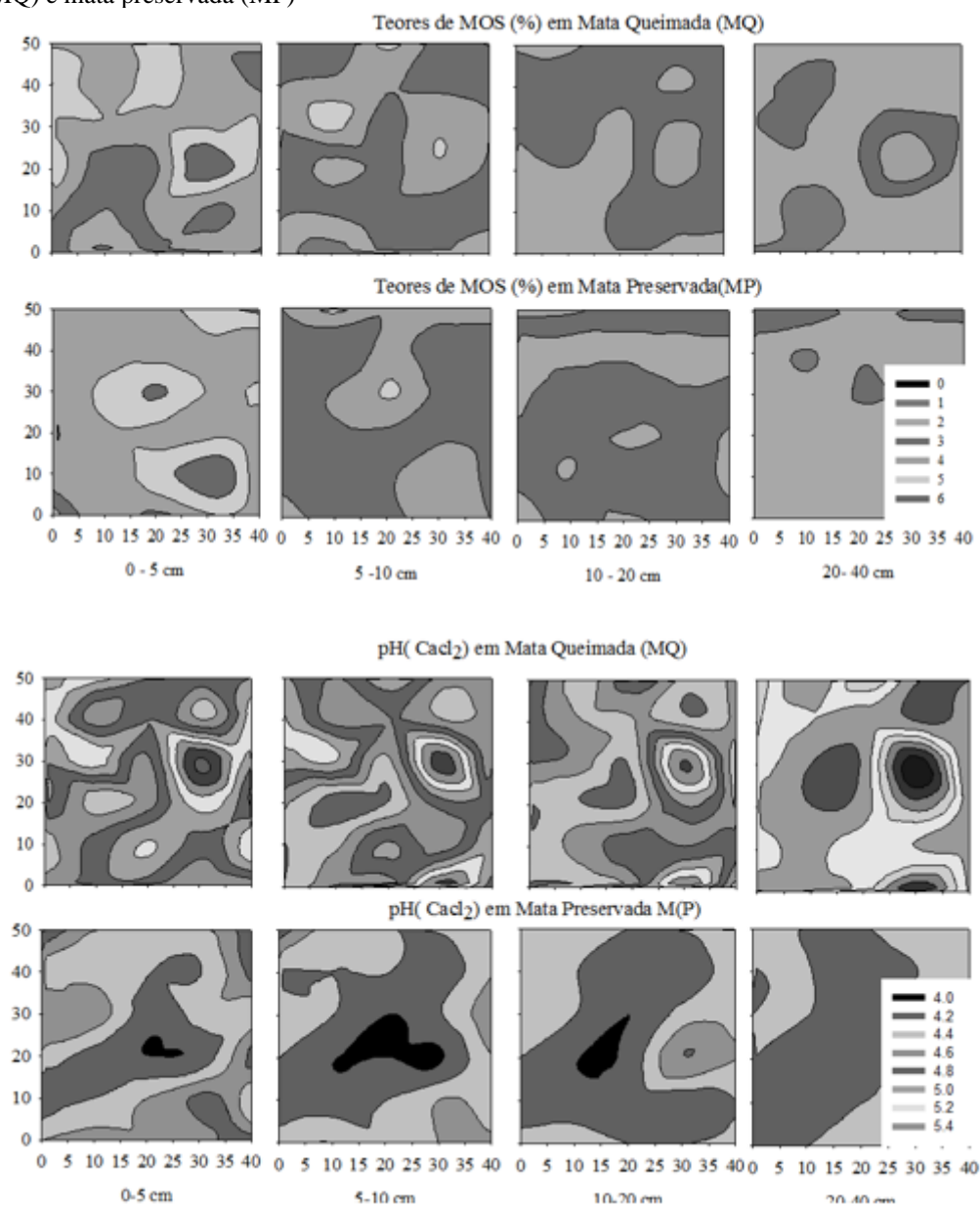
Vieira et al. (2007) recomendam um intervalo entre pontos amostrais superior ao dobro do alcance da dependência espacial, o que, associado ao número de pontos amostrais estimado pela estatística clássica, permite maximizar a eficiência da amostragem.

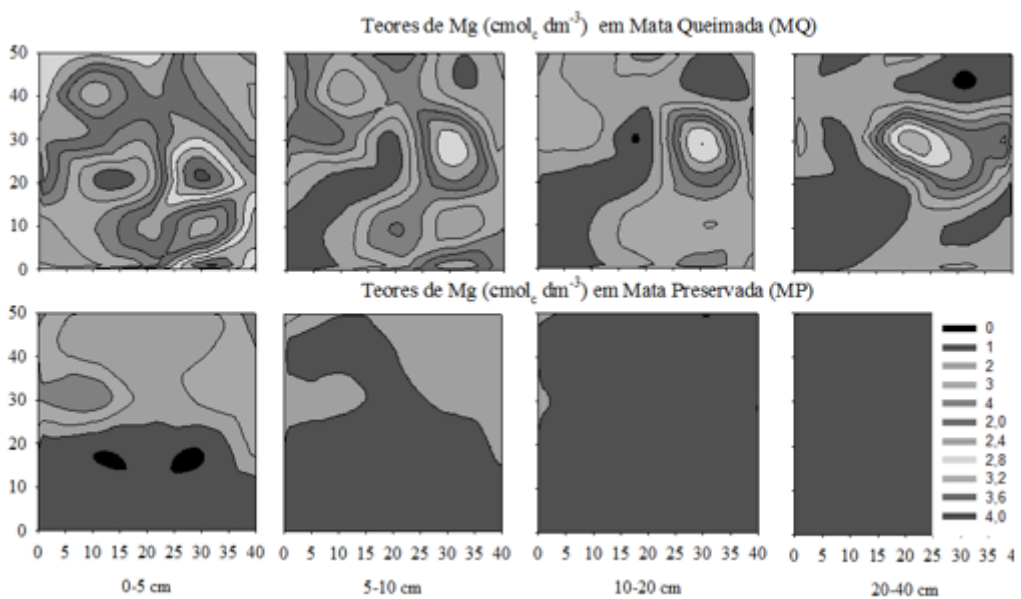
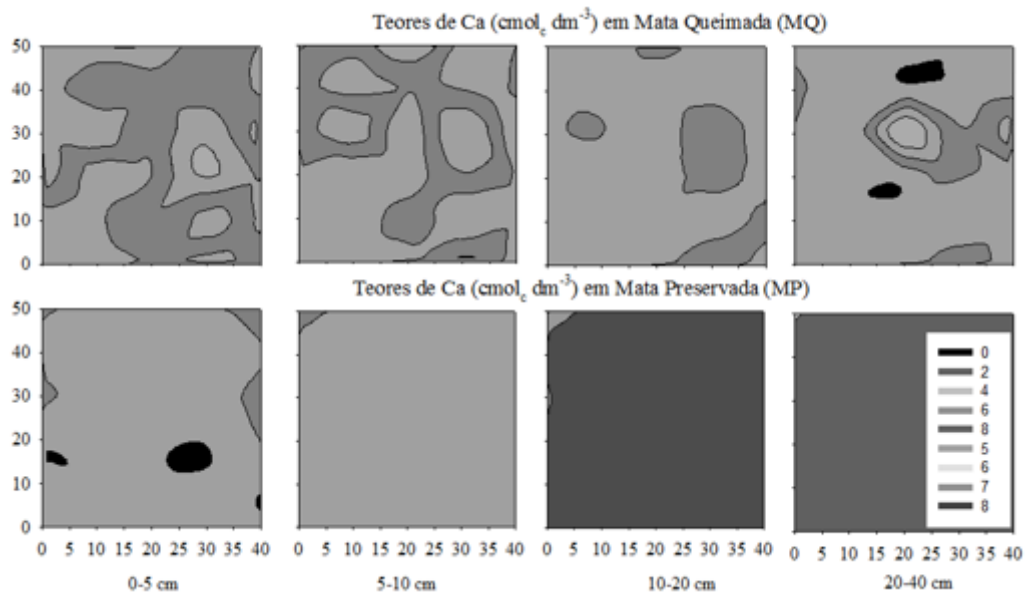
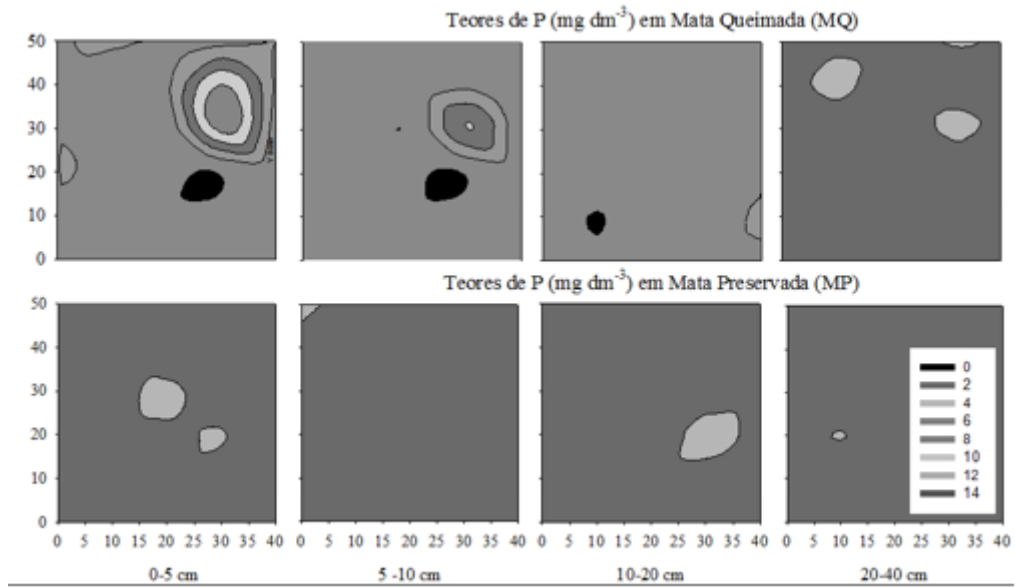
Na área de MP, as variáveis pH, P, H+Al, Al<sup>3+</sup>, CTC mostraram forte dependência espacial; assim como Mg<sup>2+</sup>, H+Al, Al<sup>3+</sup> e CTC, na profundidade de 5-10 cm; pH, P, K<sup>+</sup> Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup> e V%, na profundidade 10-20 cm, já as demais apresentaram moderada dependência espacial, exceto MOS e CTC, que apresentaram fraca dependência espacial. Na profundidade 20-40 cm, MOS, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>,

H+Al, e  $Al^{3+}$  apresentaram forte dependência espacial; pH, P, CTC e V% moderada e apenas  $K^+$  fraca dependência espacial.

Na área de MQ e MP apresentam características intrínsecas de heterogeneidade, o que foi evidenciado pelos atributos do solo, onde variáveis foram observadas com distinto grau de dependência espacial ao longo do perfil (Figura 1).

Figura 1. Mapas da distribuição espacial matéria orgânica do solo (MOS), pH ( $CaCl_2$ ), fósforo (P), Cálcio ( $Ca^{2+}$ ), Magnésio ( $Mg^{2+}$ ), na profundidade de 0-5 a 20-40 cm em um Latossolo Vermelho distrófico em Unidade de Conservação, sob mata queimada (MQ) e mata preservada (MP)





Assim, a forte dependência espacial encontrada para os atributos químicos do solo em estudo pode ser decorrente de ações naturais de formação do solo, principalmente o material de origem e relevo, enquanto que a dependência espacial moderada seria devido à homogeneização do solo, confirmado esta hipótese quando se analisa a amplitude de variação dos atributos químicos (SILVA NETO et al., 2011).

#### **4 CONCLUSÕES**

1. Os alcances de dependência espacial para os atributos químicos nas diferentes camadas do solo foram distintos e sem relação direta com a profundidade, demonstrando assim, uma relativa continuidade na distribuição espacial da maioria dos atributos avaliados, possivelmente em função das características de heterogeneidade do solo.

2. O estudo da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo em mata preservada (MP) e em mata após a ação do fogo (MQ) proporcionou a definição e o mapeamento da área de estudo.

**REFERÊNCIAS**

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*, v. 33, n. 4, p. 831-843, 2009.

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

DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. P.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R. Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um Latossolo Vermelho Distroférrico sob Sistema Plantio Direto. *Revista Ciência Agrônômica*, v. 43, n. 3, p. 453-461, 2012.

DICK, D. P.; MARTINAZZO, R.; DALMOLIN, R. S. D.; JACQUES, A. V. Á.; MIELNICZUK, J.; ROSA A. S. Impacto da queima nos atributos químicos e na composição química da matéria orgânica do solo e na vegetação. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 43, n. 5, p. 633-640, 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. Manual de Métodos de Análise do Solo. 2ª. ed. revista, Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p.

FARIA, A. B. C.; BLUM, C. T.; CHITSONDZO, C.; LOMBARDI, K. C.; BATISTA, A. C. Efeitos da intensidade da queima controlada sobre o solo e diversidade da vegetação de campo em Irati - PR, Brasil. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 6, n. 3, p. 489-494, 2011.

IWATA, B. F.; LEITE, L. F. C.; ARAÚJO, A. S. F.; NUNES, L. A. P. L.; GEHRING, C.; CAMPOS, L. P. Sistemas agroflorestais e seus efeitos sobre os atributos químicos em Argissolo Vermelho-Amarelo do Cerrado piauiense. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 16, n. 7, p. 730-738, 2012.

KNICKER, H. How does fire affect the nature and stability of soil organic nitrogen and carbon? A review. *Biogeochemistry*, v. 85, n. 11, p. 91-118, 2007.

MACHADO, L. O.; LANA, A. M. Q.; LANA, R. M. Q.; GUIMARÃES, E. C.; FERREIRA, C. V. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em áreas sob sistema plantio convencional. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, n. 3, p. 591-599, 2007.

MENDONÇA, E. S.; ROWELL, D. L.; MARTINS, A. G.; SILVA, A. P. Effect of pH on the development of acidic sites in clayey and Sandy loam Oxisol from the Cerrado Region, Brazil. *Geoderma*, v. 132, n. 1-2, p. 131-142, 2006.

MENEZES, J. M. T.; VAN LEEUWEN, J.; VALERI, S. V.; CRUZ, M. C. P.; LEANDRO, R. C. Comparação entre solos sob uso agroflorestral e em florestas remanescentes adjacentes, no norte de Rondônia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, n. 2, p. 893-898, 2008.

MONTANARI, R.; PEREIRA, G. T.; JÚNIOR, J. M.; 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.

OLIVEIRA, A. P. P.; LIMA, E.; ANJOS, L. H. C.; ZONTA, E.; PEREIRA, M. G. Sistemas de colheita da cana-de-açúcar: conhecimento atual sobre modificações em atributos de solos de tabuleiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 18, n. 9, p. 939-947, 2014.

PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo - decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, n. 3, p. 911-920, 2008.

PINHEIRO, E. S.; DURIGAN, G. Dinâmica espaço-temporal (1962-2006) das fitofisionomias em unidade de conservação do Cerrado no Sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Botânica*, v. 32, n. 3, p.441-454, 2009.

POMIANOSKI, D. J. W.; DEDECEK, R. A.; VILCAHUAMAN. L. J. M. Efeito do fogo nas características químicas e biológicas do solo no Sistema agroflorestal da Bracatinga. *Boletim de Pesquisa Florestal*, n. 52, p. 93-118, 2006.

REDIN, M.; SANTOS, G. F.; MIGUEL, P.; DENEGA, G. L.; LUPATINI, M.; DONEDA, A.; SOUZA, E. L. Impactos da queima sobre atributos químicos, físicos e biológicos do solo. *Ciência Florestal*, v. 21, n. 2, p. 381-392, 2011.

ROBERTSON, G. P. *GS+ geostatistics for the environmental sciences*. Plainwell: Gamma Design Software, 1998, 152 p.

SANT'ANA, G. R. S. (Org.). *Plano de Manejo do Jardim Botânico de Goiânia*. Goiânia: SEMMA, 2007.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 5. ed. rev. ampl. Brasília, DF: Embrapa; 2018.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v. 4, n. 1, p. 71-78, 2002.

SILVA, A. M.; MORAES, M. L. T.; BUZETTI, S. Propriedades químicas de solo sob reflorestamento ciliar após 20 anos de plantio em área de cerrado. *Revista Árvore*, v. 35, n. 1, p. 97-106, 2011.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Org.). *Fertilidade do solo*. 1017 p. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. cap. 6, p. 275-374.

SILVA NETO, S. P.; SANTOS, A. C.; LEITE, R. L. L.; DIM, V. P.; CRUZ, R. S.; PEDRICO, A.; NEVES NETO, D. N. Análise espacial de parâmetros da fertilidade do solo em região de ecótono sob diferentes usos e manejos. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 32, n. 2, p. 541-552. 2011.

SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. *Incêndios florestais: controle, efeitos e uso do fogo*. Curitiba: FUPEF, 2007. 250 p.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVARES, V. H.; SCHAEFFER, C. E. G. R. *Tópicos em ciência do solo*, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p. 1-54.

VIEIRA, V. A. S.; MELLO, C. R.; LIMA, J. M. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em uma microbacia hidrográfica. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 31, n. 5, p. 1477-1485. 2007.