

Allan Libanio Pelissari¹, Sidney Fernando Caldeira², Vanderley Severino dos Santos³

VARIABILIDADE ESPACIAL DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM POVOAMENTO DE *Tectona grandis*

Palavras chave:
Teca
Dinâmica espacial
Geoestatística
Krigagem

RESUMO: Considerando a necessidade por informações que visem a identificar e medir as relações espaciais dos fatores edáficos que limitam o desenvolvimento dos povoamentos de teca, neste trabalho, objetivou-se caracterizar a variabilidade espacial dos atributos químicos pH, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, matéria orgânica e alumínio do solo e compará-las em dois períodos de avaliação, ao segundo e nono ano de idade, de um povoamento de teca no estado de Mato Grosso, Brasil. Foram alocadas 46 unidades amostrais e coletadas amostras de solo, a 0-0,2 m de profundidade, para a posterior modelagem geoestatística. Foram observadas alterações espaciais dos atributos químicos do solo entre as avaliações, o que permite recomendar adubações e correções de acidez do solo em regiões específicas da área florestada, visando ao estabelecimento dos indivíduos pós-plantio e o desenvolvimento daqueles conduzidos pós-desbastes.

Histórico:
Recebido 22/12/2011
Aceito 16/10/2013

SPATIAL VARIABILITY OF THE SOIL CHEMICAL ATTRIBUTES IN *Tectona grandis* STAND

Keywords:
Teak
Spatial dynamic
Geoestatistic
Kriging

ABSTRACT: Considering the need for information aimed at identifying and measuring the spatial relationships of edaphic factors that limit the development of teak stands, the objective of this study was to characterize and compare the spatial variability of soil chemical attributes: pH, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, organic matter and aluminum at two and nine years old teak stand localized in State of Mato Grosso, Brazil. Plots were allocated and soil samples were collected at 0-0.2 m depth for geostatistical modeling. Spatial changes of soil chemical attributes were detected and possible fertilization and corrections of soil acidity in specific regions of the stand for the establishment of trees and their development after thinning were recommend.

Correspondência:
allanpelissari@gmail.com

DOI:
10.1590/01047760201420031437

¹ Universidade Federal do Paraná - Curitiba, Paraná, Brasil

² Universidade Federal de Mato Grosso - Cuiabá, Mato Grosso, Brasil

³ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso - Cuiabá, Mato Grosso, Brasil

INTRODUÇÃO

A teca (*Tectona grandis* L. f.) é considerada uma alternativa às madeiras de valor econômico para o suprimento das indústrias de base florestal, com o seu cultivo em uma variedade de solos, principalmente de textura franco-arenosa à argilosa, profundos, férteis e com pH ácido à alcalino. É exigente em bases trocáveis, como o cálcio, e é eficiente na utilização do fósforo, porém sensível às concentrações elevadas de alumínio trocável (MOLLINEDO GARCIA, 2003; TANAKA et al., 1998).

Ao passo que os povoamentos de teca se aproximam da rotação técnica da cultura, são observados impactos negativos nas reservas minerais dos solos cultivados, principalmente nas camadas superficiais, onde o sistema radicular efetivo da espécie está presente em volume maior (MATRICARDI, 1989), o que indica a necessidade do monitoramento das propriedades do solo durante as fases de condução dos plantios.

Atualmente, com os avanços tecnológicos da silvicultura de precisão, é possível medir e identificar as relações espaciais dos fatores edáficos que limitam o desenvolvimento dos povoamentos florestais, principalmente por métodos geoestatísticos,

fundamentados em funções espaciais de variáveis regionalizadas no espaço, que permitem prever valores em locais não amostrados e a aplicação em mapeamentos (ANDRIOTTI, 2003; BORSSOI et al., 2011; GOMES et al., 2007).

Desse modo, à medida que cresce a necessidade por informações detalhadas que visem a orientar o manejo de plantios de teca e considerando a escassez de estudos que demonstrem o uso de modelagens espaciais para as culturas florestais, neste trabalho, objetivou-se aplicar a geoestatística para caracterizar a variabilidade espacial dos principais atributos químicos do solo e compará-las em dois períodos de avaliação, ao segundo e ao nono ano de idade, de um povoamento de teca no estado de Mato Grosso.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido aos dois e aos nove anos de idade de um povoamento homogêneo de teca, com 213 ha implantados em 1999 no espaçamento 3 m x 3 m, no município de Nossa Senhora do Livramento, Estado de Mato Grosso, nas coordenadas geográficas 16°13'30" S a 16°13'50" S e 56°22'30" W a 56°24'30" W (Figura 1).

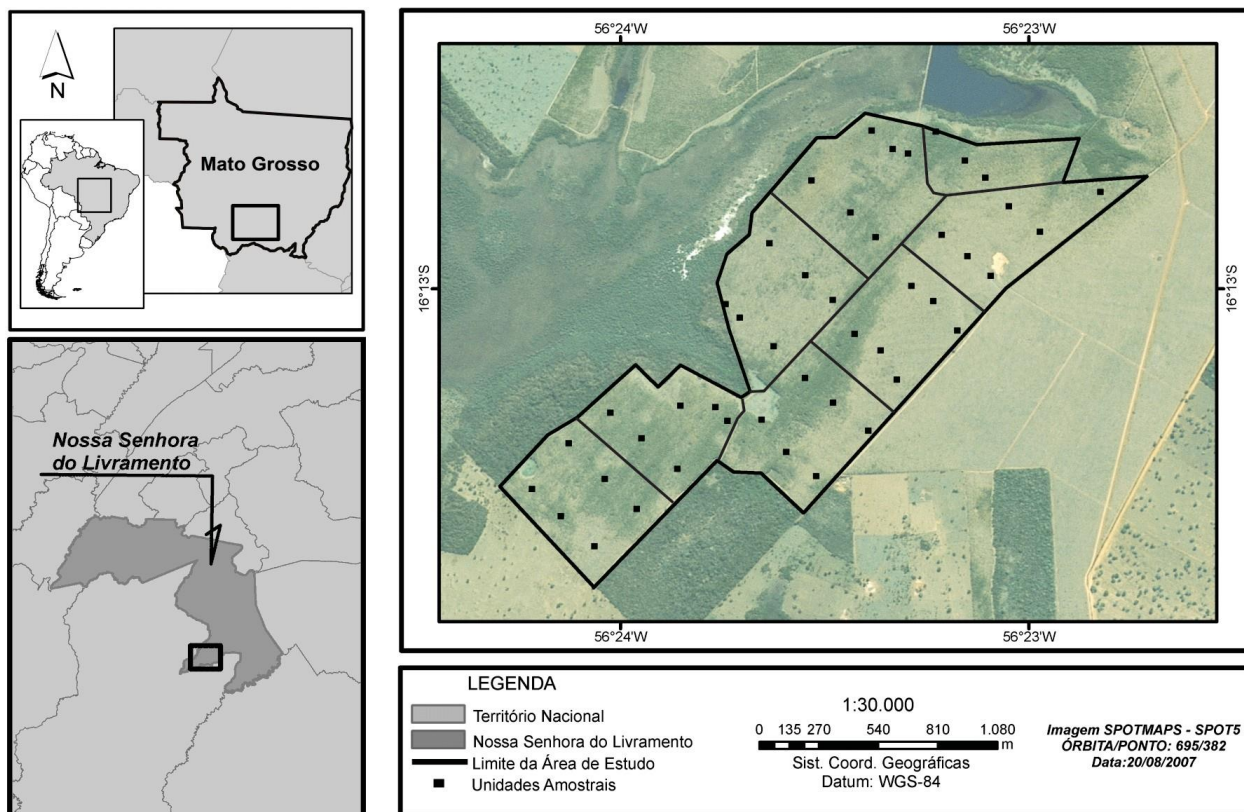


FIGURA 1 Localização do povoamento de *Tectona grandis* no Estado de Mato Grosso.

FIGURE 1 Location of the *Tectona grandis* stand in State of Mato Grosso.

O clima da região é o Aw, com precipitação média de 1.300 mm·ano⁻¹ e temperatura média anual de 25°C (CAMPELLO JÚNIOR et al., 1991). O relevo é suavemente ondulado, com declividade média de 5%, e o solo é classificado como Planossolo Háplico Eutrófico de textura franco-argilo-arenosa (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2006). Não houve adubação no preparo do solo e ao longo do período de avaliação do povoamento, e foram executados desbastes seletivos ao quinto e ao oitavo ano, com a remoção de 40% e 33%, respectivamente, do número de árvores por hectare.

Foram alocadas 46 parcelas permanentes de 15 m x 30 m (450 m²) em oito talhões (Figura 1), conforme a intensidade amostral determinada pelo inventário fl em que, alguns pontos amostrais tiveram o posicionamento geográfico readequado, em razão da malha viária existente na área. No centro de cada parcela, foram coletadas amostras de solo, na profundidade de 0-0,2 m, para a determinação do pH (em H₂O), fósforo (P), potássio (K⁺), cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), matéria orgânica (MO) e alumínio (Al³⁺) do solo, segundo metodologias de EMBRAPA (1997).

Os dados foram submetidos à análise estatística descritiva e ao teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov, ao nível de 5% de significância. Para modelar os padrões espaciais, foram ajustados os semivariogramas esférico, exponencial e gaussiano, pela minimização da soma de quadrados residuais, e avaliados com base no coeficiente de determinação (R²) e na validação cruzada, a qual, como ideal, fornece coeficiente linear (a) igual a zero; coeficiente angular (b) igual a um; e coeficiente de determinação da validação cruzada (R²_{vc}) igual a um (VIEIRA, 2000).

Além disso, os coeficientes linear (a) e angular (b) da validação cruzada foram submetidos ao teste t, ao nível de 5% de significância. Também foram executados ajustes nas direções de 0°, 45°, 90° e 135°, a fim de verificar anisotropias, e calculados os graus de dependência espacial (GD), conforme Cambardella et al. (1994).

A interpolação e a espacialização foram realizadas pela krigagem ordinária pontual, correspondente a um interpolador de média móvel ponderada que utiliza a dependência espacial entre amostras vizinhas, expressa no semivariograma, para estimar valores em qualquer posição dentro do espaço, sem tendência e com variância mínima, na composição de mapas temáticos (VIEIRA, 2000).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios dos atributos do solo oscilaram entre as avaliações (Tabela 1). Para o pH, cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺) e matéria orgânica (MO) houveram elevações dos valores mínimos e reduções dos máximos, com decréscimos dos coeficientes de variação, enquanto para o fósforo (P), potássio (K⁺) e alumínio (Al³⁺) ocorreram reduções gerais nos valores e elevações das variabilidades. Essas alterações numéricas mostraram a influência do cultivo homogêneo da teca nas propriedades químicas do solo.

TABELA I Análise estatística descritiva dos atributos químicos do solo, na profundidade de 0-0,2 m, para *Tectona grandis* aos dois e aos nove anos.

TABLE I Descriptive statistical analysis of the chemical attributes of soil at a depth of 0-0.2 m for *Tectona grandis* at two and nine years of age.

Variável	Mínimo	Média	Máximo	Coefi de variação	Kolmogorov-Smirnov
<i>Tectona grandis</i> aos dois anos					
pH	4,70	5,93	6,70	7,0%	0,121*
P	3,50	12,08	30,90	39,2%	0,169 ^{ns}
K ⁺	76,00	135,92	230,00	26,2%	0,077*
Ca ²⁺	0,70	4,99	8,10	39,8%	0,202 ^{ns}
Mg ²⁺	0,60	1,79	3,70	44,1%	0,125*
MO	13,00	25,02	43,00	30,4%	0,078*
Al ³⁺	0,00	0,10	1,40	26,4%	0,394 ^{ns}
<i>Tectona grandis</i> aos nove anos					
pH	5,30	6,06	6,50	3,1%	0,160*
P	2,20	4,16	8,10	41,9%	0,191 ^{ns}
K ⁺	36,00	84,35	147,00	33,8%	0,096*
Ca ²⁺	1,38	4,35	6,88	36,2%	0,182 ^{ns}
Mg ²⁺	0,75	1,80	3,63	37,5%	0,073*
MO	15,00	23,22	35,00	19,6%	0,118*
Al ³⁺	0,00	0,03	0,63	28,3%	0,536 ^{ns}

pH = potencial hidrogeniônico; P = fósforo; K⁺ = potássio; Ca²⁺ = cálcio; Mg²⁺ = magnésio; MO = matéria orgânica; Al³⁺ = alumínio; * = segue distribuição normal ao nível de 5% pelo teste Kolmogorov-Smirnov; e ^{ns} = não segue distribuição normal.

Em ambos os períodos de avaliação, apenas o fósforo (P), cálcio (Ca²⁺) e alumínio (Al³⁺) apresentaram distribuição não normal e, para eles, as transformações ln(x) e \sqrt{x} não proporcionaram a normalidade dos dados. Assim, para as modelagens geoestatísticas, optou-se pela utilização dos atributos químicos do solo nas escalas originais, visto que não foram detectados valores anômalos em suas distribuições.

Foram obtidos ajustes melhores com os modelos esférico e gaussiano (Tabela 2), exceto para o pH aos nove anos com o modelo exponencial. Para esses, o efeito pepita (C_0) apresentou valores baixos e representou a variância ao acaso (VIEIRA, 2000). Pelos alcances (A), foram observadas heterogeneidades espaciais elevadas que representaram as distâncias em que as análises geoestatísticas conduziram as estimativas com precisão maior (CHIG et al., 2008) e, com os graus moderado a forte de dependência espacial (GD), foi corroborada a necessidade da análise específica da distribuição espacial dessas variáveis em cada ocasião de avaliação do povoamento.

Os ajustes foram estatisticamente eficientes, com coeficientes de determinação (R^2) superiores a 0,91 e indicaram o quão próximo os valores reais das semivariâncias encontraram-se das estimativas. Os coeficientes lineares (a) foram não significativos apenas para o fósforo (P) e matéria orgânica (MO) aos dois anos da teca, e para o potássio (K^+) em ambas as idades. Para esses atributos do solo, o valor ideal da validação cruzada não esteve contido nos intervalos de confiança dos seus coeficientes lineares. Ao passo que os coeficientes angulares (b) foram significativos nos dois períodos e estatisticamente próximos a uma unidade.

Ainda, os coeficientes de determinação da validação cruzada (R^2_{vc}) foram inferiores a 0,65, em razão do espalhamento maior dos valores medidos, em comparação aos estimados, em torno da linha de regressão (VIEIRA, 2000), o que, segundo Andriotti (2003), na melhor das hipóteses, indicou que os ajustes não foram necessariamente incorretos, visto que esses resultados são comumente encontrados em modelagem espaciais de atributos do solo, tais como nos estudos de Bottega et al. (2013), Carvalho et al. (2012) e Parfi et al. (2009).

Diferentes direções de ajustes foram avaliadas por meio dos semivariogramas direcionais, dos quais não foram detectadas variações expressivas ao longo da distância (Figura 2). Assim, os parâmetros geoestatísticos foram utilizados para as estimativas da distribuição espacial dos atributos do solo no povoamento de teca (Figuras 3 e 4).

Foram observadas mudanças na variabilidade espacial do pH do solo, com o aumento da área de valores superiores a seis unidades e a maior heterogeneidade da distribuição espacial ao nono ano (Figuras 3A e 3B). O que refletiu na elevação do grau de dependência espacial (GD) de moderado para forte (Tabela 2) e estiveram relacionados com a incorporação da matéria orgânica

TABELA 2 Parâmetros dos semivariogramas ajustados para os atributos químicos do solo, na profundidade de 0-0,2 m, para *Tectona grandis* aos dois e aos nove anos.

TABLE 2 Parameters of the semivariograms adjusted for chemical attributes of soil at a depth of 0-0.2 m for *Tectona grandis* stands at two and nine years of age.

Atributo	Modelo	C_0	C	A (m)	GD	R^2	a	b	R^2_{vc}
<i>Tectona grandis</i> aos dois anos									
pH	Gaussiano	0,081	0,188	381,00	Moderado	0,95	0,18*	0,97*	0,29
P	Gaussiano	0,108	0,429	595,65	Moderado	0,97	3,47 ^{ns}	0,77*	0,23
K^+	Esférico	1,000	1,522	750,00	Forte	0,97	27,58 ^{ns}	0,78*	0,41
Ca^{2+}	Esférico	0,060	4,688	798,00	Forte	0,97	0,28*	0,94*	0,56
Mg^{2+}	Esférico	0,037	0,796	791,00	Forte	0,96	0,04*	0,96*	0,58
MO	Gaussiano	8,000	74,31	386,00	Forte	0,98	2,36 ^{ns}	0,89*	0,62
Al^{3+}	Esférico	0,049	0,114	513,00	Moderado	0,91	0,04*	0,75*	0,11
<i>Tectona grandis</i> aos nove anos									
pH	Exponencial	0,006	0,040	189,00	Forte	0,99	0,58*	0,91*	0,23
P	Gaussiano	0,083	0,169	1.156,0	Moderado	0,97	0,93*	0,83*	0,15
K^+	Esférico	1,000	945,0	722,00	Forte	0,96	12,81 ^{ns}	0,83*	0,45
Ca^{2+}	Gaussiano	0,780	2,947	429,00	Moderado	0,98	-0,23*	1,04*	0,58
Mg^{2+}	Gaussiano	0,144	0,523	349,00	Moderado	0,95	0,30*	0,82*	0,32
MO	Gaussiano	3,090	24,79	359,00	Forte	0,97	0,46*	0,97*	0,64
Al^{3+}	Gaussiano	0,006	0,024	560,83	Moderado	0,99	0,01*	0,75*	0,17

pH = potencial hidrogeniônico; P = fósforo; K^+ = potássio; Ca^{2+} = cálcio; Mg^{2+} = magnésio; MO = matéria orgânica; Al^{3+} = alumínio; C_0 = efeito pepita; C = patamar; A = alcance; R^2 = coeficiente de determinação; a = coeficiente linear; b = coeficiente angular; ^{ns} e * = não significativo e significativo, respectivamente, ao nível de 5% pelo teste t; e R^2_{vc} = coeficiente de determinação da validação cruzada.

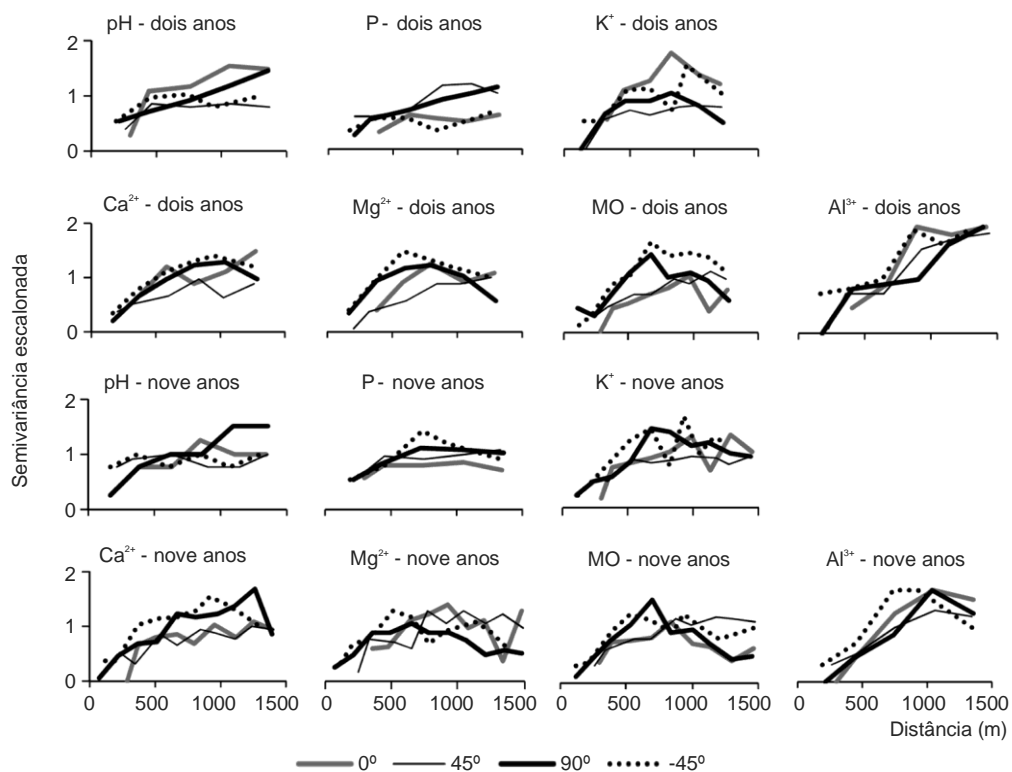


FIGURA 2 Semivariogramas direcionais escalonados dos atributos químicos do solo, na profundidade de 0-0,2 m do solo, para *Tectona grandis* aos dois e aos nove anos.

FIGURE 2 Directional semivariograms scaled of chemical soil attributes at a depth of 0-0.2 m soil, for two and nine years old *Tectona grandis* stands.

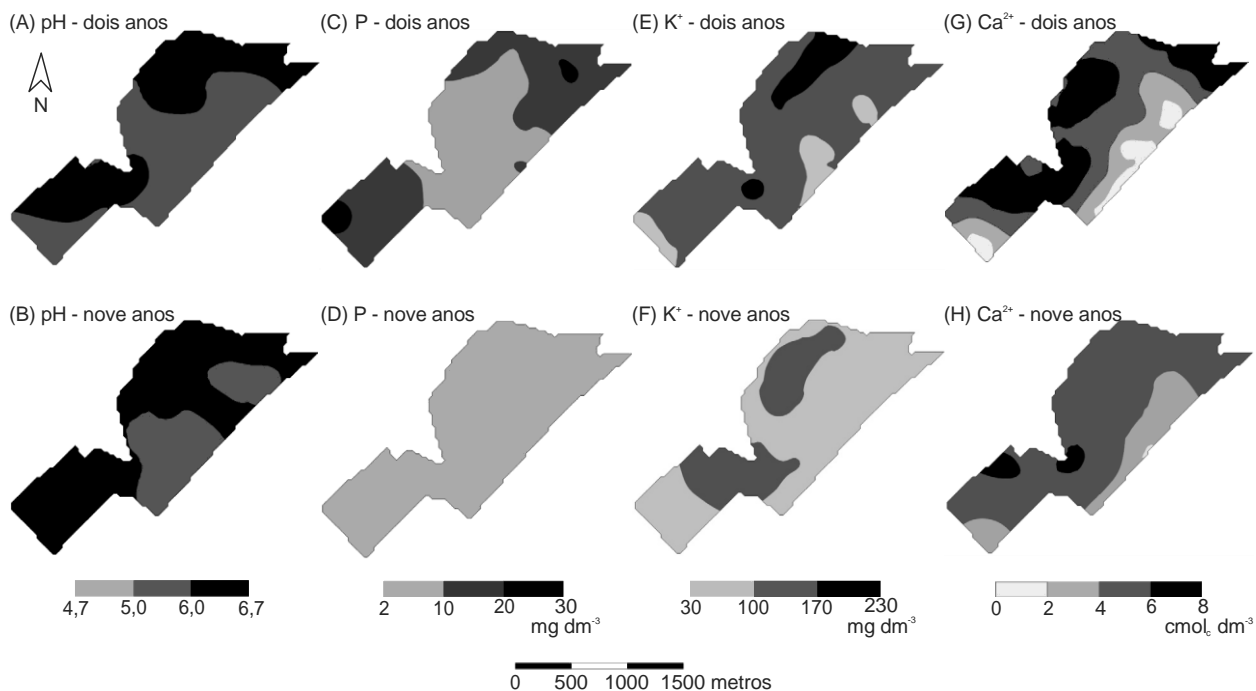


FIGURA 3 Distribuição espacial do pH, fósforo (P), potássio (K^+) e cálcio (Ca^{2+}) na profundidade de 0-0,2 m do solo, para *Tectona grandis* aos dois e aos nove anos.

FIGURE 3 Spatial distribution of pH, phosphorus (P), potassium (K^+) and calcium (Ca^{2+}) at 0-0.2 m in soil depth, for two and nine years old *Tectona grandis* stands.

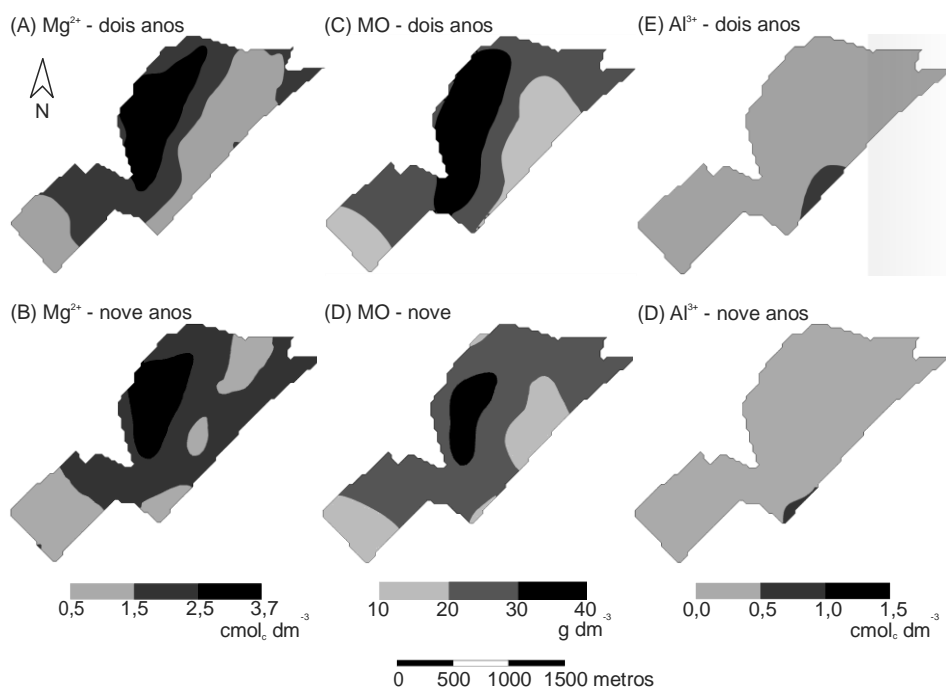


FIGURA 4 Distribuição espacial do magnésio (Mg^{2+}), matéria orgânica (MO) e alumínio (Al^{3+}) na profundidade de 0-0,2 m do solo, para *Tectona grandis* aos dois e aos nove anos.

FIGURE 4 Spatial distribution of magnesium (Mg^{2+}), organic matter (MO) and aluminum (Al^{3+}) at 0-0.2 m in soil depth, for *Tectona grandis* stads at two and nine years of age.

proveniente da serapilheira e dos resíduos culturais dos desbastes (MÁRQUEZ et al., 1993), que contribuíram para a redução da acidez do solo aos níveis que possibilitam a disponibilidade adequada dos nutrientes às plantas (COSTA; ZOCCHÉ, 2009).

Em ambas as idades, as concentrações de fósforo (P) no solo (Figuras 3C e 3D) foram superiores ao mínimo de $0,5 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ indicado por Mollinedo Garcia (2003) para plantios de teca, no entanto, foi constatada a redução dos seus níveis ao nono ano e a homogeneização da sua distribuição espacial, o que estão associados com a maior absorção e retenção de fósforo, durante a fase juvenil do desenvolvimento da espécie para a formação do sistema radicular (MÁRQUEZ et al., 1993).

Com a distribuição espacial do fósforo (P) é possível recomendar a concentração de adubações fosfatadas na região central do povoamento ao segundo ano (Figura 3C), a fim de beneficiar o desenvolvimento inicial do sistema radicular dos indivíduos, ao passo que a espacialização em período pós-estabelecimento (Figura 3D) possibilita determinar a elevação dos níveis de fósforo no solo em toda a área florestada, para a ambientação dos indivíduos remanescentes dos desbastes à nova configuração espacial de redução da densidade do plantio.

Para o potássio (K^+), foram detectadas alterações significativas da sua distribuição espacial, com a redução da heterogeneidade espacial e diminuição da sua concentração no solo (Figura 3E e 3F). Fatos relacionados com o aumento da necessidade desse elemento nas atividades enzimáticas do metabolismo vegetal das espécies de crescimento rápido (ABOD; SIDDIQUI, 2002), contudo, os seus valores foram superiores ao limite mínimo de $4,5 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ recomendável para a cultura (MOLLINEDO GARCIA, 2003).

O conteúdo de cálcio (Ca^{2+}) no solo foi inferior à concentração de $10 \text{ cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$ indicada por Mollinedo Garcia (2003), com as alterações na distribuição espacial caracterizadas pelo aumento dos níveis mínimos e redução dos máximos e diminuição da heterogeneidade espacial (Figura 3G e 3H). Ao passo que a concentração de magnésio (Mg^{2+}) no solo foi inferior a $5,0 \text{ cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$ recomendado para a teca, entretanto, houve manutenção dos teores e pouca alteração na variabilidade espacial (Figura 4A e 4B).

Por meio das características espaciais do Ca^{2+} (Figura 3G e 3H) e do Mg^{2+} (Figuras 4A e 4B) do solo é possível inferir a necessidade de elevação significativa dos teores desses atributos, principalmente nas faces leste e sul da área do plantio, e em ambos os períodos de avaliação, visando a atender às necessidades recomendáveis ao desenvolvimento adequado da teca.

Possivelmente, as observações para as características espaciais dos atributos Ca^{2+} e Mg^{2+} do solo foram ocasionadas pela incorporação da serapilheira formada anualmente, em razão do grau elevado de deciduidade foliar da espécie e à concentração alta desses elementos nas folhas (BEHLING, 2009), e que refletiram na redução dos graus de dependência espacial (GD) de forte para moderado entre os dois períodos de avaliação do povoamento (Tabela 2) e na maior semelhança espacial com a matéria orgânica (MO) do solo (Figuras 4C e 4D).

As alterações da distribuição espacial da matéria orgânica (MO) foram expressas pela redução da área com concentrações superiores a $30 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ (Figuras 4C e 4D), a qual está relacionada com o aumento da mineralização da MO (AMPONSAH; MEYER, 2000) e a taxa de acúmulo inferior à degradação do carbono, ocasionados pela exposição maior da superfície do solo à radiação solar em povoamentos desbastados (ALMEIDA et al., 2010).

Apesar do decréscimo dos níveis de Ca^{2+} no solo ao nono ano do plantio (Figura 3H), a estrutura espacial do alumínio (Al^{3+}) ficou caracterizada pela redução da área com concentrações superiores a $0,5 \text{ cmol}_c\cdot\text{dm}^{-3}$ (Figuras 4E e 4F), e que, segundo Campolin (2006), está diretamente relacionada com o cálcio dos resíduos culturais e da queda natural das folhas da teca, anualmente depositados na forma de matéria orgânica, os quais foram suficientes para a redução da acidez do solo e imobilização de parte do alumínio trocável no solo na segunda ocasião de avaliação (Figura 4F).

CONCLUSÕES

Há alterações nas características espaciais dos atributos químicos do solo entre as ocasiões de avaliação do povoamento de teca, o que possibilita orientar o manejo do plantio por meio de adubações e correções de acidez do solo em regiões específicas da área florestada, visando ao estabelecimento dos indivíduos pós-plantio e o desenvolvimento daqueles conduzidos pós-desbastes.

REFERÊNCIAS

- ABOD, S. A.; SIDDIQUI, M. T. Growth response of teak (*Tectona grandis* L.f.) seedlings to nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers. **Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science**, Selangor, v. 25, n. 2, p. 107-113, 2002.
- ALMEIDA, E. M.; CAMPELO JÚNIOR, J. H.; FINGER, Z. Determinação do estoque de carbono em teca (*Tectona grandis* L. F.) em diferentes idades. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 4, p. 559-568, 2010.
- AMPONSAH, G. I.; MEYER, W. L. Soil characteristics in teak plantations and natural forests in Ashanti Region, Ghana. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 31, n. 3/4, p. 355-373, 2000.
- ANDRIOTTI, J. L. S. **Fundamentos de estatística e geoestatística**. São Leopoldo: UNISINOS, 2003. 165 p.
- BEHLING, M. **Nutrição, partição de biomassa e crescimento de povoamentos de teca em Tangará da Serra, MT**. 2009. 176 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.
- BORSSOI, J. A.; URIBE-OPAZO, M. A.; GALEA, M. Técnicas de diagnóstico de influência local na análise espacial da produtividade da soja. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 2, p. 376-387, 2011.
- BOTTEGA, E. L.; QUEIROZ, D. M. de; PINTO, F. de A. de C.; MÁRCIO, C.; SOUZA, A. de. Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro. **Revista Ciência Agrônômica**, 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, p. 1501-1511, 1994.
- CAMPELO JÚNIOR, J. H.; PRIANTE FILHO, N.; CASEIRO, F. T. Caracterização macroclimática de Cuiabá. In: ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS SOBRE O MEIO AMBIENTE, 3., 1991, Londrina. **Anais...** Londrina: UEL/NEMA, 1991. p. 542-552.
- CAMPOLIN, W. R. **Características físicas e químicas, estoque de matéria orgânica (total e nas frações granulométricas) do solo sob cerrado e teca**. 2006. 49 p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2006.
- CARVALHO, M. de P. e; MENDONÇA, V. Z. de; PEREIRA, F. C. B. L.; ARF, M. V.; KAPPES, C.; DALCHIAVON, F. C. Produtividade de madeira do eucalipto correlacionada com atributos do solo visando ao mapeamento de zonas específicas de manejo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 10, p. 1797-1803, 2012.
- CHIG, L. A.; COUTO, E. G.; NOVAES FILHO, J. P.; RODRIGUES, L. C. M.; JOHNSON, M. S.; WEBER, O. L. dos S. Distribuição espacial da granulometria, cor e carbono orgânico do solo ao longo de um transecto em microbacias na Amazônia meridional. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 38, n. 4, p. 715-722, 2008.
- COSTA, S.; ZOCHE, J. J. Fertilidade de solos construídos em áreas de mineração de carvão na Região Sul de Santa Catarina. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 33, n. 4, p. 665-674, 2009.

- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. 306 p.
- GOMES, N. M.; SILVA, A. M. da; MELLO, C. R. de; FARIA, M. A. de; OLIVEIRA, P. M. de. Métodos de ajuste e modelos de semivariograma aplicados ao estudo da variabilidade espacial de atributos físico-hídricos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 435-443, 2007.
- MÁRQUEZ, O.; HERNÁNDEZ, R.; TORRES, A.; FRANCO, W. Cambios en las propiedades físico-químicas de los suelos en una cronosecuencia de *Tectona grandis*. **Turrialba**, San José, v. 43, n. 1, p. 37-41, 1993.
- MATRICARDI, W. A. T. **Efeitos dos fatores de solo sobre o desenvolvimento da teca (*Tectona grandis* L. F.) cultivada na grande Cáceres, Mato Grosso**. 1989. 135 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 1989.
- MOLLINEDO GARCIA, M. S. **Relación suelo-planta, factores de sitio y respuesta a la fertilización, en plantaciones jóvenes de teca (*Tectona grandis* L. f.), en la zona Oeste, Cuenca del canal de Panamá**. 2003. 101 p. Dissertação (Mestrado em Agroforestería Tropical) - Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, 2003.
- PARFITT, J. M. B.; TIMM, L. C.; PAULETTO, E. A.; SOUSA, R. O. de; CASTILHOS, D. D.; ÁVILA, C. L. de; RECKZIEGEL, N. L. Spatial variability of the chemical, physical and biological properties in lowland cultivated with irrigated rice. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 819-830, 2009.
- TANAKA, N.; HAMAZAKI, T.; VACHARANGKURA, T. Distribution, growth and site requirements of teak. **Japan Agricultural Research Quarterly**, Tokyo, v. 32, p. 65-77, 1998.
- VIEIRA, S. R. Uso de geoestatística em estudos de variabilidade espacial de propriedades do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Org.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1, p. 1-54.