



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
FACULDADE DE ENGENHARIA FLORESTAL
Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais

**SILVICULTURA DE PRECISÃO APLICADA AO
DESENVOLVIMENTO DE *Tectona grandis* L.f. NA REGIÃO
SUL DO ESTADO DE MATO GROSSO**

ALLAN LIBANIO PELISSARI

CUIABÁ-MT

2012

ALLAN LIBANIO PELISSARI

**SILVICULTURA DE PRECISÃO APLICADA AO
DESENVOLVIMENTO DE *Tectona grandis* L.f. NA REGIÃO
SUL DO ESTADO DE MATO GROSSO**

Orientador: Prof. Dr. Sidney Fernando Caldeira

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Mato Grosso, como parte das exigências do Curso de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais, para obtenção do título de mestre.

CUIABÁ-MT

2012

FICHA CATALOGRÁFICA

P384s Pelissari, Allan Libanio.
Silvicultura de precisão aplicada ao desenvolvimento de *Tectona grandis* L.f. na região Sul do estado de Mato Grosso / Allan Libanio Pelissari. – 2012.
ix, 78 f. : il. color.

Orientador: Prof. Dr. Sidney Fernando Caldeira.
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso, Faculdade de Engenharia Florestal, Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais, 2012.

Inclui bibliografia.

1. *Tectona grandis* (Teca). 2. Teca – Solo – Fertilidade. 3. Teca – Variabilidade espacial. 4. Teca – Geoestatística. 5. Teca – Solo – Atributos químicos. 6. Teca – Mato Grosso. I. Título.

CDU – 630*2(817.2)

Ficha elaborada por: Rosângela Aparecida Vicente Söhn – CRB-1/931

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
FACULDADE DE ENGENHARIA FLORESTAL
Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título: Silvicultura de precisão aplicada ao desenvolvimento de *Tectona grandis* L.f. na região Sul do estado de Mato Grosso

Autor: Allan Libanio Pelissari

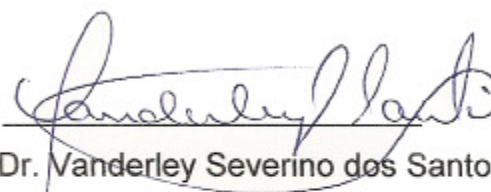
Orientador: Prof. Dr. Sidney Fernando Caldeira

Aprovada em 08 de FEVEREIRO de 2012.

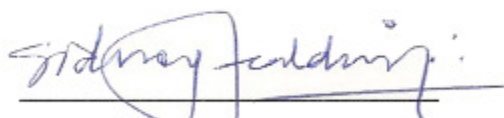
Comissão Examinadora:



Prof. Dr. Ronaldo Drescher
UFMT/FENF



Prof. Dr. Vanderley Severino dos Santos
IFMT/Cuiabá



Prof. Dr. Sidney Fernando Caldeira
Orientador – UFMT/FENF

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Mato Grosso;

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais;

Ao professor Dr. Sidney Fernando Caldeira, pela oportunidade, confiança, orientação e amizade;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pela concessão da bolsa de estudo;

À empresa Teca do Brasil Ltda., em especial ao engenheiro florestal Joilson Onofre Pereira dos Santos, pelo apoio;

Aos professores Dr. Ronaldo Drescher e Dr. Vanderley Severino dos Santos, pela participação na banca examinadora;

Aos amigos engenheiros florestais e mestres Luciano Rodrigo Lanssanova, Rener Ribeiro Fernandes, Marcelo Dias de Souza, Cyro Matheus Cometti Favalessa, Dayane Ávila Fernandes, Fabricia Rodrigues da Silva e aos demais colegas de curso, por dois longos anos de convivência.

SUMÁRIO

RESUMO	viii
ABSTRACT	ix
INTRODUÇÃO GERAL	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	5
CAPÍTULO I	9
CORRELAÇÃO LINEAR E CANÔNICA ENTRE OS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E O DESENVOLVIMENTO DE <i>Tectona grandis</i> L.f. EM POVOAMENTO HOMOGÊNEO.....	9
RESUMO	9
CHAPTER I	10
LINEAR AND CANONICAL CORRELATION BETWEEN THE SOIL CHEMICAL ATTRIBUTES AND DEVELOPMENT OF <i>Tectona grandis</i> L.f. IN THE PURE STAND	10
ABSTRACT.....	10
1. INTRODUÇÃO.....	11
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	14
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
4. CONCLUSÃO	31
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	31
CAPÍTULO II	39
DINÂMICA E CORRELAÇÃO ESPACIAL DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E DO DESENVOLVIMENTO DE <i>Tectona grandis</i> L.f. EM POVOAMENTO HOMOGÊNEO	39
RESUMO	39
CHAPTER II	40
DYNAMICS AND CORRELATION SPATIAL OF THE CHEMICAL ATTRIBUTES SOIL AND DEVELOPMENT OF <i>Tectona grandis</i> L.f. IN PURE STAND.....	40
ABSTRACT.....	40
1. INTRODUÇÃO.....	41
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	43
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
4. CONCLUSÃO	68
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	68
CONSIDERAÇÕES FINAIS	78

LISTA DE TABELAS

1 – MÉDIAS DE DENSIDADE, DIÂMETRO A 1,3 m DO SOLO (DAP), ALTURAS TOTAL (Ht) E DOMINANTE (Hd) E ÁREA BASAL (G), EM FUNÇÃO DA IDADE, PARA <i>Tectona grandis</i> EM NOSSA SENHORA DO LIVRAMENTO - MT.....	19
2 – MÉDIAS DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO, NA PROFUNDIDADE DE 0-20 cm, E DESVIOS PADRÃO, DO POVOAMENTO DE <i>Tectona grandis</i> EM NOSSA SENHORA DO LIVRAMENTO - MT	21
3 – CORRELAÇÃO LINEAR DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO COM O DIÂMETRO A 1,3 m DO SOLO E A ÁREA BASAL, NAS FASES JOVEM E ADULTA DO CRESCIMENTO DE <i>Tectona grandis</i> EM NOSSA SENHORA DO LIVRAMENTO - MT	23
4 – CORRELAÇÃO LINEAR DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO COM AS ALTURAS TOTAL E DOMINANTE, NAS FASES JOVEM E ADULTA DO CRESCIMENTO DE <i>Tectona grandis</i> EM NOSSA SENHORA DO LIVRAMENTO - MT	26
5 – CORRELAÇÃO CANÔNICA DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO COM OS GRUPOS DO DIÂMETRO A 1,3 m DO SOLO, ALTURAS TOTAL E DOMINANTE E ÁREA BASAL, PARA <i>Tectona grandis</i> EM NOSSA SENHORA DO LIVRAMENTO - MT.....	29
6 – PARÂMETROS DOS SEMIVARIOGRAMAS AJUSTADOS PARA OS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO, NA PROFUNDIDADE DE 0-20 cm, PARA <i>Tectona grandis</i> AOS DOIS E AOS NOVE ANOS DE IDADE EM NOSSA SENHORA DO LIVRAMENTO - MT	50
7 – PARÂMETROS DOS SEMIVARIOGRAMAS AJUSTADOS PARA O DIÂMETRO A 1,3 m DO SOLO, ALTURAS TOTAL E DOMINANTE E ÁREA BASAL, PARA <i>Tectona grandis</i> DE DOIS E A NOVE ANOS DE IDADE EM NOSSA SENHORA DO LIVRAMENTO - MT.....	59

LISTA DE FIGURAS

1 – LOCALIZAÇÃO DO POVOAMENTO DE <i>Tectona grandis</i> , NA FAZENDA CAMPINA, EM NOSSA SENHORA DO LIVRAMENTO - MT.	15
2 - CARGAS CRUZADAS CANÔNICAS DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO COM OS GRUPOS DIÂMETRO A 1,3 m DO SOLO (A), ÁREA BASAL (B) E ALTURAS TOTAL (C) E DOMINANTE (D), PARA <i>Tectona grandis</i> EM NOSSA SENHORA DO LIVRAMENTO - MT.....	30
3 – LOCALIZAÇÃO DO POVOAMENTO DE <i>Tectona grandis</i> , NA FAZENDA CAMPINA, EM NOSSA SENHORA DO LIVRAMENTO - MT.	44
4 – SEMIVARIOGRAMA E OS SEUS COMPONENTES.....	47
5 – VALIDAÇÃO CRUZADA E OS SEUS COMPONENTES.....	48
6 – DIREÇÕES DE AJUSTE DOS SEMIVARIOGRAMAS (A) E EXEMPLO DE ANISOTROPIA (B).	49
7 – DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO pH NO SOLO, NA PROFUNDIDADE DE 0-20 cm, PARA <i>Tectona grandis</i> AOS DOIS (A) E AOS NOVE (B) ANOS DE IDADE EM NOSSA SENHORA DO LIVRAMENTO - MT.	53
8 – DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO FÓSFORO (P) NO SOLO, NA PROFUNDIDADE DE 0-20 cm, PARA <i>Tectona grandis</i> AOS DOIS (A) E AOS NOVE (B) ANOS DE IDADE EM NOSSA SENHORA DO LIVRAMENTO - MT.	53
9 – DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO POTÁSSIO (K) NO SOLO, NA PROFUNDIDADE DE 0-20 cm, PARA <i>Tectona grandis</i> AOS DOIS (A) E AOS NOVE (B) ANOS DE IDADE EM NOSSA SENHORA DO LIVRAMENTO - MT.	54
10 – DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO CÁLCIO (Ca) NO SOLO, NA PROFUNDIDADE DE 0-20 cm, PARA <i>Tectona grandis</i> AOS DOIS (A) E AOS NOVE (B) ANOS DE IDADE EM NOSSA SENHORA DO LIVRAMENTO - MT.	55
11 – DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO MAGNÉSIO (Mg) NO SOLO, NA PROFUNDIDADE DE 0-20 cm, PARA <i>Tectona grandis</i> AOS DOIS (A) E AOS NOVE (B) ANOS DE IDADE EM NOSSA SENHORA DO LIVRAMENTO - MT.	55
12 – DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO ALUMÍNIO (Al) NO SOLO, NA PROFUNDIDADE DE 0-20 cm, PARA <i>Tectona grandis</i> AOS DOIS (A) E AOS NOVE (B) ANOS DE IDADE EM NOSSA SENHORA DO LIVRAMENTO - MT.	56

13 – DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA MATÉRIA ORGÂNICA (MO) NO SOLO, NA PROFUNDIDADE DE 0-20 cm, PARA <i>Tectona grandis</i> AOS DOIS (A) E AOS NOVE (B) ANOS DE IDADE EM NOSSA SENHORA DO LIVRAMENTO - MT.....	57
14 – REPRESENTAÇÃO DAS CLASSES DE ALTITUDE DA ÁREA DO POVOAMENTO DE <i>Tectona grandis</i> NO MUNICÍPIO DE NOSSA SENHORA DO LIVRAMENTO – MT.	58
15 – DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO DIÂMETRO A 1,3 m DO SOLO (DAP) PARA <i>Tectona grandis</i> DE DOIS A NOVE ANOS DE IDADE EM NOSSA SENHORA DO LIVRAMENTO - MT.....	62
16 – DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA ALTURA TOTAL (Ht) PARA <i>Tectona grandis</i> DE DOIS A NOVE ANOS DE IDADE EM NOSSA SENHORA DO LIVRAMENTO - MT.	63
17 – DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA ALTURA DOMINANTE (Hd) PARA <i>Tectona grandis</i> DE DOIS A NOVE ANOS DE IDADE EM NOSSA SENHORA DO LIVRAMENTO - MT.....	64
18 – DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA ÁREA BASAL (G) PARA <i>Tectona grandis</i> DE DOIS A NOVE ANOS DE IDADE EM NOSSA SENHORA DO LIVRAMENTO - MT.....	65

RESUMO

PELISSARI, Allan Libanio. **Silvicultura de precisão aplicada ao desenvolvimento de *Tectona grandis* L.f. na região Sul do estado de Mato Grosso**. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá - MT. Orientador: Prof. Dr. Sidney Fernando Caldeira.

O conhecimento das variabilidades espacial e temporal dos fatores que afetam a produção e a produtividade dos povoamentos florestais permite realizar intervenções precisas e obter o máximo rendimento. Assim, o objetivo do trabalho foi aplicar ferramentas estatísticas e da silvicultura de precisão no estudo da relação do desenvolvimento de *Tectona grandis* (teca) com os atributos químicos do solo, em um povoamento homogêneo em Nossa Senhora do Livramento, região Sul do estado de Mato Grosso, Brasil. Foram alocadas 73 parcelas permanentes de 15 m x 30 m e obtidas as variáveis diâmetro a 1,3 m do solo, alturas total e dominante e área basal, do segundo ao décimo ano de idade, e efetuadas coletas de amostras de solo, a 0-20 cm de profundidade, aos dois e nove anos, para a determinação dos atributos pH, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e matéria orgânica. Posteriormente, foram determinadas as correlações e a modelagem espacial. As ferramentas estatísticas de correlação linear e canônica e a geoestatística da silvicultura de precisão possibilitam o estudo dos efeitos dos atributos químicos do solo no desenvolvimento de *Tectona grandis*, em um povoamento homogêneo no município de Nossa Senhora do Livramento, região Sul do estado de Mato Grosso, Brasil.

Palavras-Chave: Teca, fertilidade do solo, variabilidade espacial, geoestatística.

ABSTRACT

PELISSARI, Allan Libanio. **Precision forestry applied to the development of *Tectona grandis* L.f. in south of state of Mato Grosso.** 2012. Dissertation (Master's degree in Forestry and Environmental Sciences) – Federal University of Mato Grosso, Cuiabá - MT. Adviser Prof. Dr. Sidney Fernando Caldeira.

The knowledge of spatial and temporal variability of factors affecting the production and productivity of forest stands allows precise interventions and obtain optimum performance. The objective of this study was to apply statistical and precision forestry tools in the study of the relationship of the development of *Tectona grandis* (teak) with soil chemical attributes in a pure stand in Nossa Senhora do Livramento, in south of state of Mato Grosso, Brazil. Were allocated 73 permanent plots of 15 m x 30 m and obtained the diameter at 1.3 m above the ground, height total and dominant and basal area of teak, in the second year until tenth year of age, and made collections of soil samples, at 0-20 cm depth, at two and nine years, to determine the pH, phosphorus, potassium, calcium, magnesium and organic matter of soil. Subsequently, were determined correlations and spatial modeling. The statistical tools and linear canonical correlation and geostatistics of precision forestry enable the study of the effects of soil chemical attributes in the development of *Tectona grandis*, in a pure stand in Nossa Senhora do Livramento, in south of state of Mato Grosso, Brazil.

Keywords: Teak, soil fertility, spatial variability, geostatistic.

INTRODUÇÃO GERAL

Nos empreendimentos florestais, a busca pela eficiência no planejamento e na gestão florestal envolve práticas de condução dos povoamentos florestais que exigem o conhecimento das características das espécies cultivadas e do local onde se desenvolvem (MARQUES, 2006). No entanto, os métodos tradicionais utilizados para descrever o desenvolvimento das florestas utilizam uma medida de tendência central, geralmente a média, além de uma medida de dispersão, como a variância, sem considerar as relações existentes entre as observações vizinhas. Assim, à medida que cresce a necessidade por informações detalhadas, consolida-se a utilização de ferramentas aplicadas pela silvicultura de precisão.

A silvicultura de precisão representa um modelo de gerenciamento fundamentado na coleta e análise de dados geoespaciais e no conhecimento da variabilidade espacial e temporal da produção e da produtividade das florestas (RIBEIRO, 2002), o que modifica o enfoque dado à silvicultura, pois, enquanto no sistema convencional a abordagem da floresta ocorre de maneira uniforme, na silvicultura de precisão esta mesma área é tratada geograficamente ponto a ponto em frações de unidades diferenciadas (BRANDELERO et al., 2007), possibilitando, desta maneira, intervenções localizadas e a melhoria na eficiência da aplicação de insumos, que, por ventura, reduzem os custos de produção e os impactos ambientais (VETTORAZZI e FERRAZ, 2000).

A silvicultura de precisão conta com o apoio de diversas tecnologias, como os sistemas de informações geográficas, sistemas de posicionamento global e o sensoriamento remoto (BRANDELERO et al., 2007), com destaque à geoestatística, que consiste em uma das principais ferramentas de análise da variabilidade espacial (GUEDES et al., 2008), cujo uso permite avaliar e modelar a estrutura espacial de determinadas variáveis e torna possível a elaboração de mapas que auxiliam na identificação dos fatores que limitam a produtividade dos povoamentos florestais (ORTIZ, 2003).

A teca (*Tectona grandis* L.f. - Lamiaceae) é uma espécie do Sul

e Sudeste do continente asiático, natural da Índia, Mianmar, Tailândia e Laos e introduzida, há centenas de anos, na Indonésia e Sri Lanka. Atualmente, apresenta uma distribuição relativamente ampla, sendo cultivada em diversas regiões da África e das Américas do Sul e Central, ocupando espaço de destaque no mercado entre as principais espécies produtoras de madeira tropical (TANAKA et al., 1998; KRISHNAPILLAY, 2000; PANDEY e BROWN, 2000; BERMEJO, et al. 2004).

As florestas naturais de teca representam uma área relativamente limitada e de baixa participação na produção de madeira (NAIR e SOUVANNAVONG, 2000). Entretanto, somente a partir da proibição da exploração das florestas nativas dos principais fornecedores, como a Índia em 1986 e Laos e Tailândia em 1989, os povoamentos artificiais de teca alcançaram destaque como importante fonte de madeira e com potencial para suprir a demanda mundial (KRISHNAPILLAY, 2000; PANDEY e BROWN, 2000), principalmente nos trópicos, devido ao maior potencial de crescimento e produtividade (VAIDES et al., 2005).

O principal produto desta espécie é a madeira de alta qualidade, muito utilizada em móveis de luxo e na construção naval (FIGUEIREDO et al., 2005). A teca é considerada uma alternativa às espécies de alto valor econômico, como a *Swietenia macrophylla* King e a *Torresea acreana* Ducke, para o suprimento sustentável das indústrias de base florestal (CALDEIRA et al., 2000; DRESCHER, 2004). Além da possibilidade de comercialização de produtos desde os primeiros desbastes (GONZÁLEZ, 2004), também existe o potencial para o mercado de sequestro de carbono (ENTERS, 2000), o que torna a teca um investimento lucrativo aos seus produtores (ÂNGELO et al., 2009).

A área de ocorrência natural da teca restringe-se a regiões com clima de monção (LAMPRECHT, 1990). Entretanto, o seu crescimento varia de acordo com as condições edáficas e climáticas locais, principalmente a precipitação, umidade relativa e temperatura (SINHA et al., 2011). A teca apresenta maior taxa de crescimento em localidades com precipitação anual de 1.250 mm a 3.750 mm, associado a um período de três a cinco meses de seca e livre de geada, temperatura mínima de 13°C a 17°C e máxima de 39°C a 43°C (KAOSA-ARD, 1998;

PANDEY e BROWN, 2000).

Esta espécie se desenvolve em uma grande variedade de solos e formações geológicas (TONINI et al., 2009), porém prefere solos planos ou de declividade média, profundos e de boa drenagem, férteis e com pH ligeiramente ácido à alcalino (VÁSQUEZ e UGALDE, 1995; CENTENO, 1997; KAOSA-ARD, 1998; TANAKA et al., 1998). É exigente em bases trocáveis, especialmente o cálcio (GONZÁLEZ, 2004), e é eficiente na utilização do fósforo (MATA, 1999), porém sensível à presença de elevadas concentrações de alumínio trocável no solo (MOLLINEDO GARCIA, 2003).

As espécies florestais de rápido crescimento exigem um planejamento intensivo, por meio de intervenções silviculturais, para obter alta produtividade e madeira de qualidade (PÉREZ e KANNINEN, 2005). No caso da teca, a aplicação de desbastes é imprescindível para promover maior produtividade e qualidade das árvores (GARCIA, 2006). Visto que é uma espécie exigente por luz (UPADHYAY et al., 2005) e a competição intra-específica, pelo contato entre as copas, diminui a luz lateral individual (CALDEIRA e OLIVEIRA, 2008).

Normalmente, a densidade inicial dos plantios de teca é de 1.000 a 2.000 árvores.ha⁻¹, com o primeiro desbaste entre quatro e cinco anos de idade e remoção de 50% da densidade inicial (PANDEY e BROWN, 2000). Na Costa Rica, densidades entre 1.110 a 1.600 árvores.ha⁻¹, com três a cinco desbastes, são mais produtivos do que os espaçamentos mais amplos e com poucos desbastes (GONZÁLEZ, 2004). Apesar de Garcia (2006) citar que no Brasil, geralmente os povoamentos são implantados com 1.667 árvores.ha⁻¹, espaçamento de 3,0 m x 2,0 m, e desbastes em torno de 5, 10, 15 e 20 anos, o que proporcionam entre 200 a 250 árvores.ha⁻¹ para o corte final, a maioria dos plantios são estabelecidos no espaçamento de 3,0 m x 3,0 m e, atualmente, há a tendência de aumentar os espaçamentos para 3,5 m x 3,0 m ou 4,0 m x 2,5 m, principalmente com o advento da seleção e da clonagem de indivíduos de alto desempenho, associado à disponibilidade de máquinas e implementos que exigem uma maior largura nas entrelinhas de plantio.

A idade de rotação dos plantios de teca em sua área de distribuição natural varia entre 50 a 90 anos (PANDEY e BROWN, 2000), com produtividade de 3 a 10 m³.ha⁻¹.ano⁻¹ (CENTENO, 1997). Enquanto em outras regiões a rotação é mais curta, como no continente africano, com rotação de 35 a 55 anos e produtividade de 5 a 16 m³.ha⁻¹.ano⁻¹ (DUPUY e VERHAEGEN, 1993; DUPUY et al., 1999); e nas Américas do Sul e Central, com expectativa de 20 a 25 anos (BERMEJO et al., 2004; BEZERRA, 2009; GONZÁLEZ, 2010) e produtividade de 10 a 20 m³.ha⁻¹.ano⁻¹ (CENTENO, 1997), com a possibilidade de valores maiores nos melhores sítios (MATA, 1999; DRESCHER, 2004; VAIDES et al., 2005).

O interesse na espécie, como alternativa aos plantios florestais tradicionais no Brasil, vem crescendo muito atualmente (SCHUHLLI e PALUDZYSZYN FILHO, 2010), principalmente no estado de Mato Grosso, onde demonstra alta perspectiva de retorno de investimentos nos plantios intensivos (SHIMIZU et al., 2007). No entanto, apesar de diversos estudos sobre a teca no mundo, estes ainda são escassos nos trópicos e muito reduzidos no Brasil (TONINI et al., 2009), sendo que em 2007 o estado de Mato Grosso já apresentava 48.562 ha plantados com a espécie (SHIMIZU et al., 2007).

O conhecimento das variabilidades espacial e temporal dos fatores que afetam a produção e a produtividade dos povoamentos florestais permite realizar intervenções precisas, para obter o máximo rendimento de acordo com as potencialidades do solo e dos demais fatores ambientais locais (BRANDELERO et al., 2007). Assim, o objetivo geral do presente trabalho foi aplicar ferramentas estatísticas e da silvicultura de precisão no estudo da relação do desenvolvimento de *Tectona grandis* com os atributos químicos do solo, em um povoamento homogêneo no município de Nossa Senhora do Livramento, região Sul do estado de Mato Grosso, Brasil. Tendo como objetivos específicos: 1) identificar, avaliar e analisar as correlações lineares e canônicas dos teores dos principais atributos químicos do solo com as variáveis que caracterizam o desenvolvimento da teca; e 2) aplicar a geoestatística para caracterizar as dinâmicas e as correlações espaciais das variáveis estudadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÂNGELO, H.; SILVA, V. S. de M.; SOUZA, Á. N. de; GATTO, A. C. Aspectos financeiros da produção de teca no Estado de Mato Grosso. **Floresta**, v. 39, n. 1, p. 23-32, 2009.

BERMEJO, I.; CAÑELLAS, I.; SAN MIGUEL, A. Growth and yield models for teak plantations in Costa Rica. **Forest Ecology and Management**, v. 189, p. 97-110, 2004.

BEZERRA, A. F. **Modelagem do crescimento e da produção de povoamentos de *Tectona grandis* submetidos a desbaste**. 2009. 73 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG.

BRANDELERO, C.; ANTUNES, M. U. F.; GIOTTO, E. Silvicultura de precisão: nova tecnologia para o desenvolvimento florestal. **Ambiência**, v. 3, n. 2, p. 269-281, 2007.

CALDEIRA, S. F.; CALDEIRA, SI. A. F.; MENDONÇA, E. A. F. de; DINIZ, N. N. Caracterização e avaliação da qualidade dos frutos de teca (*Tectona grandis* L.f.) produzidos no Mato Grosso. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 22, n. 1, p. 216-224, 2000.

CALDEIRA, S. F.; OLIVEIRA, D. L. C. Desbaste seletivo em povoamentos de *Tectona grandis* com diferentes idades. **Acta Amazonica**, v. 38, n. 2, p. 223-228, 2008.

CENTENO, J. C. El manejo de las plantaciones de teca. **Actualidad Forestal Tropical**, v. 5, n. 2, p. 10-12, 1997.

DRESCHER, R. **Crescimento e produção de *Tectona grandis* Linn. F., em povoamentos jovens de duas regiões do Estado de Mato Grosso**. 2004. 133 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS.

DUPUY, B.; MAÎTRE, H.; KANGA, A. N. Table de production du teck (*Tectona grandis*): L'exemple de la Côte d'Ivoire. **Bois et Forêts des Tropiques**, v. 3, n. 261, p. 5-16, 1999.

DUPUY, B.; VERHAEGEN, D. Le teck de plantation (*Tectona grandis*) en Côte d'Ivoire. **Bois et Forêts des Tropiques**, n. 235, p. 9-24, 1993.

ENTERS, T. Site, technology and productivity of teak plantations in Southeast Asia. **Unasyuva**, v. 51, n. 201, p. 55-61, 2000.

FIGUEIREDO, E. O.; OLIVEIRA, A. D. de; SCOLFORO, J. R. S. Análise econômica de povoamentos não desbastados de *Tectona grandis* L.f., na microrregião do baixo Rio Acre. **Cerne**, v. 11, n. 4, p. 342-353, 2005.

GARCIA, M. L. **Intensidade de desbaste em um povoamento de *Tectona grandis* L.f., no município de Sinop – MT.** 2006. 45 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá – MT.

GONZÁLEZ, S. A. S. **Relación del suelo con el crecimiento inicial y contenido foliar de teca (*Tectona grandis*), y adaptación de leguminosas para control de arvenses bajo un sistema fertirriego en Campeche, México.** 2010. 90 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Ecológica) – Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba – Costa Rica.

GONZÁLEZ, W. F. **Manual para productores de teca (*Tectona grandis* L. f) en Costa Rica.** Heredia: Costa Rica, 2004. 121 p.

GUEDES, L. P. C.; URIBE-OPAZO, M. A.; JOHANN, J. A.; SOUZA, E. G. de. Anisotropia no estudo da variabilidade espacial de algumas variáveis químicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2217-2226, 2008.

KAOSA-ARD, A. Overview of problems in teak plantation establishment. In: REGIONAL SEMINAR ON TEAK, 2., 1998, Yangon. **Proceeding...** Bangkok: FAO, 1998, p. 49-59.

KRISHNAPILLAY, B. Silviculture and management of teak plantations. **Unasyiva**, v. 51, n. 201, p. 14-21, 2000.

LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos trópicos:** ecossistemas florestais e respectivas espécies arbóreas. Rossdorf: TZ-Verl.-Ges., 1990. 343 p.

MARQUES, M. M. G. **Geoestatística aplicada na análise biométrica dos montados de sobreiro e azinheira.** 163 f. 2006. Dissertação (Mestrado em Georrecursos) – Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa – Portugal.

MATA, M. M. **Factores de sitio que influyen en el crecimiento de *Tectona grandis* L. f. y *Bombacopsis quinata* (Jacq.) Dugand, en Costa Rica.** 1999. 77 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidad Austral de Chile, Valdivia – Chile.

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 f. Dissertação (Mestrado em Agroforestería Tropical) – Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba – Costa Rica.

NAIR, C. T. S.; SOUVANNAVONG, O. Emerging research issues in the management of teak. **Unasyiva**, v. 51, n. 201, p. 45-54, 2000.

ORTIZ, J. L. **Emprego do geoprocessamento no estudo da relação entre potencial produtivo de um povoamento de eucalipto e atributos do solo e do relevo**. 220 f. 2003. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo, Piracicaba – São Paulo.

PANDEY, D.; BROWN, C. Teak: a global overview. **Unasyuva**, v. 51, n. 201, p. 3-13, 2000.

PÉREZ, D.; KANNINEN, M. Stand growth scenarios for *Tectona grandis* plantations in Costa Rica. **Forest Ecology and Management**, n. 210, p. 25-441, 2005.

RIBEIRO, C. A. A. S. Floresta de Precisão. In: MACHADO, C. C. **Colheita Florestal**. Viçosa: UFV, 2002. p. 311-335.

SCHUHLI, G. S.; PALUDZYSZYN FILHO, E. O cenário da silvicultura de teca e perspectivas para o melhoramento genético. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 30, n. 63, p. 217-230, 2010.

SHIMIZU, J. Y.; KLEIN, H.; OLIVEIRA, J. R. V. **Diagnóstico das plantações florestais em Mato Grosso**. Cuiabá: Central de Texto, 2007. 63 p.

SINHA, S. K.; DEEPAK, M. S.; RAO, R. V.; BORGAONKAR, H. P. Dendroclimatic analysis of teak (*Tectona grandis* L. f.) annual rings from two locations of peninsular India. **Current Science**, v. 100, n. 1, p. 84-88, 2011.

TANAKA, N.; HAMAZAKI, T.; VACHARANGKURA, T. Distribution, Growth and site requirements of teak. **Japan Agricultural Research Quarterly**, v. 32, p. 65-77, 1998.

TONINI, H.; COSTA, M. C. G. C.; SCHWENGBER, L. A. M. Crescimento da teca (*Tectona grandis*) em reflorestamento na Amazônia Setentrional. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 59, p. 05-14, 2009.

UPADHYAY, A.; EID, T.; SANKHAYAN, P. L. Construction of site index equations for even aged stands of *Tectona grandis* (teak) from permanent plot data in India. **Forest Ecology and Management**, n. 212, p. 14–22, 2005.

VAIDES, E.; UGALDE, L.; GALLOWAY, G. Crecimiento y productividad de teca en plantaciones forestales jóvenes en Guatemala. **Recursos Naturales y Ambiente**, n. 46, p. 137-145, 2005.

VÁSQUEZ, W. C.; UGALDE, L. A. A. **Rendimiento y calidad de sitio para *Gmelina arborea*, *Tectona grandis*, *Bombacopsis quinatum* y *Pinus caribaea* en Guanacaste, Costa Rica**. Turrialba: CATIE, 1995. 40 p. (Serie técnica: Informe técnico, n. 256).

VETTORAZZI, C. A.; FERRAZ, S. F. B. Silvicultura de precisão: uma nova perspectiva para o gerenciamento de atividades florestais. In: BORÉM, A.; GIÚDICE, M. P.; QUEIROZ, D. M. **Agricultura de precisão**. Viçosa: Editora UFV, 2000. p. 65-75.

CAPÍTULO I

CORRELAÇÃO LINEAR E CANÔNICA ENTRE OS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E O DESENVOLVIMENTO DE *Tectona grandis* L.f. EM POVOAMENTO HOMOGÊNEO

RESUMO

O adequado entendimento das relações entre os atributos do solo e o desenvolvimento de espécies florestais de rápido crescimento é essencial à manutenção da produtividade de seus povoamentos que apresentam grande capacidade de extração de nutrientes. Assim, o objetivo do presente trabalho foi correlacionar os teores dos atributos químicos pH, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, alumínio e matéria orgânica do solo com as variáveis diâmetro a 1,3 m do solo, alturas total e dominante e área basal da teca, em plantio homogêneo, no município de Nossa Senhora do Livramento, estado de Mato Grosso, Brasil. Foram alocadas 73 parcelas permanentes de 15 m x 30 m e obtidas as variáveis que caracterizam o desenvolvimento da teca e efetuadas as coletas de amostras de solo, a 0-20 cm de profundidade, para a posterior determinação das correlações lineares e canônicas. O cálcio e o fósforo apresentam a maior e a menor correlação linear, respectivamente, com o diâmetro a 1,3 m do solo, alturas total e dominante e área basal nas fases jovem e adulta do desenvolvimento da teca. Os atributos químicos do solo apresentam elevadas correlações canônicas com o desenvolvimento da teca, sendo a importância de cada atributo nas correlações expressa pela sequência: cálcio > pH > alumínio > potássio > matéria orgânica > magnésio > fósforo.

Palavras-chave: Teca, fertilidade do solo, correlação canônica.

CHAPTER I

LINEAR AND CANONICAL CORRELATION BETWEEN THE SOIL CHEMICAL ATTRIBUTES AND DEVELOPMENT OF *Tectona grandis* L.f. IN THE PURE STAND

ABSTRACT

A proper understanding of the relationships between soil attributes and the development of arboreal species of fast growing is essential to maintaining the productivity of their stands that have great ability to extract nutrients. The objective of this study was to correlate the contents of chemical attributes pH, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, aluminum and organic matter of soil with the diameter at 1.3 m above the ground, height total and dominant and basal area of teak in pure stand in Nossa Senhora do Livramento, state of Mato Grosso, Brazil. Were allocated 73 permanent plots of 15 m x 30 m and obtained the teak variable and soil samples, at 0-20 cm depth, for the determination of linear and canonical correlations. The calcium and phosphorus have the highest and lowest linear correlation, respectively, with the diameter at 1.3 m above the ground, total height and dominant and basal area in juvenile and adult stages of the development of teak. The soil chemical attributes have high canonical correlations with the development of teak, and the importance of each attribute in the relation is express by the following: calcium > pH > aluminum > potassium > organic matter > magnesium > phosphorus.

Keywords: Teak, soil fertility, canonical correlation.

1. INTRODUÇÃO

A teca (*Tectona grandis* L.f. - Lamiaceae) é uma espécie natural do Sul e do Sudeste Asiático e cultivada, atualmente, em diversas regiões da África e das Américas do Sul e Central (PANDEY e BROWN, 2000; BERMEJO et al. 2004). É considerada uma alternativa as espécies de alto valor econômico, como a *Swietenia macrophylla* King e a *Torresea acreana* Ducke, para o suprimento sustentável das indústrias de base florestal (CALDEIRA et al., 2000; DRESCHER, 2004), cujo principal produto é a madeira de alta qualidade, muito utilizada em móveis de luxo e na construção naval (FIGUEIREDO et al., 2005).

Esta espécie apresenta maior taxa de crescimento em localidades com precipitação anual de 1.250 mm a 3.750 mm, associada a um período de três a cinco meses de seca e livre de geada, e temperatura mínima de 13°C a 17°C e máxima de 39°C a 43°C (KAOSA-ARD, 1998; PANDEY e BROWN, 2000). Adapta-se a uma grande variedade de solos, porém tem preferência pelos de textura franco-arenosos a argilosos (CHAVES e FONSECA, 1991; OMBINA, 2008), profundos e de boa drenagem, com terrenos planos, ou pouco declivosos, e férteis (VÁSQUEZ e UGALDE, 1995; CENTENO, 1997; KAOSA-ARD, 1998; TANAKA et al., 1998; MONTERO et al., 2001).

O pH é uma das mais importantes propriedades do solo para a teca (ZECH e DRECHSEL, 1991), estando diretamente ligado à disponibilidade de nutrientes do solo (LIMA et al., 2010). Entretanto, não há consenso entre os seus níveis ideais para o desenvolvimento da teca. Autores como Kaosa-Ard (1998) e Tanaka et al. (1998) afirmaram que a espécie tem preferência por pH ligeiramente ácido à alcalino, de 6,5 a 7,5. Enquanto Ombina (2008) determinou que o intervalo de pH de 6,0 a 8,0 é considerado como o melhor para os povoamentos da teca na Índia e Mianmar. Já Mollinedo Garcia (2003) e González (2010) estabeleceram que a teca não deva ser cultivada em sítios com pH inferior a 5,5, pois o seu crescimento é limitado pela redução na disponibilidade de diversos elementos essenciais no solo.

A teca é eficiente na utilização do fósforo (MATA, 1999), com

alto poder de assimilação (VALLEJOS BARRA, 1996) para o desenvolvimento do seu sistema radicular (BEHLING, 2009). Além deste elemento, a disponibilidade do potássio tende a influenciar o crescimento da espécie (CASTELLANOS, 2006) devido a sua relação com os processos metabólicos das plantas (MORAES et al., 2008). Segundo Mollinedo Garcia (2003), níveis de potássio e fósforo, inferiores a aproximadamente $4,5 \text{ mg.dm}^{-3}$ e $0,5 \text{ mg.dm}^{-3}$, respectivamente, são críticos ao desenvolvimento da teca, sendo necessário incorporá-los ao solo com a aplicação de fertilizantes.

Além disso, é considerada uma espécie altamente exigente em cálcio (TANAKA et al., 1998; GONZÁLEZ, 2004), respondendo significativamente ao acréscimo deste elemento no solo (MATRICARDI, 1989). Em geral, os melhores sítios para a teca estão associados a um conteúdo de cálcio no solo superior a $10 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ nos primeiros horizontes (VÁSQUEZ e UGALDE, 1995; MOLLINEDO GARCIA, 2003). Rodriguez e Paniagua (2003) recomendaram que, antes do cultivo da teca em sítios com solos ácidos ou deficientes em cálcio, é necessária a aplicação de calcário para neutralizar o alumínio trocável, precipitar o ferro e o manganês e incorporar o cálcio ao solo.

O magnésio é parte essencial da clorofila e para a movimentação do fósforo dentro das plantas (MALAVOLTA, 1989) e, aparentemente, as pequenas quantidades de magnésio são suficientes para atender satisfatoriamente as exigências da teca (MATRICARDI, 1989). Os conteúdos de magnésio são condicionados à acidez do solo, ou seja, quanto menor a acidez, maior a concentração de magnésio, segundo Mollinedo Garcia (2003), que ainda estabeleceu que sítios com teores de magnésio inferiores a $5 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ podem limitar o crescimento da teca.

A espécie é sensível à acidez no solo sob a forma de elevadas concentrações de alumínio trocável (MATRICARDI, 1989; MOLLINEDO GARCIA, 2003). Isso pode causar deformidade na divisão celular, diminuição da respiração das raízes, interferência na captação e transporte de nutrientes (OMBINA, 2008) e baixa taxa de sobrevivência das plantas (SILVA et al., 2011). Vaidés López (2004) destacou que a

teca apresenta baixa produtividade em sítios com teores superiores a 1,3 $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$.

A matéria orgânica no solo possui um papel importante para o manejo do solo em plantios de teca, devido ao fornecimento de nutrientes e a manutenção do pH do solo (SUZUKI et al., 2007). A sua presença em teores elevados promove respostas significativas ao crescimento da teca, sendo mais eficiente nas camadas superficiais do solo, onde grande parte do sistema radicular da teca está presente (MATRICARDI, 1989).

Os plantios de espécies florestais de rápido crescimento e de grande capacidade de extração de nutrientes acarretam em impactos significativos nas reservas minerais do solo. Para isso, é essencial o uso de ferramentas estatísticas, como as correlações linear e canônica, para o entendimento da relação entre os atributos químicos do solo e o crescimento da teca, visando o adequado manejo nutricional e a manutenção da produtividade da cultura.

Para Andriotti (2003), a correlação linear refere-se a uma associação numérica entre duas variáveis, não implicando necessariamente uma relação de causa e efeito ou mesmo a existência de uma estrutura com interesses práticos. No entanto, o seu estudo é um passo importante em uma análise.

Alguns trabalhos desenvolvidos em plantios de teca demonstram que o crescimento da espécie apresenta uma correlação linear positiva com o Ca e o pH, como a observada por Mollinedo Garcia (2003) em plantios no Panamá com dois a quatro anos de idade, sendo registrado o coeficiente de 0,710 para o diâmetro a 1,3 m do solo correlacionado com o Ca e de 0,680 para a correlação da altura total com o pH. Além disso, diversos autores observaram correlações lineares da altura dominante com os diferentes atributos químicos do solo, como o valor de 0,660 para o pH (MOLLINEDO GARCIA, 2003); de 0,250 para o P e de 0,130 para o K, em plantios na Costa Rica aos dez anos de idade (VALLEJOS BARRA, 1996); e de 0,340 para o Ca e de 0,405 para o Mg em povoamentos com 4 a 30 anos de idade em Gana (WATANABE et al., 2010).

A análise de correlação canônica é uma técnica estatística

multivariada para a avaliação e o conhecimento das relações existentes entre dois grupos de variáveis, de modo que a correlação seja a máxima. É uma técnica muito utilizada em estudos exploratórios, onde há um conjunto grande de variáveis, mas há o interesse em estudar somente aquelas combinações lineares cuja correlação seja a mais elevada (TRUGILHO et al., 2003).

Alguns trabalhos demonstram a eficácia da análise de correlação canônica em estudos nas ciências florestais, como Aubert e Oliveira-Filho (1994), no estudo da influência de matas vizinhas como fonte de diásporos na regeneração natural de sub-bosques em plantios de eucalipto e *Pinus*; Trugilho et al. (1997) e Trugilho et al. (2003), na identificação da qualidade da madeira de clones de eucalipto, por meio de suas características físicas e químicas; e Cunha et al. (2003) na observação da influência das variáveis irrigação, tempo de recuperação, cobertura e adição de solo na revegetação de áreas degradadas por mineração.

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo identificar, avaliar e analisar as correlações lineares e canônicas dos teores dos principais atributos químicos do solo com as variáveis que caracterizam o desenvolvimento da teca, em um povoamento homogêneo no município de Nossa Senhora do Livramento, estado de Mato Grosso.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido em um povoamento equiâneo e homogêneo de teca, com 309 ha implantados em 1999 no espaçamento 3 m x 3 m, na Fazenda Campina, pertencente à empresa Teca do Brasil Ltda., localizada no município de Nossa Senhora do Livramento, estado de Mato Grosso, a 73 km ao Sudoeste da capital Cuiabá, em uma área circunscrita à coordenada 16°12'19" S e 56°23'00" W tomando-se por base um raio de 3,2 km (Figura 1).

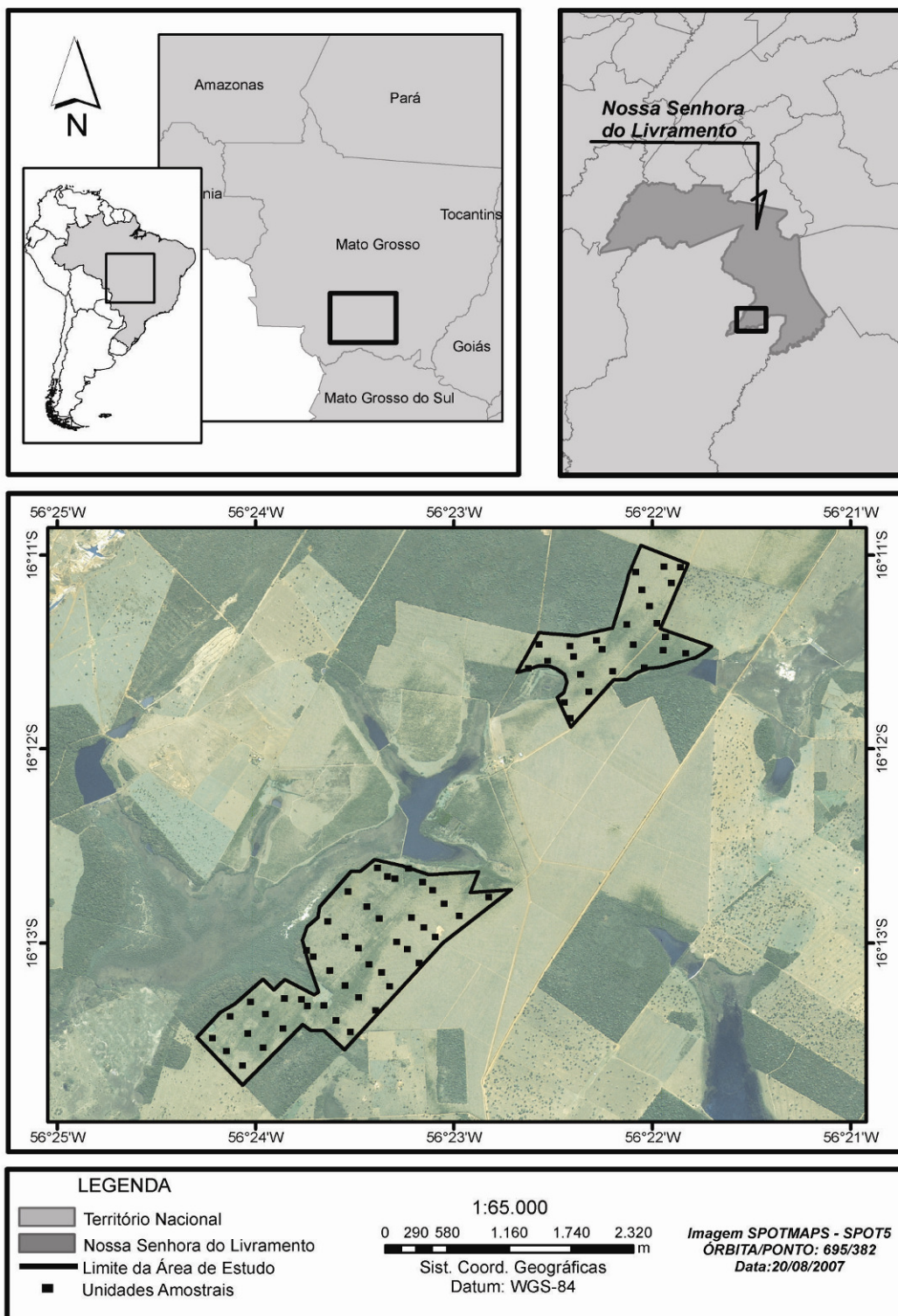


FIGURA 1 – LOCALIZAÇÃO DO POVOAMENTO DE *Tectona grandis*, NA FAZENDA CAMPINA, EM NOSSA SENHORA DO LIVRAMENTO - MT.

O clima da região é do tipo Aw, segundo a classificação de Köppen, com estações seca e chuvosa bem definidas (PEEL et al., 2007),

precipitação média de 1.300 mm.ano⁻¹, temperatura média anual de 25°C, com médias das mínimas de 20°C e das máximas de 32°C, evapotranspiração potencial de 4,1 mm.dia⁻¹ e umidade relativa do ar de 70% a 75% (CAMPELLO JÚNIOR et al., 1991). O relevo característico é o suave ondulado e o solo é classificado como PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico (EMBRAPA, 2006) de textura franco-argilo-arenosa.

Para o plantio, o solo foi descompactado mecanicamente com subsolador, arado e nivelado. Não houve adubação de arranque, porém foram aplicados de 0,8 a 3,7 t.ha⁻¹ de calcário magnesiano, 60 Kg.ha⁻¹ de fosfato e 100 a 150 Kg.ha⁻¹ de cloreto de potássio aos nove anos de idade do povoamento. Houveram ocorrências esporádicas e localizadas de percevejos-da-soja (*Blissus* sp. – Blissinae) durante os dois primeiros anos de plantio, sendo o combate realizado com a pulverização de inseticida na dosagem de 600 g.L⁻¹ de metamidofós. As desramas ocorreram a partir do segundo ano, com a retirada de galhos até $\frac{1}{3}$ da altura total das árvores nessa idade, até a $\frac{1}{2}$ da altura total no terceiro ano e até $\frac{2}{3}$ no quarto ano, e a manutenção da desrama, com a remoção de galhos até 7,0 m de altura nas idades seguintes. Os desbastes, do tipo seletivo, foram executados aos cinco e aos oito anos, com a remoção média de 40% e 33%, respectivamente, do número de árvores por hectare.

Para a coleta de dados, foram alocadas 73 parcelas permanentes de 15 m x 30 m (450 m²), correspondendo a uma densidade inicial de 50 árvores por parcela e a uma intensidade de amostragem de uma parcela a cada quatro hectares, onde foram obtidos os valores médios anuais do diâmetro a 1,3 m do solo (DAP) e da altura total (Ht), correspondentes as variáveis de obtenção direta no campo; além da determinação da altura dominante (Hd), relacionada com a capacidade produtiva de sítios florestais, determinada pelo método de Assmann (1961) que considera a altura dominante como a média da altura das cem árvores de maior DAP em um hectare; e da área basal (G), que expressa a área ocupada pelos fustes das árvores em um hectare do povoamento florestal.

Foram coletadas amostras deformadas de solo no centro de

cada parcela, na profundidade de 0-20 cm, no segundo ano do plantio, para a posterior análise em laboratório e determinação dos atributos químicos: pH (em H₂O), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e matéria orgânica (MO), segundo as metodologias estabelecidas por Embrapa (1997).

De posse dos dados, procedeu-se a padronização destes com média de zero e desvio padrão de um, por meio da subtração de cada valor pela média da correspondente variável e dividindo pelo seu desvio padrão. O que possibilitou eliminar um possível viés estatístico pelas diferentes escalas das variáveis (HAIR JÚNIOR et al., 2005). Em seguida, procedeu-se o cálculo da correlação linear entre os atributos químicos do solo e as variáveis da teca, com a avaliação em duas fases de crescimento: jovem, até o quinto ano; e adulta, a partir do sexto ano. A correlação utilizada foi a de Pearson, expressa por:

$$r = \frac{S_{xy}}{S_x \cdot S_y}$$

Em que: r = coeficiente de correlação de Pearson; S_{xy} = covariância; e S_x e S_y = desvios padrão da variável x e variável y.

O coeficiente de correlação de Pearson (r) mede o grau da relação linear de duas variáveis entre -1 e +1 (ANDRIOTTI, 2003), sendo o valor zero representativo da ausência de correlação linear; até 0,3 indica fraca correlação; de 0,3 a 0,7 a correlação é moderada; e forte correlação para valores acima de 0,7. Os coeficientes obtidos foram submetidos ao teste t, ao nível de 5% de probabilidade, para a constatação da significância, sendo expresso por:

$$t = \frac{r\sqrt{(n-2)}}{\sqrt{(1-r^2)}}$$

Em que: t = valor da estatística t ; r = coeficiente de correlação de Pearson; e n = número de valores observados.

Além disso, foi aplicada a técnica multivariada de correlação canônica (R_c), com o auxílio do pacote estatístico SAS (SAS INSTITUTE, 2008), a qual objetivou explorar as relações gerais entre as múltiplas variáveis dependentes (desenvolvimento da teca) e as independentes (atributos químicos do solo), por meio da maximização da correlação entre estes. O que possibilitou determinar a intensidade das relações que possam existir entre os dois conjuntos de variáveis.

A abordagem da análise de correlação canônica busca gerar combinações lineares (U_r e V_r) de variáveis dependentes (X_p) e independentes (Y_p) e obter a correlação entre U e V . Na prática, mais de um par de combinações lineares podem ser calculados de um conjunto de dados. No entanto, o primeiro par (U_1 e V_2) tem a mais alta correlação possível e é, portanto, o mais importante (MANLY, 2008). Sendo os relacionamentos lineares expressos por:

$$U_1 = a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1p}X_p$$

$$U_2 = a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \dots + a_{2p}X_p$$

...

$$U_r = a_{r1}X_1 + a_{r2}X_2 + \dots + a_{rp}X_p$$

e

$$V_1 = b_{11}Y_1 + b_{12}Y_2 + \dots + b_{1p}Y_p$$

$$V_2 = b_{21}Y_1 + b_{22}Y_2 + \dots + b_{2p}Y_p$$

...

$$V_r = b_{r1}Y_1 + b_{r2}Y_2 + \dots + b_{rp}Y_p$$

Em que: X_p = variável dependente p (desenvolvimento da teca); Y_p = variável independente p (atributos químicos do solo); a_{rp} = coeficiente da variável dependente p ; b_{rp} = coeficiente da variável independente p ; U_r = combinação linear das variáveis dependentes; e V_r = combinação linear das variáveis independentes.

No caso de uma correlação canônica estatisticamente significativa, ao nível de 5% pelo teste F aproximado, procedeu-se a determinação da contribuição de cada atributo químico do solo na correlação canônica com cada variável que caracteriza o desenvolvimento da teca, por meio do método das cargas cruzadas canônicas (HAIR JÚNIOR et al., 2005). Esse procedimento consistiu em medir e avaliar o sinal e a magnitude da correlação linear simples de cada variável do solo (Y_p) com a variável canônica da combinação linear do conjunto das variáveis da teca (U_r) e, assim, quanto maior a correlação maior será a importância dos atributos químicos do solo para determinar a correlação canônica.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 estão presentes os valores médios das variáveis da teca, em função da idade, mensurados em um povoamento homogêneo no município de Nossa Senhora do Livramento - MT.

Na primeira avaliação, aos dois anos, foi observada uma redução na densidade inicial de 1.111 árvores.ha⁻¹ para 1.076 árvores.ha⁻¹, correspondendo a uma taxa de sobrevivência (S%) de 96,8% dos indivíduos. Permanecendo aproximadamente constante até a realização do primeiro desbaste. As reduções na densidade ocorreram aos seis e nove anos, após a aplicação dos desbastes.

A taxa de sobrevivência (S%) foi superior à observada por diversos autores em povoamentos de teca, como: CATIE (1986) em Honduras, com S% de 77%; Macedo et al. (2005) no Noroeste do estado de Minas Gerais, com S% igual a 70,4%; Ribeiro et al. (2006) em Minas Gerais, em diferentes níveis de adubação e com S% entre 63,8% a 90,0%; e Flores et al. (2009) no México, com 86,32%.

De acordo com Macedo et al. (2005), a porcentagem de sobrevivência das espécies florestais pós-plantio no campo fornece informações sobre o potencial de adaptação destas espécies em um determinado local. Assim, a taxa de sobrevivência observada demonstra

uma adequada adaptabilidade da teca às condições edafoclimáticas da região de Nossa Senhora do Livramento - MT.

TABELA 1 – MÉDIAS DE DENSIDADE, DIÂMETRO A 1,3 m DO SOLO (DAP), ALTURAS TOTAL (Ht) E DOMINANTE (Hd) E ÁREA BASAL (G), EM FUNÇÃO DA IDADE, PARA *Tectona grandis* EM NOSSA SENHORA DO LIVRAMENTO - MT.

Idade (anos)	Densidade (árvores.ha ⁻¹)	DAP (cm)	Ht (m)	Hd (m)	G (m ² .ha ⁻¹)
2	1076	5,21	4,50	5,43	2,41
3	1068	9,25	8,19	8,79	7,42
4	1065	12,02	10,56	11,03	12,44
5	1060	13,76	12,03	12,16	16,17
6	665	16,06	13,54	13,97	19,60
7	662	17,92	15,46	16,65	22,80
8	660	18,82	16,96	18,40	24,59
9	474	20,69	17,71	19,01	26,13
10	462	21,82	18,78	20,43	27,65

Em geral, os valores do diâmetro a 1,3 m do solo (DAP) foram superiores aos observados na Ásia, em povoamentos de teca na Indonésia (BAILEY e HARJANTO, 2005) e Índia (SHUKLA, 2009); na África, em Gana (NUNIFU e MURCHISON, 1999) e Tanzânia (BEKKER et al., 2004); na América Central, no Panamá (MONTERO, 1995; MOLLINEDO et al., 2005); e no Brasil, em Mato Grosso (OLIVEIRA, 2003; GARCIA, 2006) e Roraima (TONINI et al., 2009). E foram semelhantes aos observados em diversos plantios da Costa Rica (VALLEJOS BARRA, 1996; KANNINEN et al., 2004).

A altura total (Ht) apresentou valores superiores aos observados em Gana (NUNIFU e MURCHISON, 1999; WATANABE et al., 2009); no Brasil, em Minas Gerais (MACEDO et al., 2005) e Roraima (TONINI et al., 2009); e na Índia (SINGH e ZENG, 2008; SHUKLA, 2009). Foi semelhante aos sítios de média a alta qualidade da Costa do Marfim (DUPUY et al., 1999), Tanzânia (BEKKER et al., 2004), Costa Rica

(BERMEJO et al., 2004), Mato Grosso, Brasil (DRESCHER, 2004) e Panamá (MOLLINEDO et al., 2005).

Enquanto os valores das alturas dominantes (Hd) foram superiores aos obtidos em plantios de teca no Panamá (MOLLINEDO et al., 2005) e México (GONZÁLEZ, 2010) e semelhantes aos observados em sítios de média a alta qualidade da Costa do Marfim (DUPUY et al., 1999), Gana (NUNIFU e MURCHISON, 1999), Costa Rica (BERMEJO et al., 2004), Guatemala (VAIDES et al., 2005) e Mato Grosso, Brasil (DRESCHER, 2004; NOVAES, 2009).

Já os valores da área basal (G) foram superiores aos observados em povoamentos de teca com densidades iniciais de 1.450 árvores.ha⁻¹ na Costa do Marfim (DUPUY et al., 1999), 1.183 árvores.ha⁻¹ na Índia (JHA, 2003) e 1.111 árvores.ha⁻¹ na Malásia (NOOR, 2003). Em geral, foram semelhantes aos observados por Drescher (2004) nos sítios de média qualidade em Santo Antônio de Leverger e Brasnorte, estado de Mato Grosso, em plantios de até 15 anos e no espaçamento 3 m x 2 m. O que corrobora com Pérez e Kanninen (2005), os quais afirmaram que, em geral, a teca apresenta um crescimento superior na América Central e do Sul em relação a outras regiões tropicais.

Na Tabela 2 são apresentados os valores médios, na profundidade de 0-20 cm, dos principais atributos químicos do solo, e os seus respectivos desvios padrão, do povoamento de teca em Nossa Senhora do Livramento - MT.

TABELA 2 – MÉDIAS DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO, NA PROFUNDIDADE DE 0-20 cm, E DESVIOS PADRÃO, DO POVOAMENTO DE *Tectona grandis* EM NOSSA SENHORA DO LIVRAMENTO - MT.

pH	P	K	Ca	Mg	Al	MO
(H ₂ O)	(mg.dm ⁻³)		(cmol _c .dm ⁻³)			(g.dm ⁻³)
5,9	14,2	132,3	4,7	1,7	0,1	24,4
(±0,52)	(±11,40)	(±39,49)	(±1,97)	(±0,73)	(±0,37)	(±6,66)

O pH apresentou valor inferior a faixa de 6,5 a 7,5 considerado

como preferencial ao desenvolvimento da teca (KAOSA-ARD, 1998; TANAKA et al., 1998). No entanto, superior ao limite crítico de 5,5 (MOLLINEDO GARCIA, 2003; GONZÁLEZ, 2010), pois com o pH entre 5,6 e 6,2 a maioria dos nutrientes encontra-se na forma solúvel e passível de serem absorvidos (COSTA e ZOCHE, 2009).

O fósforo (P) e o potássio (K) apresentaram valores superiores aos níveis críticos de $0,5 \text{ mg.dm}^{-3}$ e $4,5 \text{ mg.dm}^{-3}$, respectivamente, estabelecidos para a teca por Mollinedo Garcia (2003). Enquanto o conteúdo de cálcio (Ca) foi inferior a concentração ideal de $10 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ recomenda por Vásquez e Ugalde (1995) e Mollinedo Garcia (2003), mas superior ao limite crítico de $4,0 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ (MATA, 1999). Já a concentração de magnésio (Mg) foi inferior ao recomendado de $5,0 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ (MOLLINEDO GARCIA, 2003).

O alumínio trocável (Al) foi inferior ao valor máximo de $1,3 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ tolerável para o desenvolvimento da teca (VAIDES LÓPEZ, 2004). Enquanto a matéria orgânica (MO) apresentou teor satisfatório para o fornecimento de nutrientes e para a manutenção do valor do pH do solo (SUZUKI et al., 2007).

Na Tabela 3 encontram-se os coeficientes de correlação linear entre os atributos químicos do solo e o diâmetro a 1,3 m do solo e a área basal, para o povoamento de teca em Nossa Senhora do Livramento - MT.

O P apresentou correlações baixas e não significativas para o diâmetro a 1,3 m do solo e para a área basal em ambas as fases de crescimento da teca. Apesar de este elemento ser fundamental para o desenvolvimento do sistema radicular das plantas (ISMAEL et al., 1998), os seus efeitos, principalmente na fase jovem, não se manifestaram no crescimento em diâmetro da teca. De modo geral, Malavolta (1989) afirma que as plantas requerem um suprimento constante de P durante toda a sua vida, porém as quantidades exigidas no início do desenvolvimento são pequenas e aumentam com o tempo, pois a participação do P no desenvolvimento das árvores está relacionada com as fases primárias de consumo de energia para manutenção da vida e duplicação celular, como a respiração, produção de folhas e raízes finas e reprodução.

TABELA 3 – CORRELAÇÃO LINEAR DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO COM O DIÂMETRO A 1,3 m DO SOLO E A ÁREA BASAL, NAS FASES JOVEM E ADULTA DO CRESCIMENTO DE *Tectona grandis* EM NOSSA SENHORA DO LIVRAMENTO - MT.

Idade (anos)	pH (H ₂ O)	P	K	Ca	Mg	Al	MO
Diâmetro a 1,3 m do solo							
2	0,284 *	-0,137 ^{ns}	0,189 ^{ns}	0,463 *	0,347 *	-0,373 *	0,447 *
3	0,385 *	0,012 ^{ns}	0,215 ^{ns}	0,485 *	0,321 *	-0,478 *	0,383 *
4	0,493 *	0,027 ^{ns}	0,345 *	0,570 *	0,419 *	-0,586 *	0,457 *
5	0,566 *	0,145 ^{ns}	0,387 *	0,625 *	0,385 *	-0,615 *	0,434 *
6	0,544 *	0,101 ^{ns}	0,391 *	0,649 *	0,316 *	-0,494 *	0,456 *
7	0,601 *	0,162 ^{ns}	0,468 *	0,721 *	0,288 *	-0,536 *	0,464 *
8	0,616 *	0,184 ^{ns}	0,478 *	0,735 *	0,309 *	-0,542 *	0,475 *
9	0,650 *	0,235 ^{ns}	0,516 *	0,724 *	0,264 *	-0,561 *	0,454 *
10	0,672 *	0,219 ^{ns}	0,616 *	0,775 *	0,405 *	-0,600 *	0,546 *
Área basal							
2	0,253 *	-0,167 ^{ns}	0,158 ^{ns}	0,442 *	0,330 *	-0,343 *	0,459 *
3	0,386 *	-0,037 ^{ns}	0,207 ^{ns}	0,508 *	0,307 *	-0,440 *	0,426 *
4	0,491 *	-0,017 ^{ns}	0,330 *	0,588 *	0,395 *	-0,526 *	0,495 *
5	0,569 *	0,087 ^{ns}	0,382 *	0,655 *	0,371 *	-0,527 *	0,473 *
6	0,522 *	0,094 ^{ns}	0,348 *	0,642 *	0,288 *	-0,457 *	0,459 *
7	0,538 *	0,096 ^{ns}	0,366 *	0,665 *	0,269 *	-0,480 *	0,462 *
8	0,556 *	0,108 ^{ns}	0,394 *	0,688 *	0,297 *	-0,516 *	0,480 *
9	0,495 *	0,093 ^{ns}	0,366 *	0,641 *	0,227 *	-0,426 *	0,434 *
10	0,516 *	0,093 ^{ns}	0,421 *	0,673 *	0,316 *	-0,450 *	0,499 *

* = significativo a 5% de probabilidade pelo teste t; e^{ns} = não significativo.

As correlações do K foram baixas e não significativas aos dois e aos três anos de idade, e moderadas e significativas a partir do quarto ano. A ausência de significância no início da fase jovem pode indicar a existência de reservas adequadas nas árvores. No entanto, no fase adulta, foi constatado um aumento numérico da correlação em função da

idade, alcançando valores de até 0,616 para o diâmetro a 1,3 m do solo ao décimo ano de idade. Isso demonstra que a necessidade deste nutriente pela teca aumenta de forma significativa com o avanço da idade (NWOBOSHI, 1984), pois o K representa um papel essencial na formação dos açúcares e dos amidos, além de proporcionar maior vigor e resistência às doenças e à seca (MALAVOLTA, 1989).

O Ca apresentou correlação significativa, com valores positivos de intensidade moderada a forte, sendo superiores a 0,710 observado por Mollinedo Garcia (2003) em plantios de teca no Panamá com dois a quatro anos de idade. De maneira geral, o Ca forneceu os maiores coeficientes de correlação positivos, os quais se devem ao fato da teca ser uma espécie muito eficiente no acúmulo deste elemento (MÁRQUEZ et al., 1993), além do fuste da espécie compor um depósito predominante deste elemento, onde o armazenamento aumenta com a idade (HASE e FOELSTER, 1983).

As correlações do pH foram positivas, significativas e moderadas para ambas as variáveis da teca. Além de apresentar aumento numérico da correlação nas fases jovem e adulta. Já as correlações do Mg foram significativas, porém fracas a moderadas, com comportamento variável para o diâmetro a 1,3 m do solo e para a área basal. O que demonstra que o crescimento em diâmetro da teca é condicionado a baixas quantidades de Mg, em geral, de $5,0 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ (MOLLINEDO GARCIA, 2003), pois a principal função deste elemento é formar a clorofila, responsável pela pigmentação verde das folhas e essencial para a fotossíntese (MALAVOLTA, 1989).

Enquanto para a MO, as correlações foram positivas, significativas e moderadas, o que demonstra a sua importância para o suprimento das reservas minerais do solo, principalmente de fósforo (CUNHA et al., 1993). No entanto, não foi observado um padrão das correlações nas duas fases de desenvolvimento da teca e para as duas variáveis, demonstrando um comportamento variável em função da idade. Assim como relatado por Cubero e Rojas (1999), os quais verificaram que a fixação de carbono anual no fuste da teca é variável com a idade. Isso pode estar relacionado com o aumento da mineralização da matéria

orgânica, associada ao menor acúmulo, pois, de modo geral, a superfície do solo em povoamentos florestais, após a execução de práticas silviculturais de desbaste e desrama, se encontra mais exposta aos efeitos da radiação solar e da chuva, o que favorece a degradação do carbono (AMPONSAH e MEYER, 2000; ALMEIDA et al., 2010).

As correlações do Al apresentaram comportamento crescente nas duas fases de crescimento para o diâmetro a 1,3 m do solo e somente na fase jovem para a área basal. Os seus valores foram significativos, negativos e de intensidade moderada, com o máximo de -0,600 para o diâmetro a 1,3 m do solo no décimo ano. O que demonstra que a teca é sensível à acidez no solo sob a forma de alumínio trocável (MATRICARDI, 1989; MOLLINEDO GARCIA, 2003).

As maiores correlações foram observadas na fase adulta, principalmente no décimo ano. De modo geral, Galloway et al. (1995) afirmam que o crescimento inicial das árvores é lento e condicionado ao desenvolvimento das folhas, radículas e outros tecidos. Esta fase é seguida por um período de rápido desenvolvimento, ocorrendo o aumento das áreas foliar e radicular, com a crescente demanda de energia necessária para a respiração. Este período corresponde à fase de maior dependência do crescimento das árvores pelos atributos do solo. Assim como observado por Márquez et al. (1993) em plantios de teca na Venezuela, onde as maiores taxas de extração de nutrientes do solo ocorreram entre oito e dez anos de idade. As árvores permanecem neste período de rápido crescimento até a maturidade fisiológica ou até entrarem em concorrência com outras árvores.

Foi constatada a redução das correlações do pH, K, Mg e Al com o diâmetro a 1,3 m do solo ao sexto ano e com a área basal aos seis e nove anos, possivelmente devido a aplicação dos desbastes ao quinto e oitavo ano. Demonstrando que, nestes momentos, a participação dos atributos químicos do solo, para o crescimento em diâmetro, é reduzida momentaneamente. Segundo Galloway et al. (1995), o crescimento em diâmetro corresponde a quinta fase de prioridade da energia produzida pela fotossíntese pois, para Andrade et al. (2007), a retomada do crescimento pode ocorrer somente após as árvores remanescentes

finalizarem a adaptação do sistema radicular e da arquitetura das copas à nova configuração espacial do plantio, que correspondem as prioridades primárias ao consumo de energia no desenvolvimento das árvores.

Na Tabela 4 são apresentados os coeficientes de correlação linear entre os atributos químicos do solo e as alturas total e dominante, para o povoamento de teca em Nossa Senhora do Livramento - MT.

TABELA 4 – CORRELAÇÃO LINEAR DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO COM AS ALTURAS TOTAL E DOMINANTE, NAS FASES JOVEM E ADULTA DO CRESCIMENTO DE *Tectona grandis* EM NOSSA SENHORA DO LIVRAMENTO - MT.

Idade (anos)	pH (H ₂ O)	P	K	Ca	Mg	Al	MO
Altura total							
2	0,138 ^{ns}	-0,215 ^{ns}	0,070 ^{ns}	0,321 *	0,265 *	-0,270 *	0,331 *
3	0,395 *	0,001 ^{ns}	0,165 ^{ns}	0,512 *	0,289 *	-0,441 *	0,373 *
4	0,372 *	0,053 ^{ns}	0,212 ^{ns}	0,472 *	0,237 *	-0,408 *	0,326 *
5	0,467 *	0,028 ^{ns}	0,275 *	0,500 *	0,245 *	-0,522 *	0,306 *
6	0,397 *	-0,015 ^{ns}	0,253 *	0,483 *	0,275 *	-0,362 *	0,358 *
7	0,592 *	0,160 ^{ns}	0,445 *	0,695 *	0,267 *	-0,521 *	0,440 *
8	0,616 *	0,175 ^{ns}	0,477 *	0,732 *	0,318 *	-0,542 *	0,484 *
9	0,665 *	0,236 ^{ns}	0,527 *	0,742 *	0,288 *	-0,585 *	0,481 *
10	0,690 *	0,211 ^{ns}	0,613 *	0,792 *	0,434 *	-0,639 *	0,571 *
Altura dominante							
2	0,136 ^{ns}	-0,071 ^{ns}	0,094 ^{ns}	0,304 *	0,260 *	-0,253 *	0,311 *
3	0,432 *	0,079 ^{ns}	0,212 ^{ns}	0,535 *	0,286 *	-0,379 *	0,349 *
4	0,352 *	0,015 ^{ns}	0,297 *	0,484 *	0,214 *	-0,416 *	0,337 *
5	0,472 *	0,097 ^{ns}	0,314 *	0,485 *	0,252 *	-0,466 *	0,280 *
6	0,463 *	0,065 ^{ns}	0,352 *	0,487 *	0,335 *	-0,421 *	0,307 *
7	0,548 *	0,241 ^{ns}	0,494 *	0,617 *	0,172 *	-0,439 *	0,291 *
8	0,517 *	0,217 ^{ns}	0,453 *	0,628 *	0,197 *	-0,389 *	0,350 *
9	0,490 *	0,183 ^{ns}	0,468 *	0,573 *	0,179 *	-0,420 *	0,315 *
10	0,504 *	0,182 ^{ns}	0,499 *	0,592 *	0,235 *	-0,414 *	0,336 *

* = significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t; e^{ns} = não significativo.

A correlação do P foi fraca e não significativa nas duas fases de crescimento para as alturas total e dominante, com valores inferiores a 0,250 observado por Vallejos Barra (1996) em plantios de teca com dez anos de idade na Costa Rica. De modo geral, as espécies florestais de rápido crescimento apresentam maior taxa de absorção e retenção de P na fase jovem (BALBINOT et al., 2010), utilizado para o crescimento das raízes (MALAVOLTA, 1989) e que não reflete, inicialmente, na relação com o crescimento em altura.

Já a correlação do K foi fraca e não significativa até o quarto ano para a altura total e até o terceiro ano para a altura dominante, com tendência de elevação numérica dos valores, principalmente na fase jovem. Para a altura total, o K apresentou correlação moderada e positiva, semelhante ao observado por Castellanos (2006) em plantios de teca na Guatemala com idades entre cinco e sete anos. O que indica que a disponibilidade deste elemento pode influenciar o crescimento em altura da espécie. Enquanto para a altura dominante, na fase adulta, os coeficientes de correlação foram moderados e significativos, com comportamento variável em função da idade. O maior valor de 0,499 foi obtido no décimo ano, sendo superior a -0,210 observado por Vallejos Barra (1996) em plantios com dez anos de idade, e superior a 0,130 obtido por Watanabe et al. (2010) em povoamentos com 4 a 30 anos.

Os coeficientes de correlação do Ca foram positivos e significativos, com tendência de aumento em função da idade, principalmente na fase jovem. O Ca apresentou os maiores valores entre os atributos químicos avaliados, sendo superiores a 0,680 observado por Mollinedo Garcia (2003) para a altura total em plantios de teca no Panamá com dois a quatro anos de idade, e por Watanabe et al. (2010), com 0,340 para altura dominante em povoamentos em Gana com 4 a 30 anos.

O pH apresentou flutuação nos valores das correlações com a altura total durante a fase jovem. Já na fase adulta, a correlação mostrou-se crescente. Em geral, os resultados foram inferiores ao observado por Drechsel et al. (1990), com 0,897 em povoamentos jovens de teca na África. Enquanto para a altura dominante, o pH apresentou correlações

moderadas, exceto no segundo ano, com valor máximo de 0,548, sendo inferior a 0,660 observado por Mollinedo Garcia (2003) em plantios de teca com dois a quatro anos de idade.

As correlações do Mg foram fracas a moderadas, porém significativas e com comportamento variável em função da idade. No entanto, inferiores a 0,405 observado por Watanabe et al. (2010) em plantios com 4 a 30 anos. Já a MO apresentou correlações significativas e positivas, com valores moderados, e uma tendência variável em função da idade, o que, para Barreto et al. (2006), demonstra a sua importância na manutenção da fertilidade do solo, no aumento da capacidade de troca de cátions e na melhoria nas características químicas, físicas e biológicas.

O Al apresentou correlações negativas e significativas, porém moderadas, com comportamento crescente nas fases jovem e adulta para a altura total e somente na fase jovem para a altura dominante. Os valores negativos, em todas as idades, ocorrem devido ao crescimento da teca em altura ser afetada pelos níveis de acidez do solo (ALVARADO e FALLAS, 2004), pois o Al trocável, em concentrações tóxicas no solo, exerce efeitos nocivos no crescimento dos vegetais, interferindo no processo metabólico de divisão celular e imobilizando o fósforo nas plantas (COELHO e VERLENGIA, 1973).

Os atributos pH, P, K, Ca e Al apresentaram redução da correlação com a altura total no sexto ano, após a aplicação do segundo desbaste no povoamento, pois os nutrientes disponíveis no solo foram utilizados para a expansão do sistema radicular e da área foliar das árvores, como estratégia de adaptação e melhor aproveitamento do meio. Já para a altura dominante, o desbaste no quinto ano não acarretou significativas reduções nas correlações obtidas. Apenas com pequenos decréscimos no sexto ano para o pH, P e Al. O que se deve ao fato de que a altura dominante é pouco influenciada por tratamentos silviculturais, como os desbastes, segundo Tonini et al. (2002).

Na Tabela 5 são apresentadas as medidas de ajuste das correlações canônicas entre os grupos dos atributos químicos do solo e das variáveis da teca em Nossa Senhora do Livramento - MT. Foram constatadas elevadas correlações canônicas significativas, o que indica a

existência de uma alta influência dos atributos químicos do solo sobre o desenvolvimento da teca.

TABELA 5 – CORRELAÇÃO CANÔNICA DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO COM OS GRUPOS DO DIÂMETRO A 1,3 m DO SOLO, ALTURAS TOTAL E DOMINANTE E ÁREA BASAL, PARA *Tectona grandis* EM NOSSA SENHORA DO LIVRAMENTO - MT.

Grupo	Atributos químicos do solo (pH, P, K, Ca, Mg, Al e MO)	F aproximado
Diâmetro a 1,3 m do solo	0,850	1,71 *
Altura total	0,880	1,99 *
Altura dominante	0,832	1,57 *
Área basal	0,851	1,82 *

* = significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F aproximado.

Para determinar a participação individual de cada atributo do solo na correlação canônica, procedeu-se a análise das cargas cruzadas canônicas (Figura 2).

Em geral, a importância de cada atributo químico do solo, na correlação canônica com o desenvolvimento da teca, pode ser expressa pela sequência: Ca > pH > Al > K > MO > Mg > P.

Para as faixas de concentração dos atributos do solo observadas na área de estudo, a elevada participação do conteúdo de Ca se deve ao caráter calcícola da teca, sendo altamente exigente neste elemento (MATRICARDI, 1989; MÁRQUEZ et al., 1993; TANAKA et al., 1998; GONZÁLEZ, 2004). Já a participação moderada do pH para a área basal e para a altura dominante e a elevada correlação canônica para o diâmetro a 1,3 m do solo e para a altura total evidencia a sua importância para a manutenção dos cátions trocáveis em área sob plantio de teca.

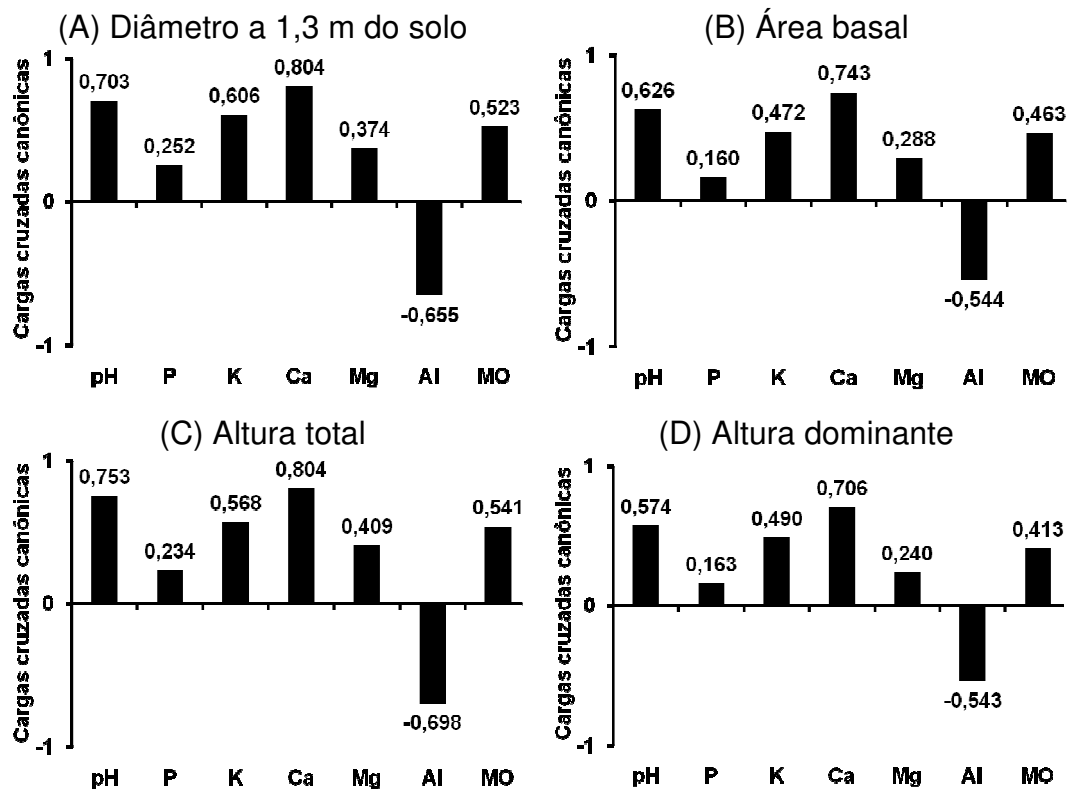


FIGURA 2 - CARGAS CRUZADAS CANÔNICAS DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO COM OS GRUPOS DIÂMETRO A 1,3 m DO SOLO (A), ÁREA BASAL (B) E ALTURAS TOTAL (C) E DOMINANTE (D), PARA *Tectona grandis* EM NOSSA SENHORA DO LIVRAMENTO - MT.

A participação positiva e moderada da MO pode estar relacionada com a sua influência na minimização dos efeitos da acidez do solo e na manutenção da sua fertilidade (CAMPOLIN, 2006). À medida que a importância baixa a moderada do Mg demonstra que pequenas quantidades são suficientes para atender as exigências da espécie (MATRICARDI, 1989). Já a baixa participação do P deve-se ao fato das espécies pioneiras serem, em geral, mais eficientes na absorção deste elemento (SANTOS et al., 2008), o qual não desempenha um fator limitante para o desenvolvimento da teca (NWOBOSHI, 1984; CASTELLANOS, 2006; BEHLING, 2009).

As menores cargas cruzadas canônicas foram obtidas para a altura dominante e para a área basal. O que indica a possibilidade de que haja outros fatores do meio que afetam o desenvolvimento da teca em altura dominante, visto que esta variável é obtida a partir de um grupo

menor de árvores, correspondendo aos cem indivíduos de maior diâmetro a 1,3 m do solo em um hectare. Enquanto para a área basal, as menores cargas cruzadas canônicas podem estar relacionadas com os desbastes, pois a sua medida é determinada da combinação das variáveis diâmetro a 1,3 m do solo mais a densidade do plantio, os quais sofreram influencia dos desbastes.

4. CONCLUSÃO

O cálcio e o fósforo apresentam a maior e a menor correlação linear, respectivamente, com o diâmetro a 1,3 m do solo, alturas total e dominante e área basal nas fases jovem e adulta do desenvolvimento da teca.

Os desbastes reduzem momentaneamente as correlações dos atributos químicos do solo com o diâmetro a 1,3 m do solo, altura total e área basal da teca.

Os atributos químicos do solo apresentam elevadas correlações canônicas com o desenvolvimento da teca, sendo a importância de cada atributo nas correlações expressa pela sequência: Ca > pH > Al > K > MO > Mg > P.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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**, v. 20, n. 4, p. 559-568, 2010.

ALVARADO, A.; FALLAS, J. L. La saturación de acidez y el encalado sobre el crecimiento de la teca (*Tectona grandis* L.f.) en suelos ácidos de Costa Rica. **Agronomía Costarricense**, v. 28, n. 1, p. 81-87, 2004.

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**, v. 31, n. 3-4, p. 355-373, 2000.

ANDRADE, C. M.; FINGER, C. A. G.; THOMAS, C.; SCHNEIDER, P. R. Variação do incremento anual ao longo do fuste de *Pinus taeda* L. em diferentes idades e densidades populacionais. **Ciência Florestal**, v. 17, n. 3, p. 239-246, 2007.

ANDRIOTTI, J. L. S. **Fundamentos de Estatística e Geoestatística**. São

Leopoldo: UNISINOS, 2003. 165 p.

ASSMANN, E. **The principles of forest yield study**. New York: Pergamon Press, 1961. 506 p.

AUBERT, E.; OLIVEIRA-FILHO, A. T. de. Análise multivariada da estrutura fitossociológica do sub-bosque de plantios experimentais de *Eucalyptus* spp. e *Pinus* spp. em Lavras (MG). **Revista Árvore**, v. 18, n. 3, p. 194-214, 1994.

BAILEY, J. D.; HARJANTO, N. A. Teak (*Tectona grandis* L.) tree growth, stem quality and health in coppiced plantations in Java, Indonesia. **New Forests**, v. 30, p. 55-65, 2005.

BALBINOT, E.; CARNEIRO, J. G. de A.; BAROSO, D. G.; MARTINHO, H.; PAES, F. Crescimento inicial de *Eucalyptus tereticornis* em plantios puro e consorciado com *Mimosa caesalpiniiifolia* e *Mimosa pilulifera*, em Campos dos Goytacazes-RJ. **Revista Árvore**, v. 34, n. 1, p. 1-11, 2010.

BARRETO, A. C.; LIMA, F. H. S.; FREIRE, M. B. G. dos S.; FREIRE, F. J. Características químicas e físicas de um solo sob floresta, sistema agroflorestral e pastagem no Sul da Bahia. **Revista Caatinga**, v. 19, n. 4, p. 415-425, 2006.

BEHLING, M. **Nutrição, partição de biomassa e crescimento de povoamentos de teca em Tangará da Serra-MT**. 2009. 176 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG.

BEKKER, C.; RANCE, W.; MONTEUUIS, O. Teak in Tanzania: II. The Kilombero Valley Teak Company. **Bois et Forêts des Tropiques**, v. 1, n. 279, p. 11-21, 2004.

BERMEJO, I.; CAÑELLAS, I.; SAN MIGUEL, A. Growth and yield models for teak plantations in Costa Rica. **Forest Ecology and Management**, v. 189, p. 97-110, 2004.

CALDEIRA, S. F.; CALDEIRA, S. A. F.; MENDONÇA, E. A. F. de; DINIZ, N. N. Caracterização e avaliação da qualidade dos frutos de teca (*Tectona grandis* L.f.) produzidos no Mato Grosso. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 22, n. 1, p. 216-224, 2000.

CAMPELLO 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 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá – MT.

CASTELLANOS, A. F. R. **Efecto del establecimiento de plantaciones forestales de Teca (*Tectona grandis* L.f.) en áreas de potrero sobre las características del suelo en Petén, Guatemala.** 2006. 105 f. Dissertação (Mestrado em Agroforesteria Tropical) – Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba – Costa Rica.

CATIE - Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. **Silvicultura de especie promisorias para producción de leña en América Central:** resultados de cinco años de investigación. Turrialba: CATIE, 1986. 228 p.

CENTENO, J. C. El manejo de las plantaciones de teca. **Actualidad Forestal Tropical**, v. 5, n. 2, p. 10-12, 1997.

CHAVES, E.; FONSECA, W. **Teca (*Tectona grandis* L.f.) árbol de uso múltiple em América Central.** Turrialba: CATIE, 1991. 47 p. (Serie técnica: Informe técnico, 179).

COELHO, E; VERLENGIA, F. **Fertilidade do solo.** 2. ed. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1973. 384 p.

COSTA, S.; ZOCHE, J. J. Fertilidade de solos construídos em áreas de mineração de carvão na Região Sul de Santa Catarina. **Revista Árvore**, v. 33, n. 4, p. 665-674, 2009.

CUBERO, J.; ROJAS, S. **Fijación de carbono en plantaciones de melina (*Gmelina arborea* Roxb.), teca (*Tectona grandis* L.f.) y pochote (*Bombacopsis quinata* Jacq.) en los cantones de Hojancha y Nicoya, Guanacaste, Costa Rica.** Heredia: Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar. Escuela de Ciencias Ambientales. Universidad Nacional, 1999. 95 p.

CUNHA, G. C. da; GRENDENE, L. A.; DURLO, M. A.; BRESSAN, D. A. Dinâmica nutricional em floresta estacional decidual com ênfase aos minerais provenientes da deposição da serapilheira. **Ciência Florestal**, v. 3, n. 1, p. 35-64, 1993.

CUNHA, L. O.; FONTES, M. A. L.; OLIVEIRA, A. D. de; OLIVEIRA-FILHO, A. T. de. Análise multivariada da vegetação como ferramenta para avaliar a reabilitação de dunas litorâneas mineradas em Mataraca, Paraíba, Brasil. **Revista Árvore**, v. 27, n. 4, p. 503-515, 2003.

DRECHSEL, P.; SCHMALL, S.; ZECH, W. Relationships between growth, mineral nutrition, and soils in young teak plantations in Benin and Liberia. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 54, n. 1, p. 651-656, 1990.

DRESCHER, R. **Crescimento e produção de *Tectona grandis* Linn. F., em povoamentos jovens de duas regiões do Estado de Mato Grosso.** 2004. 133 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS.

DUPUY, B.; MAÎTRE, H.; KANGA, A. N. Table de production du teck (*Tectona grandis*): L'exemple de la Côte d'Ivoire. **Bois et Forêts des**

Tropiques, v. 3, n. 261, p. 5-16, 1999.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: 2006. 306 p.

FIGUEIREDO, E. O.; OLIVEIRA, A. D. de; SCOLFORO, J. R. S. Análise econômica de povoamentos não desbastados de *Tectona grandis* L.f., na microrregião do baixo Rio Acre. **Cerne**, v. 11, n. 4, p. 342-353, 2005.

FLORES, H. J. M.; ÁVALOS, V. M. C.; SÁNCHEZ, J. J. G.; CHE, M. B. Evaluación de una plantación de tres especies tropicales de rápido crecimiento en Nuevo Urecho, Michoacán. **Revista Ciencia Forestal en México**, v. 34, n. 106, p. 61-87, 2009.

GALLOWAY, G.; UGALDE, L.; VÁSQUEZ, W. Management of tropical plantations unde stress. In: IUFRO WORLD CONGRESS, 10., 1995, Tempere. **Congress Report**, v. 2, 1995, Tempere, Finland. 1995. p. 351-352

GARCIA, M. L. **Intensidade de desbaste em um povoamento de *Tectona grandis* L.f., no município de Sinop – MT**. 2006. 45 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá – MT.

GONZÁLEZ, S. A. S. **Relación del suelo con el crecimiento inicial y contenido foliar de teca (*Tectona grandis*), y adaptación de leguminosas para control de arvenses bajo un sistema fertirriego en Campeche, México**. 2010. 90 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Ecológica) – Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba – Costa Rica.

GONZÁLEZ, W. F. **Manual para productores de teca (*Tectona grandis* L. f) en Costa Rica**. Heredia: Costa Rica, 2004. 121 p.

HAIR JÚNIOR, J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. **Análise multivariada de dados**. 5 ed. Porto Alegre: Bookman, 2005. 597 p.

HASE, H.; FOELSTER, H. Impact of plantation forestry with teak (*Tectona grandis*) on the nutrient status of young alluvial soils in West Venezuela. **Forest Ecology and Management**, v. 6, n. 1, p. 33-57, 1983.

ISMAEL, J. J.; VALERI, S. V; CORRADINI, L.; ALVARENGA, S. F.; VALLE, C. F. do; FERREIRA, M. E.; BANZATTO, D. A. Níveis críticos de fósforo no solo e nas folhas para a implantação de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, em quatro tipos de solos. **Scientia Forestalis**, n. 54, p. 29-40, 1998.

JHA, K. K. Temporal pattern of dry matter and nutrient dynamics in young teak plantations. In: WORLD FORESTRY CONGRESS, 12., 2003, Quebec. **Anais...** Quebec, 2003, 6 p.

KANNINEN, M.; PÉREZ, D.; MONTEROB, M.; VÍQUEZ, E. Intensity and timing of the first thinning of *Tectona grandis* plantations in Costa Rica: results of a thinning trial. **Forest Ecology and Management**, n. 203, 89-99, 2004.

KAOSA-ARD, A. Overview of problems in teak plantation establishment. In: REGIONAL SEMINAR ON TEAK, 2., 1998, Yangon. **Proceeding...** Bangkok: FAO, 1998, p. 49-59.

LIMA, C. G. da R.; CARVALHO, M. de P. e; NARIMATSU, K. C. P.; SILVA, M. G. da; QUEIROZ, H. A. de. Atributos físico-químicos de um Latossolo do cerrado brasileiro e sua relação com características dendrométricas do eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 163-173, 2010.

MACEDO, R. L. G.; GOMES, J. E.; VENTURIN, N.; SALGADO, B. G. Desenvolvimento inicial de *Tectona grandis* L.f. (teca) em diferentes espaçamentos no município de Paracatu, MG. **Cerne**, v. 11, n. 1, p.61-69, 2005.

MALAVOLTA, E. **ABC da adubação**. 5. ed. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1989. 292 p.

MANLY, B. J. F. **Métodos estatísticos multivariados**: Uma introdução. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2008. 229 p.

MÁRQUEZ, O.; HERNÁNDEZ, R.; TORRES, A.; FRANCO, W. Cambios en las propiedades físico-químicas de los suelos en una cronosecuencia de *Tectona grandis*. **Turrialba**, v. 43, n. 1, p. 37-41, 1993.

MATA, M. M. **Factores de sitio que influyen en el crecimiento de *Tectona grandis* L. f. y *Bombacopsis quinata* (Jacq.) Dugand, en Costa Rica**. 1999. 77 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidad Austral de Chile, Valdivia – Chile.

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 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade de São Paulo, Piracicaba – SP.

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 f. Dissertação (Mestrado em Agroforestería Tropical) – Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba – Costa Rica.

MOLLINEDO, M.; UGALDE, L.; ALVARADO, A.; VERJANS, J. M.; RUDY,

L. C. Relación suelo-árbol y factores de sitio, en plantaciones jóvenes de teca (*Tectona grandis*), en la Zona Oeste de la Cuenca del Canal de Panamá. **Agronomía Costarricense**, v. 29, n. 1, p. 67-75, 2005.

MONTERO, M. Dinámica de crecimiento de teca (*Tectona grandis*) bajo fertilización en El Limón de Chupampa, Herrera, Panamá. In. SEMINARIO TÉCNICO SOBRE FERTILIZACIÓN FORESTAL, 1., 1995, Santiago. **Anais...** Veraguas: CATIE/ INRENARE, 1995, p. 17-29.

MONTERO, M. M.; UGALDE, L.; KANNINEN, M. Relación del índice de sitio con los factores que influyen en el crecimiento de *Tectona grandis* L. F. y *Bombacopsis quinata* (Jacq.) Dugand, en Costa Rica. **Revista Forestal Centroamericana**, n. 35, p. 13-18, 2001.

MORAES, L. F. D. de; CAMPELLO, E. F. de C.; PEREIRA, M. G.; LOSS, A. Características do solo na restauração de áreas degradadas na Reserva Biológica de Poço das Antas, RJ. **Ciência Florestal**, v. 18, n. 2, p. 193-206, 2008.

NOOR, H. M. Growth of teak (*Tectona grandis*) on lateritic soil at Mata Ayer Forest Reserve, Perlis. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 15, n. 1, p. 190-198, 2003.

NOVAES, D. M. **Modelagem de crescimento e produção de povoamentos de *Tectona grandis* L.f. a partir de análise de tronco.** 2009. 52 f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG.

NUNIFU, T. K.; MURCHISON, H. G. Provisional yield models of Teak (*Tectona grandis* Linn F.) plantations in northern Ghana. **Forest Ecology and Management**, n. 120, 171-178, 1999.

NWOBOSHI, L. C. Growth and nutrient requirements in a teak plantation age series in Nigeria. II. Nutrient accumulation and minimum annual requirements. **Forest Science**, v. 30, n. 1, p. 35-40, 1984.

OLIVEIRA, J. R. V. de. **Sistema para cálculo de balanço nutricional e recomendação de calagem e adubação de povoamentos de teca – Nutriteca.** 2003. 89 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG.

OMBINA, C. A. **Soil characterization for teak (*Tectona grandis*) plantations in Nzara District of South Sudan.** 2008. 135 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Université des Sciences et Techniques de Masuku – Gabão.

PANDEY, D.; BROWN, C. Teak: a global overview. **Unasyuva**, v. 51, n. 201, p. 3-13, 2000.

PEEL, M.C.; FINLAYSON, B.L.; MCMAHON, T.A. Updated world map of the Köppen–Geiger climate classification. **Hydrology Earth System Sciences**, v.11, p.1633–1644, 2007.

PÉREZ, D.; KANNINEN, M. Stand growth scenarios for *Tectona grandis* plantations in Costa Rica. **Forest Ecology and Management**, n. 210, p. 25-441, 2005.

RIBEIRO, F. A.; MACEDO, R. L. G.; VENTURIM, N.; MORAIS, V. de M.; GOMES, J. E.; YOSHITAMI JUNIOR, M. Feitos da adubação de plantio sobre o estabelecimento de mudas de *Tectona grandis* L.f. (teca). **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, v. 4, n. 7, p. 01-13, 2006.

RODRIGUEZ, A.; PANIAGUA, A. La **Reforestación con *Tectona grandis* (teca): necesidades nutricionales en los suelos de la región Huetar Norte de Costa Rica**. Heredia: INISEFOR, 2003. 5 p.

SANTOS, J. Z. L.; RESENDE, Á. V. de; FURTINI NETO, A. E.; CORTE, E. F. Crescimento, acúmulo de fósforo e frações fosfatadas em mudas de sete espécies arbóreas nativas. **Revista Árvore**, v. 32, n. 5, p. 799-807, 2008.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT® 9.2 User's Guide**. Cary: SAS Institute Inc. 2008. 64 p.

SHUKLA, P. K. Nutrient dynamics of Teak plantations and their impact on soil productivity - A case study from India. In: WORLD FORESTRY CONGRESS, 13., 2009, Buenos Aires. **Anais...** Buenos Aires, 2009, 11 p.

SILVA, A. M. da; MORAES, M. L. T. de; 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.

SINGH, A. N.; ZENG, D. H. Effects of indigenous woody plantations on total nutrients of mine spoil in Singrauli Coalfield, India. **Journal of Forestry Research**, v. 19, n. 3, p. 199-203, 2008.

SUZUKI, R.; TAKEDA, S.; THEIN, H. M. Chronosequence changes in soil properties of teak (*Tectona grandis*) plantations in the Bago Mountains, Myanmar. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 19, n. 4, p. 207–217, 2007.

TANAKA, N.; HAMAZAKI, T.; VACHARANGKURA, T. Distribution, Growth and site requirements of teak. **Japan Agricultural Research Quarterly**, v. 32, p. 65-77, 1998.

TONINI, H.; COSTA, M. C. G. C.; SCHWENGBER, L. A. M. Crescimento da teca (*Tectona grandis*) em reflorestamento na Amazônia Setentrional. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 59, p. 05-14, 2009.

TONINI, H.; FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. R.; SPATHELF, P. Comparação gráfica entre curvas de índice de sítio para *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* desenvolvidas no Sul do Brasil. **Ciência Florestal**, v. 12, n. 1, p. 143-152, 2002.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MORI, F. A. Correlação canônica das

características químicas e físicas da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*. **Cerne**, v. 9, n. 1, p. 66-80, 2003.

TRUGILHO, P. F.; VITAL, B. R.; REGAZZI, A. J.; GOMIDE, J. L. Aplicação da análise de correlação canônica na identificação de índices de qualidade da madeira de eucalipto para a produção de carvão vegetal. **Revista Árvore**, v. 21, n. 2, p. 259-267, 1997.

VAIDES LÓPEZ, E. E. **Características de sitio que determinan el crecimiento y productividad de teca (*Tectona grandis* L.f.), en plantaciones forestales de diferentes regiones en Guatemala**. 2004. 81 f. Dissertação (Mestrado em Ciencias sobre Manejo y Conservación de Bosques Tropicales y Biodiversidad) – Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba – Costa Rica.

VAIDES, E.; UGALDE, L.; GALLOWAY, G. Crecimiento y productividad de teca en plantaciones forestales jóvenes en Guatemala. **Recursos Naturales y Ambiente**, n. 46, p. 137-145, 2005.

VALLEJOS BARRA, O. S. **Productividad y relaciones del índice de sitio con variables fisiográficas, edafoclimáticas y foliares para *Tectona grandis* L.F., *Bombacopsis quinatum* (Jacq.) Dugand y *Gmelina arborea* Roxb. en Costa Rica**. 1996. 168 f. Dissertação (Mestrado em Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales) – Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba – Costa Rica.

VÁSQUEZ, W. C.; UGALDE, L. A. A. **Rendimiento y calidad de sitio para *Gmelina arborea*, *Tectona grandis*, *Bombacopsis quinatum* y *Pinus caribaea* en Guanacaste, Costa Rica**. Turrialba: CATIE, 1995. 40 p. (Serie técnica: Informe técnico, n. 256).

WATANABE, Y.; MASUNAGA, T.; OWUSU-SEKYERE, E.; BURI, M. M.; OLADELE, O. I.; WAKATSUKI, T. Evaluation of growth and carbon storage as influenced by soil chemical properties and moisture on teak (*Tectona grandis*) in Ashanti region, Ghana **Journal of Food, Agriculture & Environment**, v. 7, n. 2, p. 640-650, 2009.

WATANABE, Y.; OWUSU-SEKYERE, E.; MASUNAGA, T.; BURI, M. M.; OLADELE, O. I.; WAKATSUKI, T. Teak (*Tectona grandis*) growth as influenced by soil physicochemical properties and other site conditions in Ashanti region, Ghana. **Journal of Food, Agriculture & Environment**, v. 8, n. 2, p. 1040-1045, 2010.

ZECH, W.; DRECHSEL, P. Relationships between growth, mineral nutrition and site factors of teak (*Tectona grandis*) plantations in the rainforest zone of Liberia. **Forest Ecology and Management**, v. 41, n. 3-4, p. 221-235. 1991.

CAPÍTULO II

DINÂMICA E CORRELAÇÃO ESPACIAL DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E DO DESENVOLVIMENTO DE *Tectona grandis* L.f. EM POVOAMENTO HOMOGÊNEO

RESUMO

Os avanços tecnológicos na identificação dos fatores que limitam a produtividade dos povoamentos florestais demonstram a importância de se entender as relações espaciais e temporais das propriedades do solo que afetam o rendimento dos povoamentos florestais. Assim, o objetivo do presente trabalho foi caracterizar a dinâmica e a correlação espacial dos atributos químicos pH, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, alumínio e matéria orgânica do solo com as variáveis diâmetro a 1,3 m do solo, alturas total e dominante e área basal da teca, em povoamento homogêneo, no município de Nossa Senhora do Livramento, estado de Mato Grosso, Brasil. Foram alocadas 46 parcelas permanentes de 15 m x 30 m e obtidas as variáveis da teca e as amostras de solo, a 0-20 cm de profundidade, para a posterior modelagem dos padrões espaciais, por meio da geoestatística. A distribuição espacial dos atributos químicos do solo e do desenvolvimento da teca, elaborados por meio da geoestatística, apresentam precisão estatística e diferentes padrões e dinâmicas espaciais. Individualmente, os atributos químicos do solo não apresentam forte correlação espacial com o desenvolvimento da teca, entretanto, há maior semelhança na distribuição espacial do diâmetro a 1,3 m do solo e da altura total com o pH e o cálcio do solo.

Palavras-chave: Teca, variabilidade espacial, geoestatística, krigagem.

CHAPTER II

DYNAMICS AND CORRELATION SPATIAL OF THE CHEMICAL ATTRIBUTES SOIL AND DEVELOPMENT OF *Tectona grandis* L.f. IN PURE STAND

ABSTRACT

Technological advances in the identification of the factors limiting the productivity of forest stands show the importance of understanding spatial and temporal relationships of soil attributes that affect the yield of forest stands. The objective of this study was to characterize the dynamics and correlation spatial of chemical attributes pH, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, aluminum and organic matter soil with the diameter at 1.3 m above the ground, height total and dominant and basal area of teak in pure stand in Nossa Senhora do Livramento, state of Mato Grosso, Brazil. Were allocated 46 permanent plots of 15 m x 30 m and obtained the teak variable and soil samples, at 0-20 cm depth, for modeling of spatial patterns by means of geostatistics. The spatial distribution of soil chemical attributes and development of teak, show statistical precision and different patterns and spatial dynamics. Individually the soil chemical attributes do not exhibit strong spatial correlation with the development of teak, however, there is greater similarity in the spatial distribution of the diameter to 1.3 m and the total height with the pH and calcium of soil.

Keywords: Teak, spatial variability, geoestatistic, kriging.

1. INTRODUÇÃO

Os avanços tecnológicos na identificação dos fatores que limitam a produtividade demonstram a importância de se medir as relações espaciais e temporais das propriedades do solo que afetam o rendimento dos povoamentos florestais, por meio da combinação dos sistemas de informações geográficas e métodos geoestatísticos, visando à máxima produtividade (ORTIZ et al., 2006; RUFINO et al., 2006; BOGNOLA et al., 2008).

A geoestatística, ou estatística espacial, é fundamentada no estudo de uma função espacial numérica que varia de um local para outro com continuidade e cujos valores são relacionados com a posição espacial que ocupam (FARACO et al., 2008), o que permite a estimativa de uma determinada variável em locais não amostrados e a aplicação em mapeamentos, planejamentos de amostragens e modelagens (GOMES et al., 2007).

Para a aplicação das técnicas geoestatísticas, é necessário, primeiramente, detalhar a área onde será implantado o estudo. Para tanto, todas as informações devem ser referenciadas com a implantação de um sistema de coordenadas geográficas (BOGNOLA et al., 2008), juntamente com um processo de amostragem, em que as unidades amostrais podem ou não estar espaçadas de forma constante dentro de uma região definida (BERNER et al., 2007).

Com a aplicação da geoestatística, espera-se alcançar dois objetivos principais: o primeiro é ser capaz de extrair da aparente desordem dos dados disponíveis uma imagem da variabilidade dos mesmos e uma medida da correlação existente entre os valores tomados em dois pontos do espaço, separados por um determinado vetor h , em que $|h| = h$, obtida com o uso de semivariogramas; e o segundo é ser capaz de medir a precisão de toda predição ou estimativa por meio dos dados amostrados (BEDREGAL, 2008).

Segundo Vieira (2000), quando se utiliza as técnicas geoestatísticas algumas hipóteses básicas são assumidas: primeiramente, a estacionaridade de 1ª ordem, que é a esperança do

valor de um ponto no espaço ser igual à média admitindo-se que a média amostral é igual à média populacional; em segundo lugar, a estacionaridade de 2ª ordem, a qual assume que há uma variação da média, mas a variância é constante dentro dos limites da continuidade espacial; e, finalmente, a hipótese intrínseca, que é a mais frequentemente utilizada, pois a estacionaridade de 2ª ordem implica a existência de uma variância finita dos valores medidos, a qual pode não ser satisfeita para alguns fenômenos que têm uma capacidade infinita de dispersão. Assim, a hipótese intrínseca requer apenas a existência e estacionaridade do semivariograma, sem nenhuma restrição quanto à existência de variância finita, admitindo que a probabilidade de variação dos valores tomados entre unidades amostrais é igual para uma mesma distância de separação.

Embora a geoestatística seja amplamente aplicada na geologia e na ciência do solo, esta apresenta grande potencial na caracterização do comportamento espacial de variáveis dendrométricas de povoamentos florestais (MELLO et al., 2005), como em povoamentos de *Pinus* (STENDAHL, 2001; NANOS e MONTERO, 2002; NANOS et al., 2004; LEE et al., 2006) e de *Eucalyptus* (MELLO et al., 2005; MELLO et al., 2005b; KANEGAE JÚNIOR et al., 2006; MELLO et al., 2006; DINIZ, 2007; KANEGAE JÚNIOR et al., 2007; MELLO et al., 2009), e nas relações espaciais entre o potencial produtivo de povoamentos de *Eucalyptus* e dos atributos do solo (ORTIZ et al., 2006; RUFINO et al., 2006).

A teca (*Tectona grandis* L.f.) é uma espécie florestal considerada, atualmente, uma alternativa às madeiras de alto valor econômico, como a *Swietenia macrophylla* King e a *Torresea acreana* Ducke, para o suprimento sustentável das indústrias de base florestal (CALDEIRA et al., 2000; DRESCHER, 2004), e com pleno desenvolvimento em uma grande variedade de solos, principalmente os de textura franco-arenosa a argilosa (CHAVES e FONSECA, 1991; OMBINA, 2008), profundos e férteis (VÁSQUEZ e UGALDE, 1995; CENTENO, 1997; KAOSA-ARD, 1998; TANAKA et al., 1998; MONTERO et al., 2001).

Entre os principais atributos químicos do solo de influência

direta sobre o crescimento da teca pode-se destacar o pH (ZECH e DRECHSEL, 1991), o cálcio (TANAKA et al., 1998; GONZÁLEZ, 2004) e o potássio (CASTELLANOS, 2006) e outros, como o magnésio (MATRICARDI, 1989) e o fósforo (MATA, 1999), os quais, em baixos níveis no solo, respectivamente $0,5 \text{ mg.dm}^{-3}$ e $5,0 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ (MOLLINEDO GARCIA, 2003), são suficientes para atender as exigências fisiológicas da espécie. Além dos efeitos negativos das altas concentrações de alumínio trocável no solo (MATRICARDI, 1989; MOLLINEDO GARCIA, 2003) e dos benefícios da matéria orgânica no fornecimento de nutrientes e na manutenção do pH do solo (SUZUKI et al., 2007).

Chamshama et al. (2000) destacaram que há a necessidade do monitoramento contínuo das propriedades químicas do solo em plantios de teca, uma vez que, segundo Shukla (2009), há indícios de impactos negativos nas reservas minerais dos solos cultivados. Neste sentido, para Matricardi (1989), a conservação da química do solo em níveis ideais, é uma condição necessária para o adequado manejo nutricional e para a manutenção da produtividade da cultura, principalmente nas camadas superficiais do solo, onde grande parte do sistema radicular da teca está presente.

Diante do exposto, o objetivo do presente trabalho foi aplicar a geoestatística para caracterizar as dinâmicas e as correlações espaciais dos atributos químicos do solo e das variáveis que caracterizam o desenvolvimento da teca, em um povoamento no município de Nossa Senhora do Livramento, estado de Mato Grosso.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido em um povoamento equiâneo e homogêneo de teca (Figura 3), com 213 ha implantados em 1999 no espaçamento 3 m x 3 m, na Fazenda Campina, da empresa Teca do Brasil Ltda., localizada no município de Nossa Senhora do Livramento, estado de Mato Grosso, em uma área circunscrita à coordenada $16^{\circ}13'05'' \text{ S}$ e $56^{\circ}23'34'' \text{ W}$, tomando-se por base um raio de 1,6 km.



FIGURA 3 – LOCALIZAÇÃO DO POVOAMENTO DE *Tectona grandis*, NA FAZENDA CAMPINA, EM NOSSA SENHORA DO LIVRAMENTO - MT.

O clima da região é do tipo Aw, segundo a classificação de

Köppen, com estações seca e chuvosa bem definidas (PEEL et al., 2007), precipitação média de 1.300 mm.ano⁻¹, temperatura média anual de 25°C, com médias das mínimas de 20°C e das máximas de 32°C, evapotranspiração potencial de 4,1 mm.dia⁻¹ e umidade relativa do ar de 70% a 75% (CAMPELLO JÚNIOR et al., 1991). O relevo característico é o suave ondulado e o solo é classificado como PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico (EMBRAPA, 2006) de textura franco-argilo-arenosa.

Para o plantio, o solo foi descompactado mecanicamente com subsolador, arado e nivelado. Não houve adubação de arranque, porém foram aplicados de 0,8 a 3,7 t.ha⁻¹ de calcário magnesiano, 60 Kg.ha⁻¹ de fosfato e 100 a 150 Kg.ha⁻¹ de cloreto de potássio aos nove anos de idade do povoamento. Houveram ocorrências esporádicas e localizadas de percevejos-da-soja (*Blissus* sp. – Blissinae) durante os dois primeiros anos de plantio, sendo o combate realizado com a pulverização de inseticida na dosagem de 600 g.L⁻¹ de metamidofós. As desramas ocorreram a partir do segundo ano, com a retirada de galhos até 1/3 da altura total das árvores nessa idade, até a 1/2 da altura total no terceiro ano e até 2/3 no quarto ano, e a manutenção da desrama, com a remoção de galhos até 7,0 m de altura nas idades seguintes. Os desbastes, do tipo seletivo, foram executados aos cinco e aos oito anos, com a remoção média de 40% e 33%, respectivamente, do número de árvores por hectare.

Para a coleta de dados, foram alocadas 46 parcelas permanentes de 15 m x 30 m (450 m²), correspondendo a uma densidade inicial de 50 árvores por parcela e a uma resolução de 103 m², onde foram obtidos os valores médios anuais das variáveis diâmetro a 1,3 m do solo (DAP) e altura total (Ht), correspondentes as variáveis de obtenção direta no campo; além da determinação da altura dominante (Hd), relacionada com a capacidade produtiva de sítios florestais, determinada pelo método de Assmann (1961) que considera a altura dominante como a média da altura das cem árvores de maior DAP em um hectare; e a área basal (G), que expressa a área ocupada pelos fustes das árvores em um hectare do povoamento florestal.

Foram coletadas amostras deformadas de solo no centro de

cada parcela, na profundidade de 0-20 cm, aos dois e aos nove anos de idade do plantio, para a posterior análise em laboratório e determinação dos atributos químicos pH (em H₂O), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al) e matéria orgânica (MO), segundo as metodologias estabelecidas por Embrapa (1997).

Os dados foram submetidos aos testes de Kolmogorov-Smirnov (K-S), ao nível de 5% de probabilidade, com o auxílio do pacote estatístico Assistat 7.5 (SILVA e AZEVEDO, 2002), para a constatação da normalidade, comparando a distribuição observada com a normal teórica. Na ausência de significância, os dados foram transformados em ln(x) ou \sqrt{x} e submetidos novamente ao teste K-S.

Para descrever e modelar os padrões espaciais foi utilizada a análise geoestatística com o ajuste do semivariograma, o qual corresponde a uma ferramenta matemática que permite estudar a dispersão espacial de uma variável em função da distância (ANDRIOTTI, 2003), por meio da expressão:

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

Em que: $y(h)$ = semivariância da variável $Z(x_i)$; h = distância; e $N(h)$ = o número de pares de pontos medidos $Z(x_i)$ e $Z(x_i + h)$, separados por uma distância h .

O semivariograma (Figura 4) é composto pelo efeito pepita (C_0), que corresponde ao valor da semivariância para a distância zero e indica a variação ao acaso ou erros na obtenção dos dados; o patamar (C), que representa a estabilização dos valores do semivariograma aproximadamente igual à variância dos dados; a contribuição (C_1), que é dada pela diferença entre o patamar (C) e o efeito pepita (C_0) e; o alcance (A), que é definido pela distância onde o semivariograma alcança o patamar e indica o limite onde as unidades amostrais estão correlacionadas entre si (VIEIRA, 2000), sendo que as estimativas a

distâncias maiores que o alcance possuem distribuição aleatória, devendo ser aplicada a estatística clássica (MACHADO et al., 2007).

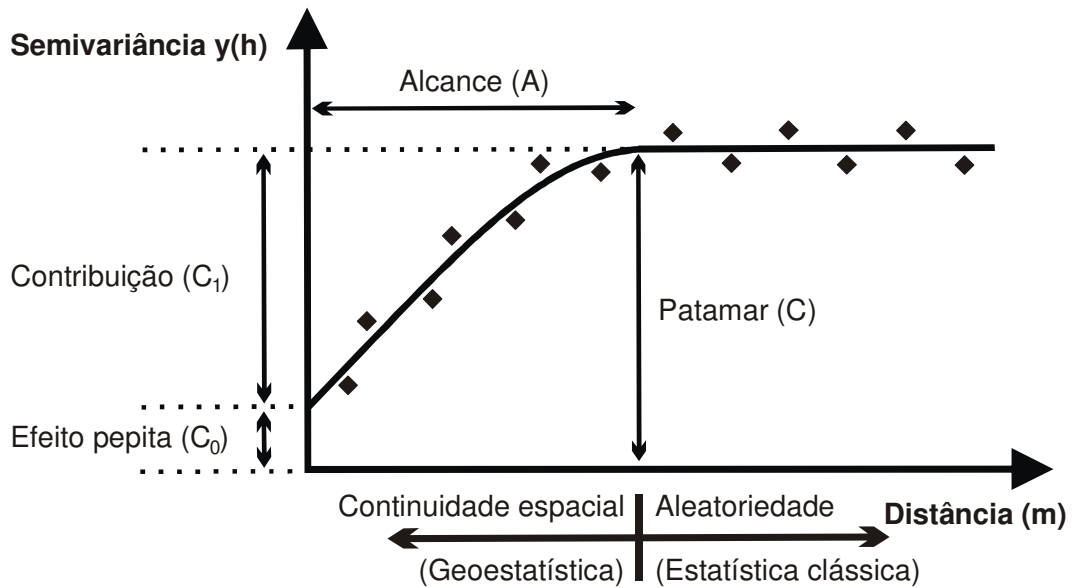


FIGURA 4 – SEMIVARIOGRAMA E OS SEUS COMPONENTES.

O procedimento de ajuste de um semivariograma não é direto e nem automático, mas sim interativo, pois neste processo faz-se um primeiro ajuste e verifica-se a adequação de modelos teóricos até a obtenção de um ajuste satisfatório (ALMEIDA, 2008), os quais são necessários para a interpolação e a estimativa em locais não amostrados (CARVALHO et al., 2002). Assim, foram testados quatro modelos de semivariogramas (Quadro 1) com o auxílio do programa GS+ 7.0 versão demonstração (ROBERTSON, 2008).

A seleção dos melhores ajustes foi determinada com base no maior coeficiente de determinação (R^2) e na validação cruzada, a qual consistiu em estimar o valor de cada unidade amostrada, por meio do semivariograma ajustado, e plotar os valores observados em função dos estimados (Figura 5). Para um ajuste ideal, têm-se o coeficiente linear (a) igual a um; o coeficiente angular (b) igual a zero; e o coeficiente de determinação da validação cruzada (R^2_{vc}) igual a um.

QUADRO 1 – MODELOS DE SEMIVARIOGRAMAS AJUSTADOS PARA OS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E O DESENVOLVIMENTO DE *Tectona grandis* EM NOSSA SENHORA DO LIVRAMENTO - MT.

Modelo	Denominação
$\gamma(h) = C_0 + C \left[\left(\frac{3}{2} \right) \left(\frac{h}{A} \right) - \left(\frac{1}{2} \right) \left(\frac{h}{A} \right)^3 \right]$	Esférico
$\gamma(h) = C_0 + C \left(1 - e^{-h/A} \right)$	Exponencial
$\gamma(h) = C_0 + C \left(1 - e^{-h^2/A^2} \right)$	Gaussiano
$\gamma(h) = C_0 + p(h)^A$	Linear

$\gamma(h)$ = semivariância da variável de interesse; C_0 = efeito pepita; C = patamar; A = alcance; h = distância; e = exponencial; e p = inclinação da reta.

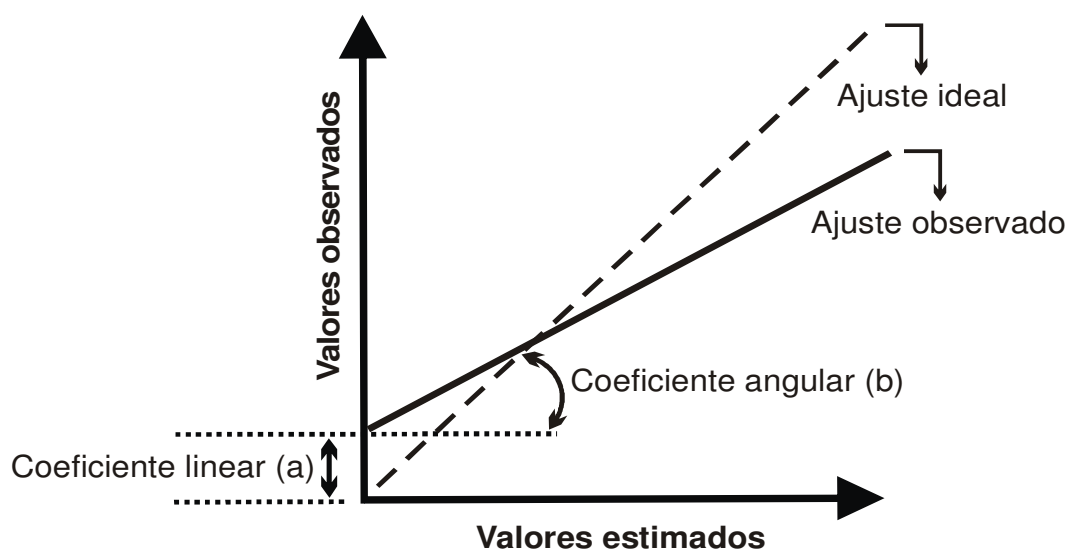


FIGURA 5 – VALIDAÇÃO CRUZADA E OS SEUS COMPONENTES.

Os semivariogramas foram executados nas direções de 0°, 45°, 90° e 135° (Figura 6A), a fim de se verificar a presença de anisotropia (Figura 6B), ou seja, a existência de uma variabilidade que não é a mesma em todas as direções (GUEDES et al., 2008).

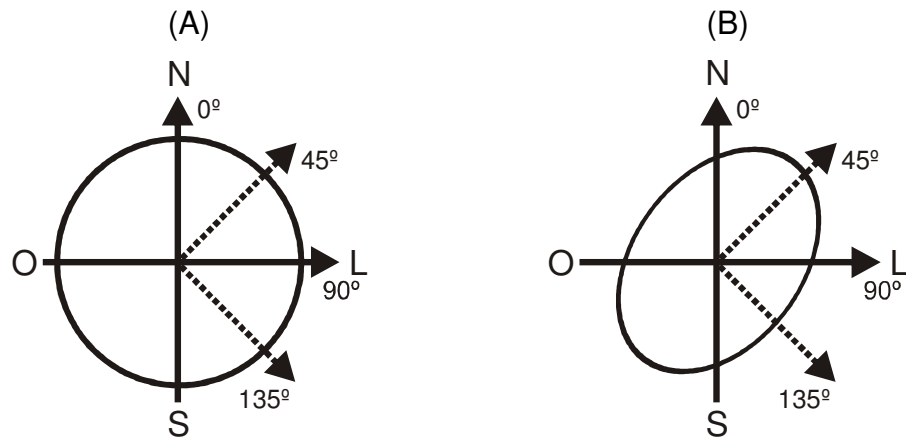


FIGURA 6 – DIREÇÕES DE AJUSTE DOS SEMIVARIOGRAMAS (A) E EXEMPLO DE ANISOTROPIA (B).

Após o ajuste dos modelos, foi obtido o grau de dependência espacial (GD), que representa a porção da variabilidade espacial que é devida ao acaso, e classificada conforme os critérios estabelecidos por Cambardella et al. (1994), sendo: forte, se $GD < 25\%$; moderada, entre $26\% \leq GD \leq 75\%$; e fraca, se $GD > 75\%$.

$$GD = \left(\frac{C_0}{C} \right) \times 100$$

Em que: GD = grau de dependência espacial; C_0 = efeito pepita; e C = patamar.

A interpolação e a espacialização dos valores das variáveis foram realizadas pelo método da krigagem ordinária pontual, que corresponde ao mais recomendável, pois considera a dependência espacial e estima sem tendência e com variância mínima, na elaboração de mapas com maior precisão (CORÁ e BERALDO, 2006), sendo estes confeccionados com o programa Surfer 8.0 versão demonstração (GOLDEN SOFTWARE, 2002), utilizando as amplitudes das classes de distribuição das variáveis obtidas por meio da média de cada variável \pm o respectivo desvio padrão.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 6 encontram-se os parâmetros de ajuste dos semivariogramas dos atributos químicos do solo, na profundidade de 0-20 cm, para a teça aos dois e aos nove anos idade em Nossa Senhora do Livramento - MT.

TABELA 6 – PARÂMETROS DOS SEMIVARIOGRAMAS AJUSTADOS PARA OS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO, NA PROFUNDIDADE DE 0-20 cm, PARA *Tectona grandis* AOS DOIS E AOS NOVE ANOS DE IDADE EM NOSSA SENHORA DO LIVRAMENTO - MT.

Atributo	Modelo	C ₀	C	A (m)	GD (%)	Classe	R ²	Validação cruzada		
								a	b	R ² _{vc}
<i>Tectona grandis</i> aos dois anos										
pH *	Gau.	0,081	0,188	381,00	43,07	Mod.	0,95	0,180	0,968	0,29
P ^{ns}	Gau.	0,108	0,429	595,65	25,10	Mod.	0,97	3,470	0,769	0,23
K *	Esf.	178,0	1458,0	700,00	12,21	Forte	0,94	17,49	0,857	0,41
Ca ^{ns}	Esf.	0,060	4,688	798,00	1,28	Forte	0,97	0,280	0,935	0,56
Mg *	Esf.	0,037	0,796	791,00	4,65	Forte	0,96	0,040	0,958	0,58
Al ^{ns}	Esf.	0,049	0,114	513,00	43,40	Mod.	0,91	0,040	0,646	0,11
MO *	Gau.	8,000	74,31	386,00	10,77	Forte	0,98	2,360	0,889	0,62
<i>Tectona grandis</i> aos nove anos										
pH *	Exp.	0,006	0,040	189,00	16,08	Forte	0,99	0,580	0,905	0,23
P ^{ns}	Gau.	0,083	0,169	1156,0	49,17	Mod.	0,97	0,930	0,826	0,15
K *	Esf.	1,000	945,0	722,00	0,11	Forte	0,96	12,81	0,833	0,45
Ca ^{ns}	Gau.	0,780	2,947	429,00	26,47	Mod.	0,98	-0,230	1,040	0,58
Mg *	Gau.	0,144	0,523	349,00	27,53	Mod.	0,95	0,300	0,818	0,32
Al ^{ns}	Gau.	0,006	0,024	560,83	26,10	Mod.	0,99	0,010	0,751	0,17
MO *	Gau.	3,090	24,79	359,00	12,46	Forte	0,97	0,460	0,968	0,64

* = significativo a 5% pelo teste Kolmogorov-Smirnov; ^{ns} = não significativo; Gau. = gaussiano; Esf. = esférico; Exp. = exponencial; C₀ = efeito pepita; C = patamar; A = amplitude; GD = grau de dependência espacial; Mod. = moderado; R² = coeficiente de determinação; a = coeficiente linear; b = coeficiente angular; e R²_{vc} = coeficiente de determinação da validação cruzada.

Em ambas as épocas de avaliação, apenas os atributos pH,

potássio (K), magnésio (Mg) e matéria orgânica (MO) apresentaram distribuição normal. Enquanto para o fósforo (P), cálcio (Ca) e alumínio (Al), a distribuição foi não significativa e as transformações $\ln(x)$ e \sqrt{x} não proporcionaram a normalidade dos dados. Assim, optou-se pela utilização destes nas escalas originais, visto que, a distribuição normal não é uma pressuposição da geoestatística (LANDIM, 2003; AZEVEDO, 2004).

Os modelos esférico e gaussiano proporcionaram os melhores ajustes, exceto para o pH aos nove anos. Já o K e a MO apresentaram os maiores valores de efeito pepita (C_0), para ambos os períodos, o que indica a possibilidade de maior erro nas estimativas destes atributos (CAMARGO et al., 2008). No entanto, não foram constatadas variações significativas ao longo de uma direção privilegiada para as variáveis.

O comportamento espacial diferenciado das variáveis também pode ser observado pelo alcance (A), o qual registrou os seus maiores valores para o Ca e Mg na primeira avaliação e para o P e K na segunda amostragem. O que pode indicar uma elevada variabilidade espacial dos atributos químicos na área em estudo (BARBIERI et al., 2008).

Para ambos os períodos, os semivariogramas ajustados para o K e MO apresentaram forte dependência espacial ($GD < 25\%$), enquanto para o P e Al foi moderada ($26\% \leq GD \leq 75\%$). Já o pH, Ca e Mg demonstraram comportamentos distintos entre as duas amostragens, com o aumento do GD para o pH e redução para os demais. Possivelmente, as variações no GD são resultantes de fatores intrínsecos de formação do solo, como o material de origem, relevo, clima, micro-organismos e tempo (CARVALHO et al., 2003; CAVALCANTE et al., 2007).

Os modelos ajustados forneceram estimativas eficientes das semivariâncias dos atributos químicos do solo, com coeficientes de determinação (R^2) superiores a 0,91, para os atributos K e Al, na fase jovem, e igual ou superior a 0,95 para os outros. Resultados semelhantes foram observados por Roque et al. (2005), em um Argissolo cultivado com seringueira; por Reichert et al. (2008), em um Planossolo sob lavoura; e por Corá et al. (2004), Cavalcante et al. (2007), Cavalcante et al. (2007b) e Gomes et al. (2008), em Latossolos sob diferentes culturas.

Os ajustes proporcionaram coeficientes lineares (a) próximos a

zero, exceto para o K, com 17,49 e 12,81. No entanto, este atributo apresentou elevados coeficientes angulares (b), com 0,857 e 0,833. Já para o coeficiente de determinação da validação cruzada (R^2_{vc}), os valores foram baixos a moderados, com o menor de 0,11 para o AI e o maior de 0,64 para a MO. Apesar de alguns resultados indesejáveis, os ajustes não foram descartados, pois a validação cruzada não prova que o semivariograma está correto, apenas que não é necessariamente incorreto (ANDRIOTTI, 2003; LANDIM, 2003).

Os semivariogramas foram avaliados em diferentes direções e não foram detectadas anisotropias. Assim, os parâmetros dos semivariogramas ajustados foram utilizados para as estimativas em locais não amostrados e, com isso, determinada a distribuição espacial dos atributos químicos do solo, na profundidade de 0-20 cm, para a teca aos dois e aos nove anos de idade (Figuras 7 a 13).

Foram detectadas mudanças significativas na variabilidade espacial do pH do solo (Figura 7), com o aumento dos valores mínimos de 4,7 para 5,3 e manutenção dos limites máximos. Segundo Márquez et al. (1993) e Campolin (2006), isto pode estar relacionado com a incorporação da matéria orgânica proveniente da serapilheira, proveniente da queda natural das folhas, e dos resíduos culturais, como das operações de desbaste e desrama, que contribuíram para a melhora da fertilidade do solo, ou seja, elevação do pH do solo próximo ao limite mínimo de 5,5 ideal para a boa disponibilidade de nutriente à teca, de acordo com González (2010).

Em ambos os períodos, os níveis de P no solo (Figura 8) foram superiores ao mínimo de $0,5 \text{ mg.dm}^{-3}$ recomendado por Mollinedo Garcia (2003). No entanto, foi constatada redução nas concentrações na segunda avaliação (Figura 8B), que pode estar relacionada com a maior taxa de absorção e retenção do nutriente durante a fase juvenil para a formação do sistema radicular (MÁRQUEZ et al., 1993; BEHLING, 2009). Além da taxa de absorção do P ser superior a taxa de retorno em espécies exóticas de rápido crescimento, como a teca, o que causa declínio nos níveis de nutrientes do solo (AWOTOYE et al., 2009).

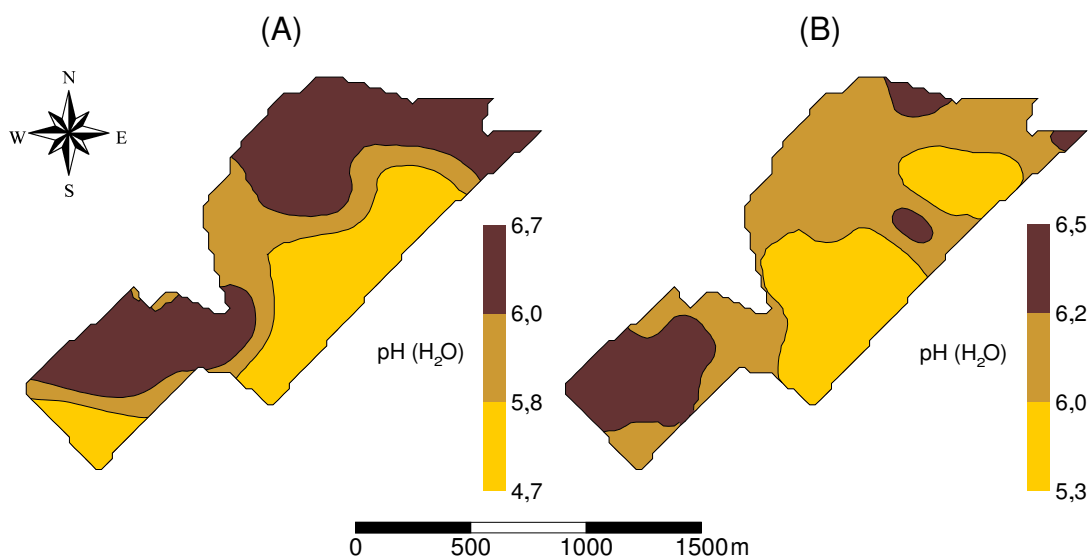


FIGURA 7 – DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO pH NO SOLO, NA PROFUNDIDADE DE 0-20 cm, PARA *Tectona grandis* AOS DOIS (A) E AOS NOVE (B) ANOS DE IDADE EM NOSSA SENHORA DO LIVRAMENTO - MT.

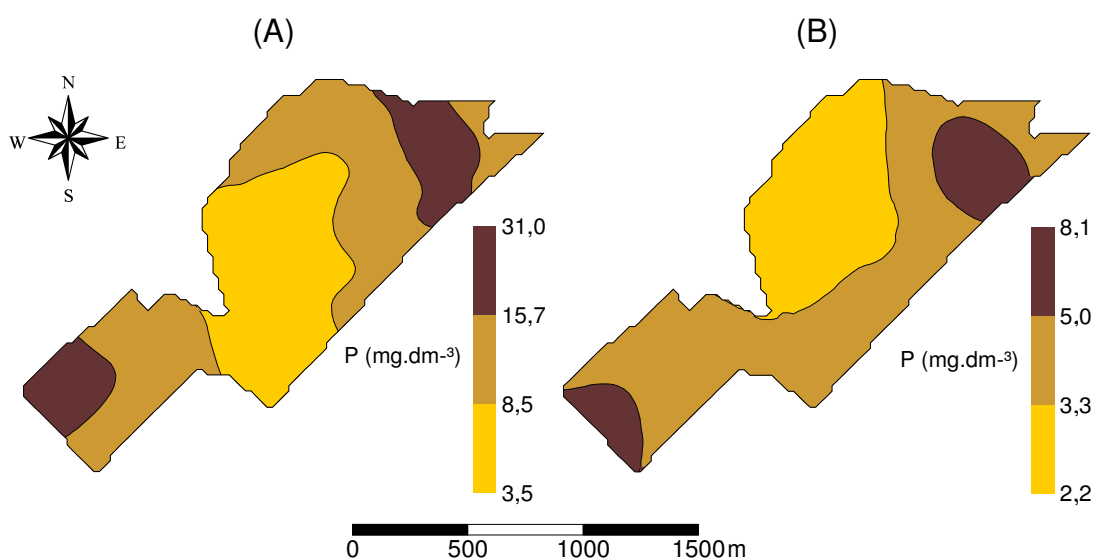


FIGURA 8 – DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO FÓSFORO (P) NO SOLO, NA PROFUNDIDADE DE 0-20 cm, PARA *Tectona grandis* AOS DOIS (A) E AOS NOVE (B) ANOS DE IDADE EM NOSSA SENHORA DO LIVRAMENTO - MT.

Não foram detectadas alterações espaciais na concentração de K no solo (Figura 9), sendo os valores superiores ao limite mínimo de 4,5 mg.dm⁻³ estabelecido por Mollinedo Garcia (2003). Entretanto, houve

redução nos níveis de K na segunda observação (Figura 9B), que pode estar relacionada com a maior necessidade deste elemento por espécies de rápido crescimento, como a teca (NWOBOSHI, 1984; ADEJUWON e EKANADE, 1988), devido a sua participação em atividades enzimáticas do metabolismo vegetal (ABOD e SIDDIQUI, 2002). Além disso, a perda por lixiviação pode desempenhar um importante fator para a redução dos teores de K no solo de plantios de teca (AMPONSAH e MEYER, 2000).

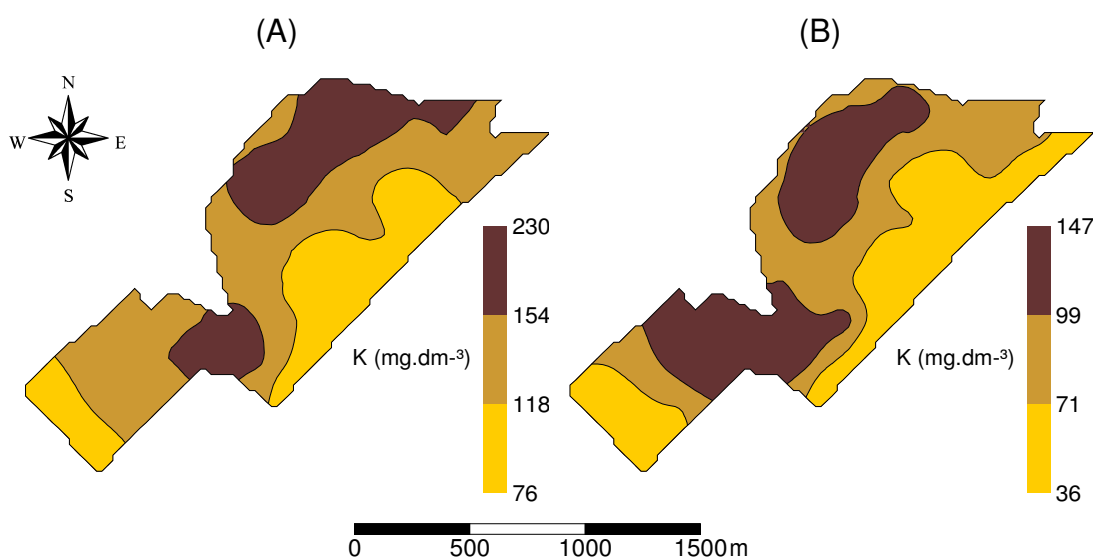


FIGURA 9 – DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO POTÁSSIO (K) NO SOLO, NA PROFUNDIDADE DE 0-20 cm, PARA *Tectona grandis* AOS DOIS (A) E AOS NOVE (B) ANOS DE IDADE EM NOSSA SENHORA DO LIVRAMENTO - MT.

O conteúdo de Ca (Figura 10) foi inferior a concentração de $10 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ recomendada por Vásquez e Ugalde (1995) e Mollinedo Garcia (2003), sendo as regiões Sul e Leste da área de estudo inferiores ao limite crítico de $4,0 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ estabelecido por Mata (1999). Além disso, houve aumento dos níveis mínimos de Ca de $0,7$ a $1,4 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ e redução dos máximos de $8,1$ a $6,9 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$, com poucas alterações expressivas na distribuição espacial (Figura 10B) em relação às concentrações iniciais (Figura 10A).

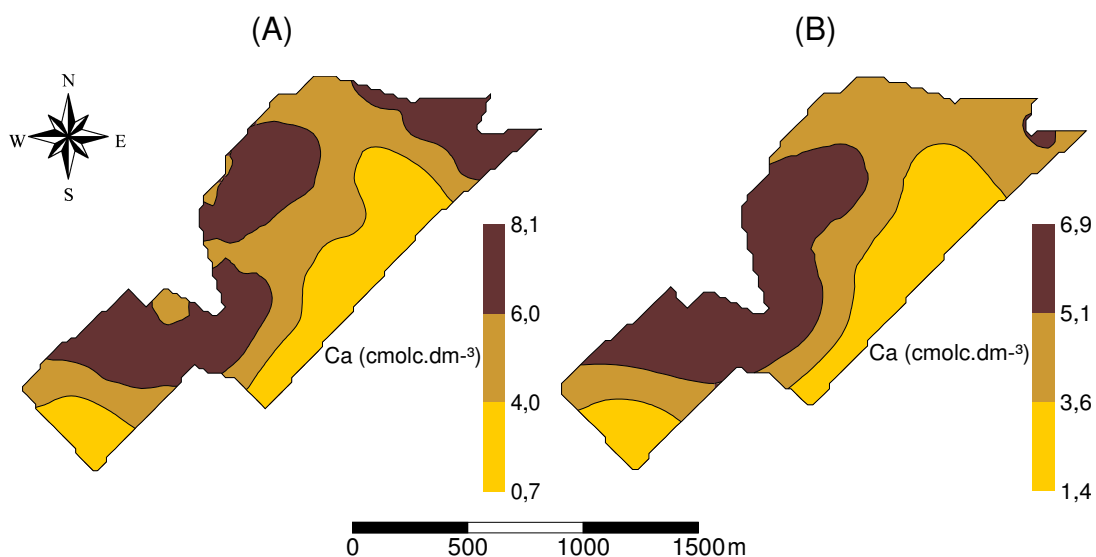


FIGURA 10 – DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO CÁLCIO (Ca) NO SOLO, NA PROFUNDIDADE DE 0-20 cm, PARA *Tectona grandis* AOS DOIS (A) E AOS NOVE (B) ANOS DE IDADE EM NOSSA SENHORA DO LIVRAMENTO - MT.

A concentração de Mg no solo (Figura 11) foi inferior ao recomendado de $5,0 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ (MOLLINEDO GARCIA, 2003). Entretanto, houve manutenção dos teores e poucas alterações expressivas na variabilidade espacial.

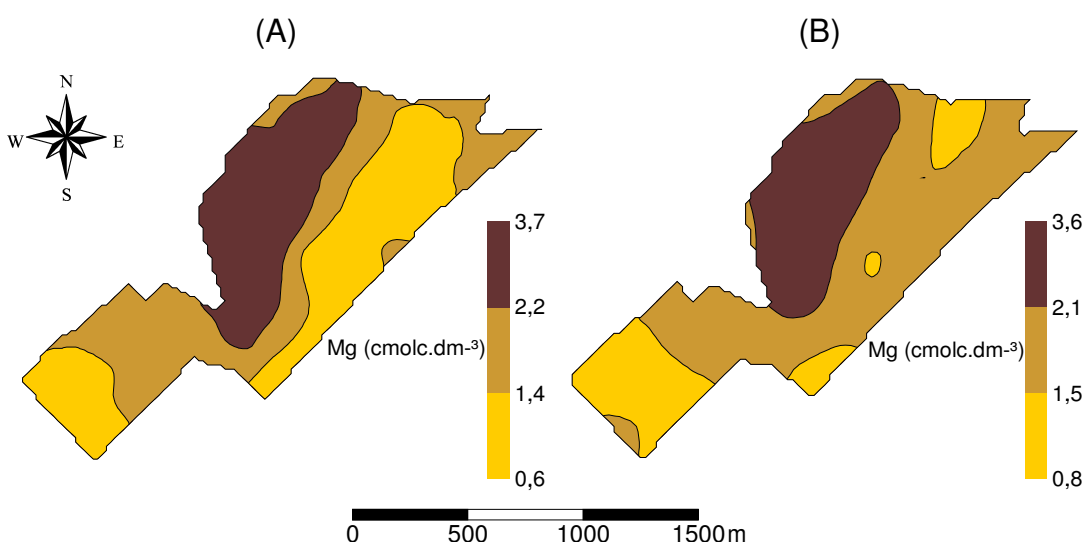


FIGURA 11 – DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO MAGNÉSIO (Mg) NO SOLO, NA PROFUNDIDADE DE 0-20 cm, PARA *Tectona grandis* AOS DOIS (A) E AOS NOVE (B) ANOS DE IDADE EM NOSSA SENHORA DO LIVRAMENTO - MT.

A manutenção da variabilidade numérica e espacial dos teores de Ca e Mg pode estar relacionada com a incorporação da serapilheira formada anualmente, devido, principalmente, ao elevado grau de deciduidade foliar da teca e à alta concentração destes elementos nas folhas (BEHLING, 2009), somado a elevada atividade biológica na decomposição de resíduos orgânicos em plantios de teca (DINAKARAN e KRISHNAYYA, 2010) e a manutenção do pH do solo (MÁRQUEZ et al., 1993).

Houve redução dos níveis máximos de Al no solo, de 1,4 $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ (Figura 12A) para 0,6 $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ (Figura 12B), e manutenção da estrutura espacial da concentração no solo. O que também pode estar relacionado com os resíduos culturais das operações de desbaste e desrama e da queda natural das folhas depositados na forma de matéria orgânica e que, segundo Campolin (2006), contribuem para a imobilização de parte do alumínio trocável em solos sob plantio de teca.

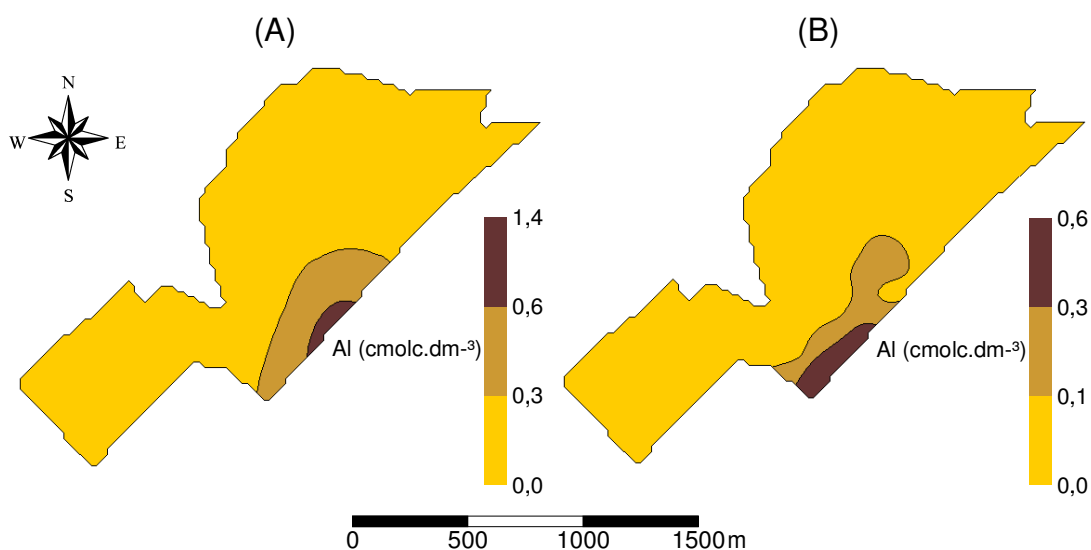


FIGURA 12 – DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO ALUMÍNIO (Al) NO SOLO, NA PROFUNDIDADE DE 0-20 cm, PARA *Tectona grandis* AOS DOIS (A) E AOS NOVE (B) ANOS DE IDADE EM NOSSA SENHORA DO LIVRAMENTO - MT.

Não houve alterações na espacialização da MO (Figura 13). No entanto, foi detectada redução na concentração máxima, de 43 $\text{g}.\text{dm}^{-3}$ (Figura 13A) para 35 $\text{g}.\text{dm}^{-3}$ (Figura 13B), o que, provavelmente, pode

estar relacionada com o aumento da sua mineralização (AMPONSAH e MEYER, 2000) e o acúmulo ser menor que a degradação do carbono, visto que, a superfície do solo em povoamentos florestais, após os desbastes, se encontra mais exposta aos efeitos da radiação solar e da chuva (ALMEIDA et al., 2010).

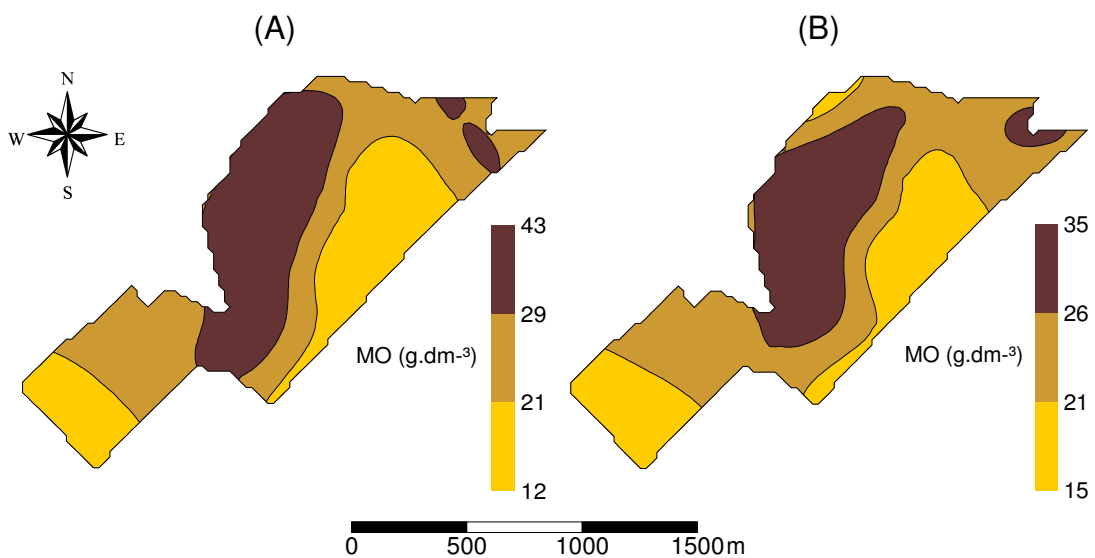


FIGURA 13 – DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA MATÉRIA ORGÂNICA (MO) NO SOLO, NA PROFUNDIDADE DE 0-20 cm, PARA *Tectona grandis* AOS DOIS (A) E AOS NOVE (B) ANOS DE IDADE EM NOSSA SENHORA DO LIVRAMENTO - MT.

Foi observada uma grande amplitude nos valores e na distribuição espacial dos atributos químicos do solo, o que pode estar relacionado com a topografia suavemente ondulada da área de estudo (Figura 14), conforme relatam Silva et al. (2007) e Souza et al. (2008). Isto evidencia os riscos do uso de valores médios para o manejo da fertilidade do solo em plantios de teca, visto que, em alguns locais a aplicação de fertilizante poderá ser inferior à dosagem necessária e, em outros, haverá aplicação excessiva.

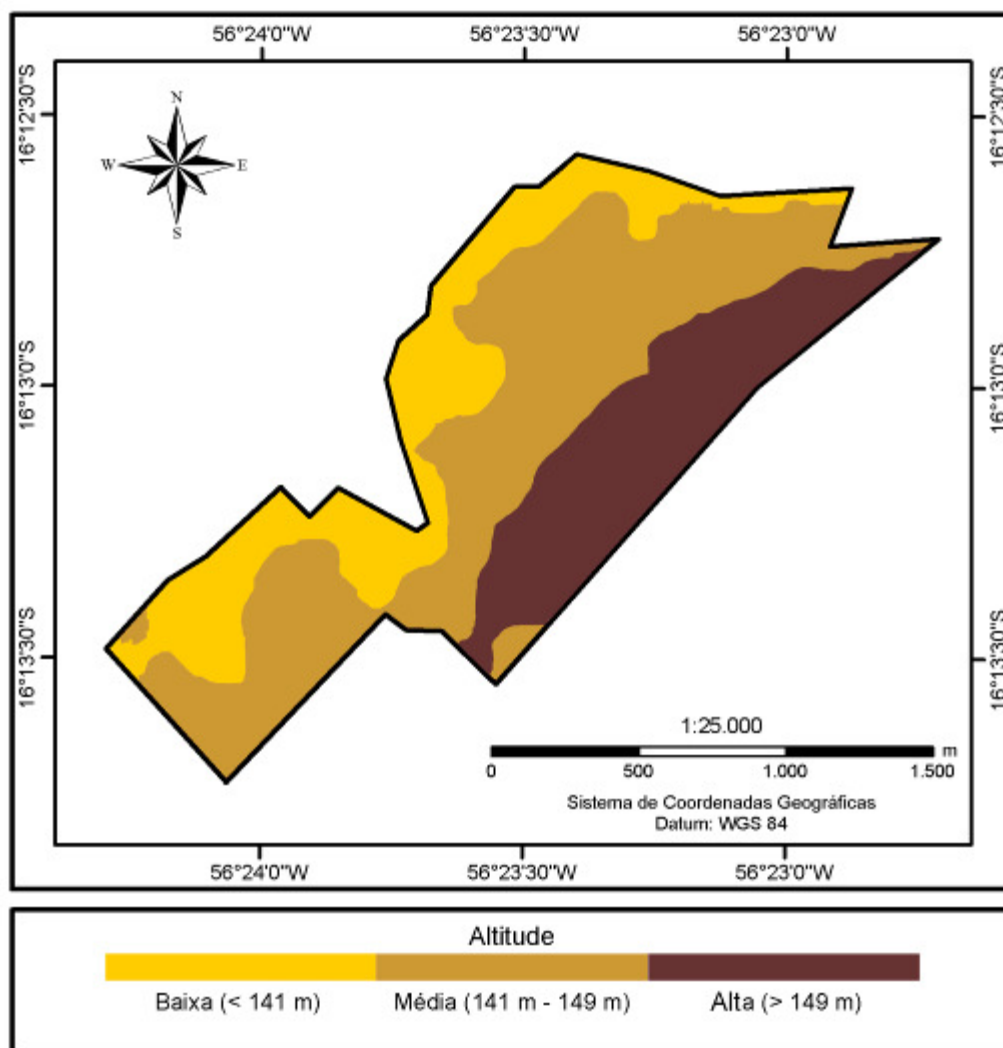


FIGURA 14 – REPRESENTAÇÃO DAS CLASSES DE ALTITUDE DA ÁREA DO POVOAMENTO DE *Tectona grandis* NO MUNICÍPIO DE NOSSA SENHORA DO LIVRAMENTO – MT.

Na Tabela 7 encontram-se os ajustes dos modelos de semivariogramas para as variáveis diâmetro a 1,3 m do solo (DAP), alturas total (Ht) e dominante (Hd) e área basal (G) para a teca, dos dois aos nove anos idade, em Nossa Senhora do Livramento, estado de Mato Grosso, Brasil.

TABELA 7 – PARÂMETROS DOS SEMIVARIOGRAMAS AJUSTADOS PARA O DIÂMETRO A 1,3 m DO SOLO, ALTURAS TOTAL E DOMINANTE E ÁREA BASAL, PARA *Tectona grandis* DE DOIS E A NOVE ANOS DE IDADE EM NOSSA SENHORA DO LIVRAMENTO - MT.

Idade (anos)	Modelo	C ₀	C	A (m)	GD (%)	Classe	R ²	Validação cruzada		
								a	b	R ² _{vc}
Diâmetro a 1,3 m do solo (DAP)										
2 *	Esf.	0,323	0,884	1.200,00	36,54	Mod.	0,98	0,230	0,956	0,35
3 ^{ns}	Exp.	0,345	0,948	275,00	36,39	Mod.	0,92	1,260	0,866	0,21
4 ^{ns}	Exp.	0,469	1,127	406,00	41,61	Mod.	0,97	1,680	0,861	0,21
5 ^{ns}	Gau.	0,446	1,280	618,75	34,79	Mod.	0,98	3,720	0,733	0,20
6 ^{ns}	Gau.	0,659	1,319	468,00	49,96	Mod.	0,97	2,030	0,873	0,21
7 ^{ns}	Gau.	0,765	1,531	508,00	49,97	Mod.	0,99	1,700	0,904	0,22
8 ^{ns}	Gau.	0,856	1,811	553,00	47,27	Mod.	0,99	0,230	0,987	0,31
9 ^{ns}	Gau.	0,913	1,827	387,00	49,97	Mod.	0,98	2,410	0,881	0,21
Altura total (Ht)										
2 *	Gau.	0,415	0,876	620,55	47,40	Mod.	0,95	0,300	0,936	0,34
3 *	Gau.	0,727	1,455	442,00	49,97	Mod.	0,93	0,020	0,996	0,37
4 *	Gau.	0,746	2,153	605,76	34,66	Mod.	0,93	1,150	0,892	0,41
5 ^{ns}	Gau.	0,790	1,494	668,00	52,86	Mod.	0,97	2,090	0,828	0,21
6 ^{ns}	Gau.	0,839	1,754	320,00	47,83	Mod.	0,95	0,580	0,955	0,25
7 *	Gau.	0,023	0,063	247,58	36,20	Mod.	0,98	2,160	0,861	0,25
8 ^{ns}	Gau.	0,101	0,267	532,00	37,65	Mod.	0,99	0,040	0,997	0,41
9 ^{ns}	Gau.	0,120	0,246	496,00	48,98	Mod.	0,99	1,470	0,916	0,22
Altura dominante (Hd)										
2 *	Exp.	0,390	0,846	478,00	46,10	Mod.	0,98	0,470	0,909	0,22
3 *	Gau.	0,641	1,584	477,00	40,47	Mod.	0,95	0,380	1,040	0,51
4 *	Gau.	0,707	1,787	539,00	39,56	Mod.	0,99	0,110	0,987	0,39
5 *	Gau.	0,878	1,852	658,84	47,41	Mod.	0,97	2,050	0,834	0,26
6 ^{ns}	Gau.	0,607	1,455	384,00	41,72	Mod.	0,97	0,200	0,983	0,37
7 *	Epp.	0,149	0,149	-	-	-	-	-	-	-
8 *	Epp.	0,176	0,176	-	-	-	-	-	-	-
9 *	Epp.	0,275	0,275	-	-	-	-	-	-	-
Área basal (G)										
2 *	Esf.	0,352	0,831	1.319,27	42,36	Mod.	0,94	0,160	0,936	0,26
3 *	Epp.	2,636	2,636	-	-	-	-	-	-	-
4 ^{ns}	Epp.	4,977	4,977	-	-	-	-	-	-	-
5 ^{ns}	Epp.	6,294	6,294	-	-	-	-	-	-	-
6 ^{ns}	Gau.	2,560	8,418	282,00	30,41	Mod.	0,99	3,620	0,810	0,22
7 ^{ns}	Gau.	3,760	10,230	323,00	36,75	Mod.	0,99	2,480	0,885	0,25
8 ^{ns}	Gau.	6,600	13,210	486,00	49,96	Mod.	0,99	2,410	0,898	0,20
9 ^{ns}	Esf.	4,670	14,070	773,00	33,19	Mod.	0,98	2,730	0,889	0,21

* = significativo a 5% pelo teste Kolmogorov-Smirnov; e^{ns} = não significativo.

Os ajustes dos semivariogramas (Tabela 7) demonstraram que o desenvolvimento da teca apresenta dependência espacial e predominância de melhores ajustes com o modelo gaussiano, exceto para a altura dominante, dos sete e aos nove anos, e para a área basal, a partir do terceiro ao quinto ano de idade, onde houve a presença de efeito pepita puro (Epp). Para estes casos, estas variáveis apresentaram-se aleatoriamente distribuídas na área de estudo (MOTOMIYA et al., 2006; ORTIZ et al., 2006).

O efeito pepita (C_0) representa a variância não explicada ou ao acaso, frequentemente causada por erros ou variações que não podem ser detectadas (VIEIRA, 2000). No presente estudo, foram verificados baixos valores de C_0 , o que demonstra a satisfatoriedade dos ajustes dos semivariogramas. Entretanto, foi verificado que o C_0 para o diâmetro a 1,3 m do solo aumentou com a idade, exceto no quinto ano.

Para as alturas total e dominante, o progressivo aumento do C_0 foi constatado até o sexto e quinto ano, respectivamente. Este comportamento evidencia que a continuidade espacial das variáveis foi afetada pela idade da floresta (KANEGAE JÚNIOR et al., 2007). Já para a área basal, houve forte redução do C_0 ao sexto e ao nono ano, possivelmente em decorrência dos desbastes que afetaram a estrutura espacial da variável.

As variáveis da teca apresentaram diferentes valores de alcance (A). Para o diâmetro a 1,3 m do solo foi observado alcance mínimo de 275 m e máximo de 1.200 m, para a altura total de 248 m a 668 m, altura dominante de 384 m a 659 m e área basal de 282 m a 1.319 m. Os quais indicam uma grande heterogeneidade das variáveis e representam as distâncias em que a utilização das análises geoestatísticas conduz as estimativas com maior precisão (CHIG et al., 2008).

Os ajustes dos semivariogramas demonstraram moderada dependência espacial, com variação de 34,79% a 49,97% para o diâmetro a 1,3 m do solo; 34,66% a 49,97% para a altura total; 39,56% a 47,41% para a altura dominante; e 30,41% a 49,96% para a área basal. Semelhantes aos observados por Kanegae Júnior et al. (2007) em

povoamentos de *Eucalyptus* sp. com 2,5 a 4,5 anos de idade. O que indica a necessidade de uma análise específica da continuidade espacial das variáveis da teca em cada idade.

Os valores dos coeficientes de regressão (R^2) dos semivariogramas foram acima de 0,92 e superiores aos observados por Lima et al. (2010) em povoamentos de *Eucalyptus camaldulensis* de 20 anos de idade, com uma grade de amostragem contendo 84 pontos alocados sistematicamente, sendo os R^2 de 0,77 para o perímetro à altura do peito e 0,73 para a altura total. Enquanto a validação cruzada demonstrou bons ajustes dos semivariogramas, com coeficiente linear (a) de 0,020 a 3,720, coeficiente angular (b) entre 0,733 e 1,040 e coeficiente de determinação da validação cruzada (R^2_{vc}) de 0,20 a 0,51. O que confirma que os modelos foram eficientes para as estimativas do desenvolvimento da teca em locais não amostrados.

Ajustados os semivariogramas, constatada a dependência espacial entre as amostras e a ausência de anisotropia, os valores das variáveis foram interpolados, por meio da krigagem ordinária, e confeccionada a distribuição espacial do diâmetro a 1,3 m do solo (Figura 15), das alturas total (Figura 16) e dominante (Figura 17) e da área basal (Figura 18), dos dois anos aos nove anos de idade.

Os valores das variáveis da teca foram superiores ou semelhantes aos observados em povoamentos da espécie na Ásia (BAILEY e HARJANTO, 2005; SINGH e ZENG, 2008; SHUKLA, 2009), África (DUPUY et al., 1999; NUNIFU e MURCHISON, 1999; BEKKER et al., 2004; WATANABE et al., 2009) e América Central (MONTERO, 1995; VALLEJOS BARRA, 1996; BERMEJO et al., 2004; KANNINEN et al., 2004; MOLLINEDO et al., 2005; VAIDES et al., 2005; GONZÁLEZ, 2010). O que demonstra que a região de Nossa Senhora do Livramento - MT apresenta capacidade produtiva para o estabelecimento de plantios homogêneos de teca.

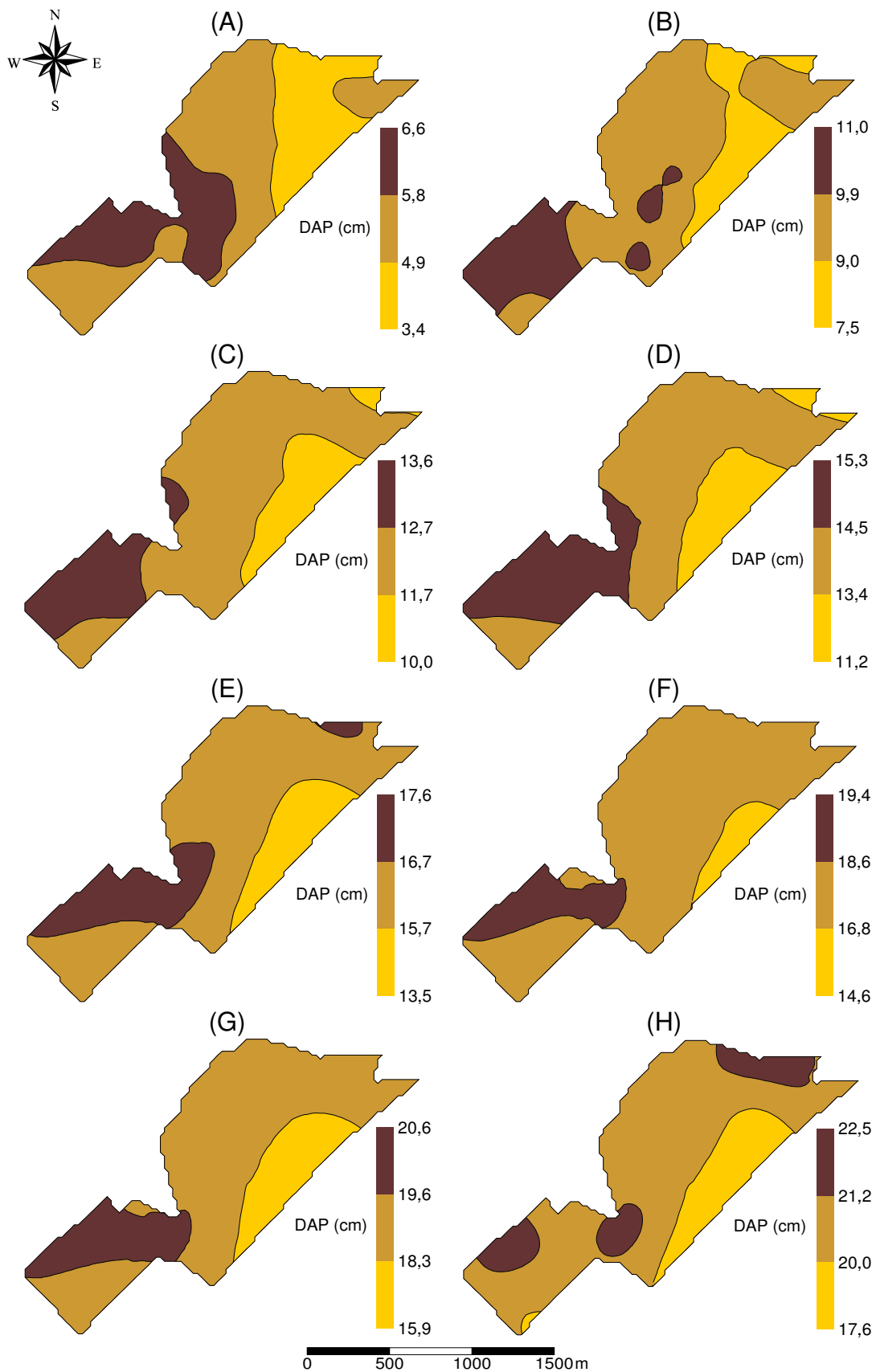


FIGURA 15 – DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO DIÂMETRO A 1,3 m DO SOLO (DAP) PARA *Tectona grandis* DE DOIS A NOVE ANOS DE IDADE EM NOSSA SENHORA DO LIVRAMENTO - MT.

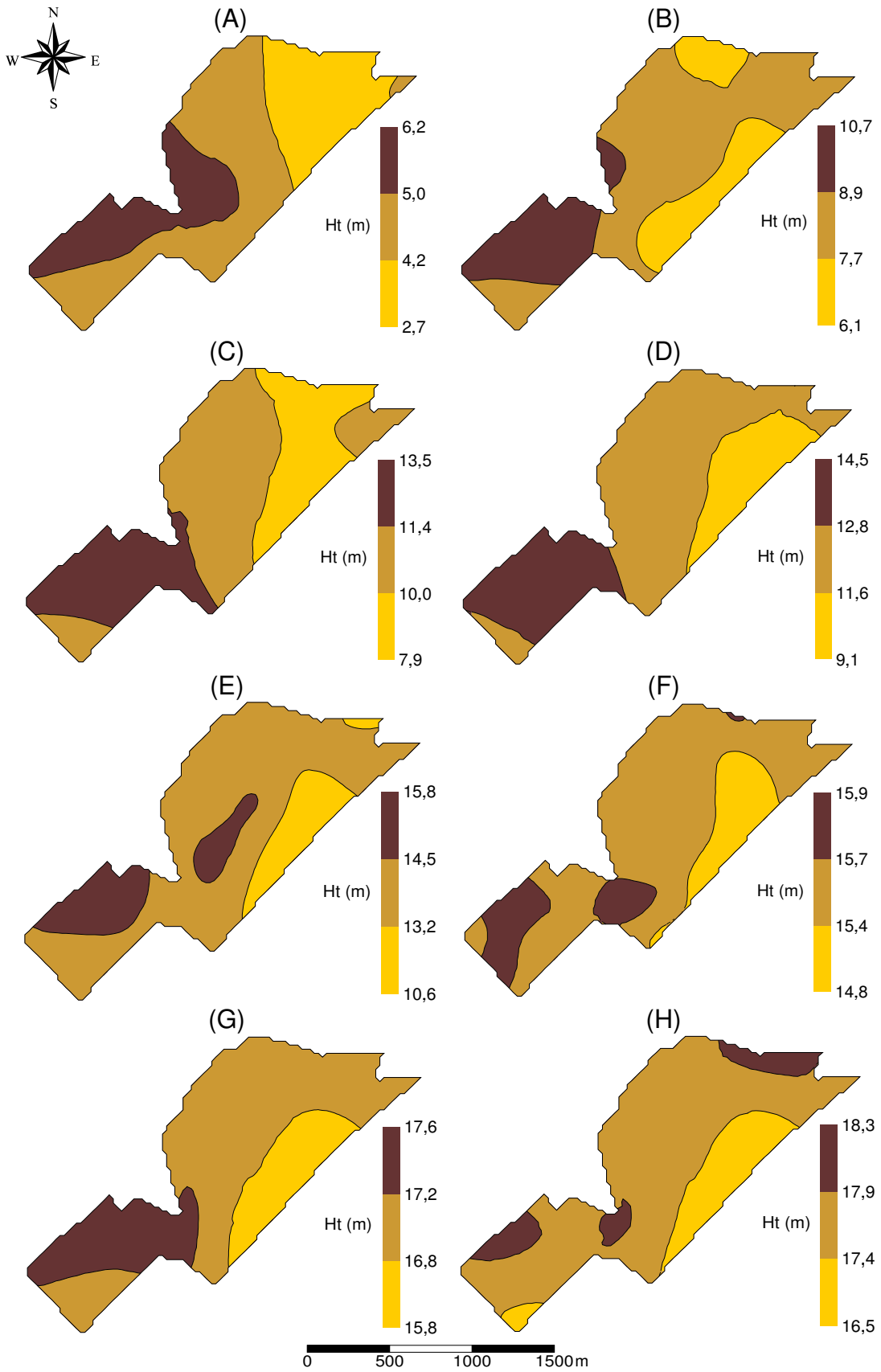


FIGURA 16 – DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA ALTURA TOTAL (Ht) PARA *Tectona grandis* DE DOIS A NOVE ANOS DE IDADE EM NOSSA SENHORA DO LIVRAMENTO - MT.

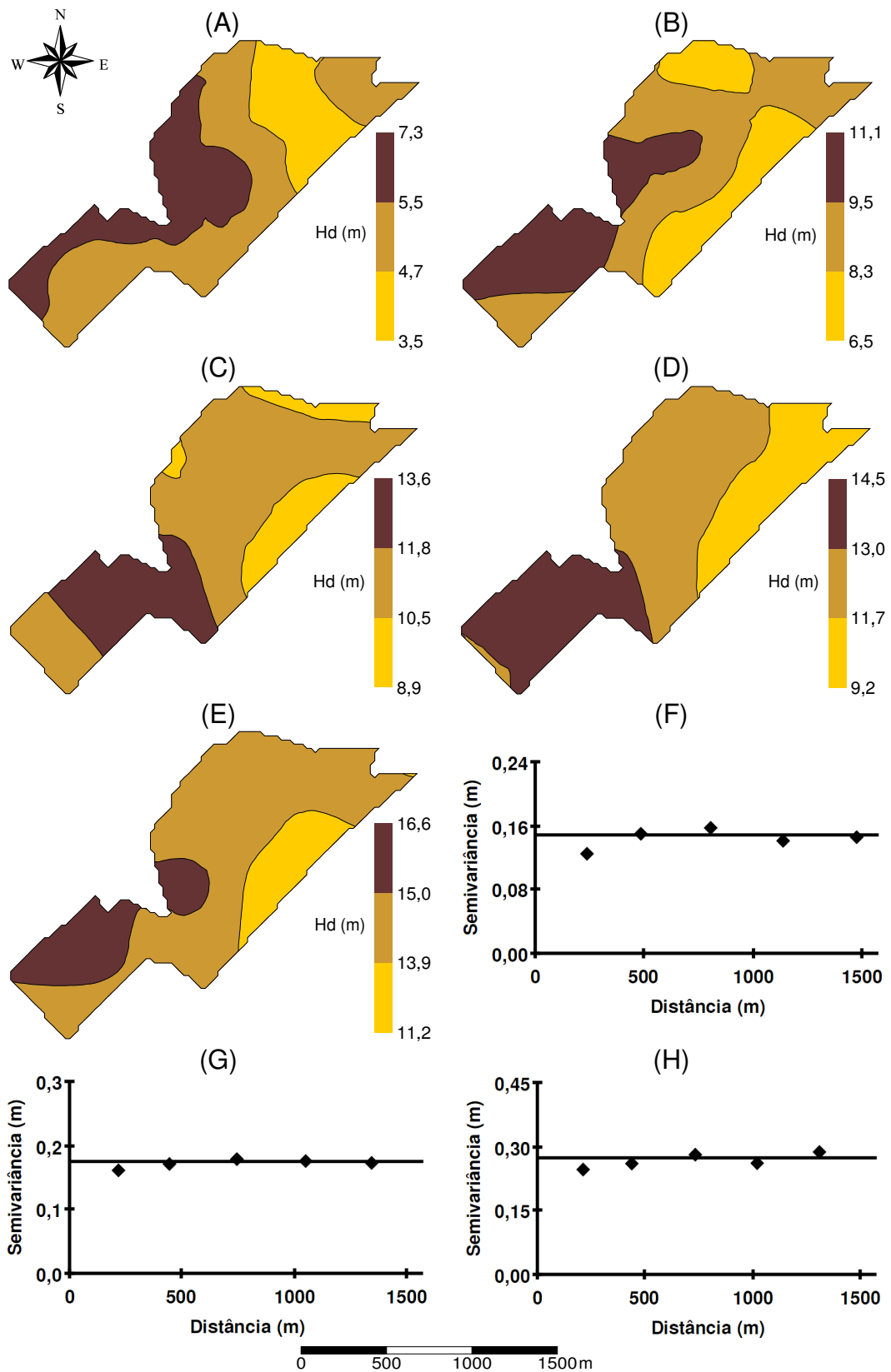


FIGURA 17 – DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA ALTURA DOMINANTE (Hd) PARA *Tectona grandis* DE DOIS A NOVE ANOS DE IDADE EM NOSSA SENHORA DO LIVRAMENTO - MT.

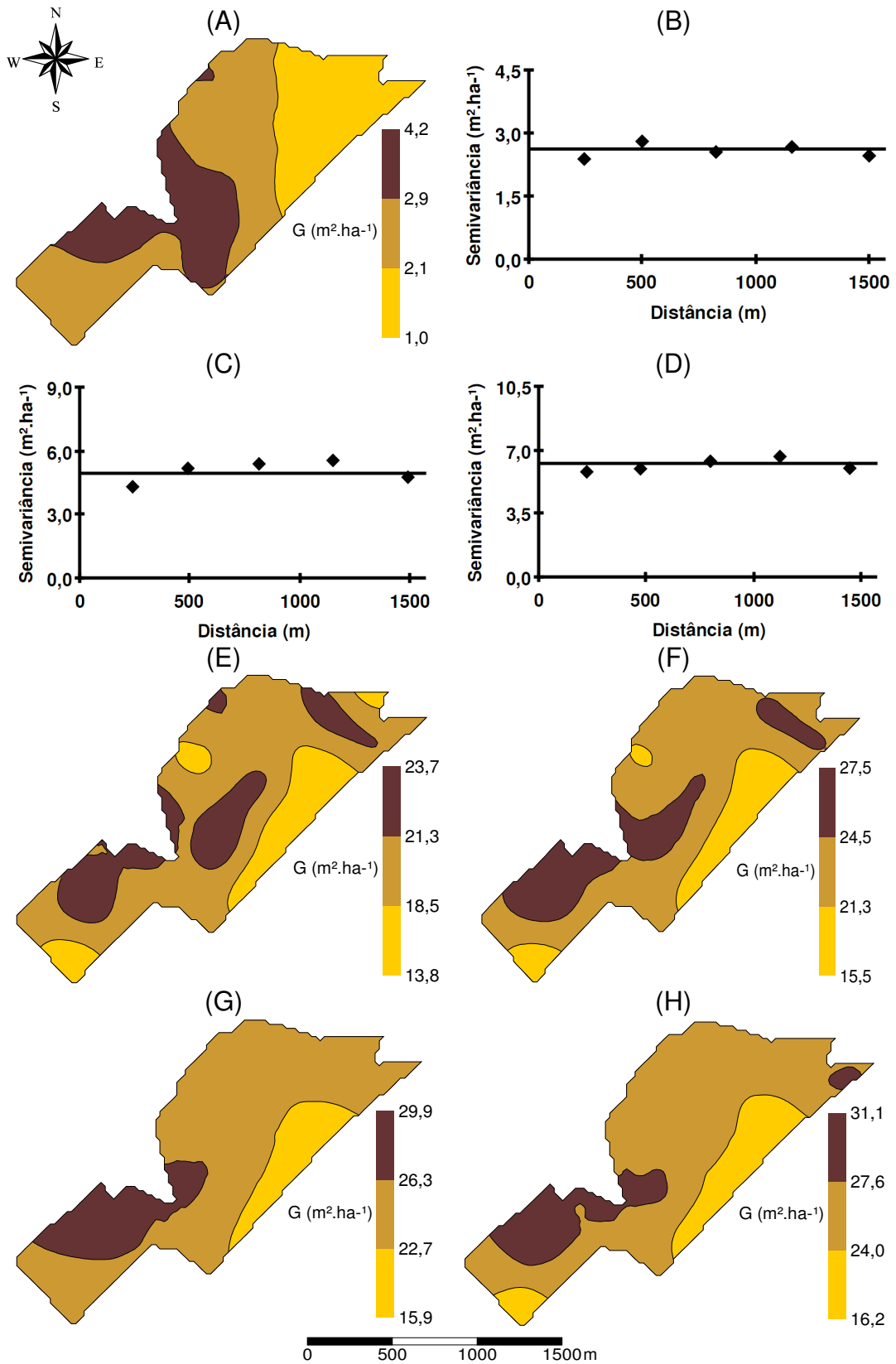


FIGURA 18 – DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA ÁREA BASAL (G) PARA *Tectona grandis* DE DOIS A NOVE ANOS DE IDADE EM NOSSA SENHORA DO LIVRAMENTO - MT.

A distribuição espacial do diâmetro a 1,3 m do solo ficou caracterizada como pouco alterada entre as idades, apenas com mudanças mais significativas aos dois (Figura 15A) e aos três anos (Figura 15B). Para as alturas total (Figura 16) e dominante (Figura 17) e área basal (Figura 18) foram constatados comportamentos variáveis da espacialização em relação às idades. De maneira geral, as regiões Leste e Sudoeste apresentaram, respectivamente, os menores e maiores valores das variáveis da teca, com semelhança espacial aos atributos pH (Figura 7A) e Ca (Figura 10A), da análise efetuadas aos dois anos de idade.

A maior similaridade com o pH do solo deve-se ao fato deste atributo ser relevante ao crescimento das plantas, pois está diretamente relacionado com a disponibilidade de nutrientes e é um potencial indicador da qualidade do solo (LIMA et al., 2010). Enquanto para o Ca, a correlação espacial constatada se deve ao caráter calcícola da teca, sendo altamente exigente neste elemento (MATRICARDI, 1989; MÁRQUEZ et al., 1993; TANAKA et al., 1998; GONZÁLEZ, 2004).

Não foi observada forte semelhança espacial das variáveis da teca aos dois e aos três anos de idade com os atributos químicos do solo. Neste período, o desenvolvimento da espécie está efetivamente mais relacionado às práticas de implantação, como o preparo físico do solo, além da disponibilidade de espaço aéreo e radicular. Apesar das operações de desrama iniciarem aos dois anos de idade, a massa vegetal desramada é pequena e há muito espaço de crescimento disponível, pois, a copa formada está restrita apenas às folhas aderidas ao fuste principal. A partir dos três anos, a emissão de galhos é mais intensa e efetivamente inicia-se a formação da copa, com o aumento do volume de biomassa desramada na segunda operação e, de forma crescente, com a terceira desrama aos quatro anos. Nesta idade, as copas apresentam um contato maior e, finalmente, aos cinco anos é observado o fechamento do dossel.

Além disso, a espacialização diferenciada nos primeiros anos de plantio indica que, no período de estabelecimento, a taxa de acúmulo de nutrientes pelas árvores é pequena e, somente após a plena adaptação, segue-se o intenso crescimento e acúmulo de nutrientes, com

elevadas taxas de absorção que se relacionam diretamente com a idade (GONÇALVES et al., 2000). Assim, à medida que aumenta o processo de competição, os fatores do sítio se manifestam na forma de diferenças espaciais que afetam a estrutura da continuidade espacial do povoamento florestal (KANEAE JÚNIOR et al., 2007).

Não houve similaridade espacial das variáveis da teca com o P do solo (Figura 8A). No entanto, ficou evidente que o menor crescimento da teca se concentrou na região Leste da área de estudo, onde foram observados os menores níveis de pH (Figura 7A), K (Figura 9A), Ca (Figura 10A), Mg (Figura 11A) e MO no solo (Figura 13A). Além da relação inversa com o Al (Figura 12A).

Não foram observadas dependências espaciais da altura dominante aos sete (Figura 17F), oito (Figura 17G) e nove anos de idade (Figura 17H). Nestes casos, a semivariância é constante e igual ao patamar para qualquer distância, o que representa a ausência total de dependência espacial, denominado de efeito pepita puro (VIEIRA, 2000), e indica que as diferenças entre os valores medidos estão distribuídos ao acaso e não apresentam um padrão espacial possível para confeccionar os mapas temáticos (ORTIZ et al., 2006) e, neste caso, métodos alternativos ao de Assmann (1961) poderiam ser utilizados para a determinação da altura dominante para as unidades amostrais, como os de Naslund, que considera a média aritmética das alturas das árvores com diâmetro superior a média diamétrica + 1,5 vezes o respectivo desvio padrão, e o método de Weise, que corresponde a média aritmética das alturas das 20% árvores de maior diâmetro por hectare (SCOLFORO e THIERSCH, 2004).

Enquanto para a área basal, a ausência de dependência espacial ocorreu no terceiro (Figura 18B), quarto (Figura 18C) e quinto ano de idade (Figura 18D), o que indica que a variabilidade é muito grande e o esquema de amostragem não pode detectar, sendo necessárias parcelas amostrais mais próximas e em maior intensidade (ABREU et al., 2003). Possivelmente, nos estágios iniciais de desenvolvimento pré-desbaste, a estrutura da floresta é muito heterogênea, pois o desenvolvimento da teca é fortemente afetado pela

competição intra-específica (HÉRNANDEZ et al., 1993), onde há a redução da luz lateral individual, pelo contato entre as copas das árvores, e há menor disponibilidade de água e nutrientes no solo (CALDEIRA e OLIVEIRA, 2008).

De modo geral, não foi observada uma correlação espacial elevada entre os variáveis de solo e da teca, semelhante ao constatado por Rufino et al. (2006) em dois povoamentos de *Eucalyptus* sp. com 0,8 e 1,5 anos de idade. O que, segundo Montezano et al. (2006), se deve ao fato de que, normalmente, não é possível isolar ou medir todos os fatores bióticos e abióticos que influenciam o desenvolvimento de uma cultura nos estudos em escala de campo.

4. CONCLUSÃO

A distribuição espacial dos atributos químicos do solo e do desenvolvimento da teca, elaborados por meio da geoestatística, apresentam precisão estatística e diferentes padrões e dinâmicas espaciais.

Individualmente, os atributos químicos do solo não apresentam forte correlação espacial com o desenvolvimento da teca, entretanto, há maior semelhança na distribuição espacial do diâmetro a 1,3 m do solo e da altura total com o pH e o cálcio do solo.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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**, v. 25, n. 2, p. 107-113, 2002.

ABREU, S. L. de; REICHERT, J. M.; SILVA, V. R. da; REINERT, D. J.; BLUME, E. Variabilidade espacial de propriedades físico-hídricas do solo, da produtividade e da qualidade de grãos de trigo em Argissolo Franco Arenoso sob plantio direto. **Ciência Rural**, v. 33, n. 2, p. 275-282, 2003.

ADEJUWON, J. O.; EKANADE, O. Soil changes consequent upon the replacement of tropical rain forest by plantations of *Gmelina arborea*, *Tectona grandis* and *Terminalia superba*. **Journal of World Forest Resource Management**, v. 3, p. 47-59, 1988.

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**, v. 20, n. 4, p. 559-568, 2010.

ALMEIDA, R. B. de. **Análise comparativa do uso da estatística clássica e a geoestatística na espacialização da região semi-árida**. 2008. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) – Universidade Federal da Bahia, Salvador – BA.

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**, v. 31, n. 3-4, p. 355-373, 2000.

ANDRIOTTI, J. L. S. **Fundamentos de Estatística e Geoestatística**. São Leopoldo: UNISINOS, 2003. 165 p.

ASSMANN, E. **The principles of forest yield study**. New York: Pergamon Press, 1961. 506 p.

AWOTOYE, O. O.; EKANADE, O.; AIROUHUDION, O. O. Degradation of the soil physicochemical properties resulting from continuous logging of *Gmelina arborea* and *Tectona grandis* plantations. **African Journal of Agricultural Research**, v. 4, n. 11, p. 1317-1324, 2009.

AZEVEDO, E. C. de. **Uso da geoestatística e de recursos de geoprocessamento no diagnóstico da degradação de um solo argiloso sob pastagem no Estado de Mato Grosso**. 2004. 158 f. Dissertação (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP.

BAILEY, J. D.; HARJANTO, N. A. Teak (*Tectona grandis* L.) tree growth, stem quality and health in coppiced plantations in Java, Indonesia. **New Forests**, v. 30, p. 55-65, 2005.

BARBIERI, D. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Argissolo para aplicação de insumos à taxa variável em diferentes formas de relevo. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 28, n. 4, p. 645-653, 2008.

BEDREGAL, M. A. P. **Análise estatística e geoestatística de dados geoquímicos de superfície aplicada a exploração de hidrocarbonetos**. 2008. 156 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro – RJ.

BEHLING, M. **Nutrição, partição de biomassa e crescimento de povoamentos de teca em Tangará da Serra-MT**. 2009. 176 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG.

BEKKER, C.; RANCE, W.; MONTEUUIS, O. Teak in Tanzania: II. The Kilombero Valley Teak Company. **Bois et Forêts des Tropiques**, v. 1, n. 279, p. 11-21, 2004.

BERMEJO, I.; CAÑELLAS, I.; SAN MIGUEL, A. Growth and yield models for teak plantations in Costa Rica. **Forest Ecology and Management**, v. 189, p. 97-110, 2004.

BERNER, P. G. M.; VIEIRA, S. R.; LIMA, E.; ANJOS, L. H. C. dos. Variabilidade espacial de propriedades físicas e químicas de um Cambissolo sob dois sistemas de manejo de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do S**, v. 31, p. 837-844, 2007.

BOGNOLA, I. A.; RIBEIRO JÚNIOR, P. J.; Alves da SILVA, E. A.; LINGNAU, C.; HIGA, A. R. Modelagem uni e bivariada da variabilidade espacial de rendimento de *Pinus taeda* L. **Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 2, 2008.

CALDEIRA, S. F.; CALDEIRA, S. A. F.; MENDONÇA, E. A. F. de; DINIZ, N. N. Caracterização e avaliação da qualidade dos frutos de teca (*Tectona grandis* L.f.) produzidos no Mato Grosso. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 22, n. 1, p. 216-224, 2000.

CALDEIRA, S. F.; OLIVEIRA, D. L. C. Desbaste seletivo em povoamentos de *Tectona grandis* com diferentes idades. **Acta Amazonica**, v. 38, n. 2, p. 223-228, 2008.

CAMARGO, L. A.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; HORVAT, R. A. Variabilidade espacial de atributos mineralógicos de um Latossolo sob diferentes formas do relevo. I - Mineralogia da fração argila. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2269-2277, 2008.

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**, v. 58, p. 1501-1511, 1994.

CAMPELLO 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 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá – MT.

CARVALHO, J. R. P. de; SILVEIRA, P. M. da; VIEIRA, S. R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 8, p. 1151-1159, 2002.

CARVALHO, M. P.; TAKEDA, E. Y.; FREDDI, O. S. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em Vitória Brasil (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 695-703, 2003.

CASTELLANOS, A. F. R. **Efecto del establecimiento de plantaciones forestales de Teca (*Tectona grandis* L.f.) en áreas de potrero sobre las características del suelo en Petén, Guatemala.** 2006. 105 f. Dissertação (Mestrado em Agroforesteria Tropical) – Centro Agronômico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba – Costa Rica.

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

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

CENTENO, J. C. El manejo de las plantaciones de teca. **Actualidad Forestal Tropical**, v. 5, n. 2, p. 10-12, 1997.

CHAMSHAMA, S. A. O.; MUGASHA, A. G.; SANGA, J. M. Comparison of some chemical properties of soil under teak and natural forests at Mtibwa, Morogoro, Tanzania. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 12, n. 1, p. 92-103, 2000.

CHAVES, E.; FONSECA, W. **Teca (*Tectona grandis* L.f.) árbol de uso múltiple em América Central.** Turrialba: CATIE, 1991. 47 p. (Série técnica: Informe técnico, 179).

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**, v. 38, n. 4, p. 715-722, 2008.

CORÁ, J. E.; ARAUJO, A. V.; PEREIRA, G. T.; BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 1013-1021, 2004.

CORÁ, J. E.; BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo antes e após calagem e fosfatagem em doses variadas na cultura de cana-de-açúcar. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 26, n. 2, p. 374-387, 2006.

DINAKARAN, J.; KRISHNAYYA, N. S. R. Variations in soil organic carbon and litter decomposition across different tropical vegetal covers. **Current Science**, v. 99, n. 8, p. 1051-1060, 2010.

DINIZ, F. S. **Métodos de amostragem e geoestatística aplicados ao inventário florestal.** 2007. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG.

DRESCHER, R. **Crescimento e produção de *Tectona grandis* Linn. F.,**

em povoamentos jovens de duas regiões do Estado de Mato Grosso. 2004. 133 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS.

DUPUY, B.; MAÎTRE, H.; KANGA, A. N. Table de production du teck (*Tectona grandis*): L'exemple de la Côte d'Ivoire. **Bois et Forêts des Tropiques**, v. 3, n. 261, p. 5-16, 1999.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos.** Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. 306 p.

FARACO, M. A.; URIBE-OPAZO, M. A.; SILVA, E. A. A. da; JOHANN, J. A.; BORSSOI, J. A. Seleção de modelos de variabilidade espacial para elaboração de mapas temáticos de atributos físicos do solo e produtividade da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 463-476, 2008.

GOLDEN SOFTWARE. **Surfer: user's guide.** Colorado: Golden Software, 2002. 664 p.

GOMES, J. B. V.; BOLFE, E. L.; CURI, N.; FONTES, H. R.; BARRETO, A. C.; VIANA, R. D. Variabilidade espacial de atributos de solos em unidades de manejo em área piloto de produção integrada de coco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2471-2482, 2008.

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**, v. 31, p. 435-443, 2007.

GONÇALVES, J. L. de M.; STAPE, J. L.; BENEDETTI, V.; FESSEL, V. A. G.; GAVA, J. L. Reflexos do cultivo mínimo e intensivo do solo em sua fertilidade e nutrição das árvores. In: GONÇALVES, J. L. de M.; BENEDETTI, V. (Org.). **Nutrição e Fertilização Florestal.** Piracicaba: IPEF, 2000. p. 01-57.

GONZÁLEZ, S. A. S. Relación del suelo con el crecimiento inicial y **contenido foliar de teca (*Tectona grandis*), y adaptación de leguminosas para control de arvenses bajo un sistema fertirriego en Campeche, México.** 2010. 90 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Ecológica) – Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba – Costa Rica.

GONZÁLEZ, W. F. **Manual para productores de teca (*Tectona grandis* L. f) en Costa Rica.** Heredia: Costa Rica, 2004. 121 p.

GUEDES, L. P. C.; URIBE-OPAZO, M. A.; JOHANN, J. A.; SOUZA, E. G.

de. Anisotropia no estudo da variabilidade espacial de algumas variáveis químicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2217-2226, 2008.

KANEGAE JUNIOR, H.; MELLO, J. M. de; SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D. de. Avaliação da continuidade espacial de características dendrométricas em diferentes idades de povoamentos clonais de *Eucalyptus* sp. **Revista Árvore**, v. 31, n. 5, p. 859-866, 2007.

KANEGAE JUNIOR, H.; SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M. de; OLIVEIRA, A. D. de. Avaliação de interpoladores estatísticos e determinísticos como instrumento de estratificação de povoamentos clonais de *Eucalyptus* sp. **Cerne**, v. 12, n. 2, p. 123-136, 2006.

KANNINEN, M.; PÉREZ, D.; MONTERO, M.; VÍQUEZ, E. Intensity and timing of the first thinning of *Tectona grandis* plantations in Costa Rica: results of a thinning trial. **Forest Ecology and Management**, n. 203, 89-99, 2004.

KAOSA-ARD, A. Overview of problems in teak plantation establishment. In: REGIONAL SEMINAR ON TEAK, 2., 1998, Yangon. **Proceeding...** Bangkok: FAO, 1998, p. 49-59.

LANDIM, P. M. B. **GEOEAS**: Introdução à análise geoestatística. Rio Claro: UNESP/IGCE, 2003. 42 p.

LEE, W. K.; BIGING, G. S.; SON, Y.; BYUN, W. H.; LEE, K. H.; SON, Y. M.; SEO, J. H. Geostatistical analysis of regional differences in stem taper form of *Pinus densiflora* in central Korea. **Ecological Research**, v. 21, p. 513-525, 2006.

LIMA, C. G. da R.; CARVALHO, M. de P. e; NARIMATSU, K. C. P.; SILVA, M. G. da; QUEIROZ, H. A. de. Atributos físico-químicos de um Latossolo do cerrado brasileiro e sua relação com características dendrométricas do eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 163-173, 2010.

MACHADO, L. de O.; LANA, Â. 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, p. 591-599, 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**, v. 43, n. 1, p. 37-41, 1993.

MATA, M. M. **Factores de sitio que influyen en el crecimiento de *Tectona grandis* L. f. y *Bombacopsis quinata* (Jacq.) Dugand, en Costa Rica**. 1999. 77 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidad Austral de Chile, Valdivia – Chile.

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 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade de São Paulo, Piracicaba – SP.

MELLO, J. M. de; BATISTA, J. L. F.; OLIVEIRA, M. S. de.; RIBEIRO JÚNIOR, P. J. Estudo da dependência espacial de características dendrométricas para *Eucalyptus grandis* **Cerne**, v. 11, n. 2, p. 113-126, 2005.

MELLO, J. M. de; BATISTA, J. L. F.; RIBEIRO JÚNIOR, P. J.; OLIVEIRA, M. S. de. Ajuste e seleção de modelos espaciais de semivariograma visando à estimativa volumétrica de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, n. 69, p. 25-37, 2005.

MELLO, J. M. de; DINIZ, F. S.; OLIVEIRA, A. D. de; SCOLFORO, J. R. S.; ACERBI JÚNIOR, F. W.; THIERSCH, C. R. Métodos de amostragem e geoestatística para estimativa do número de fustes e volume em plantios de *Eucalyptus grandis*. **Floresta**, v. 39, n. 1, p. 157-166, 2009.

MELLO, J. M. de; OLIVEIRA, M. S. de.; BATISTA, J. L. F.; JUSTINIANO JÚNIOR, P. R.; KANEGAE JÚNIOR, H. Uso do estimador geoestatístico para predição volumétrica por talhão. **Floresta**, v. 36, n. 2, p. 251-260, 2006.

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 f. Dissertação (Mestrado em Agroforestería Tropical) – Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba – Costa Rica.

MOLLINEDO, M.; UGALDE, L.; ALVARADO, A.; VERJANS, J. M.; RUDY, L. C. Relación suelo-árbol y factores de sitio, en plantaciones jóvenes de teca (*Tectona grandis*), en la Zona Oeste de la Cuenca del Canal de Panamá. **Agronomía Costarricense**, v. 29, n. 1, p. 67-75, 2005.

MONTERO, M. Dinámica de crecimiento de teca (*Tectona grandis*) bajo fertilización en El Limón de Chupampa, Herrera, Panamá. In. SEMINARIO TÉCNICO SOBRE FERTILIZACIÓN FORESTAL, 1., 1995, Santiago. **Anais...** Veraguas: CATIE/ INRENARE, 1995, p. 17-29.

MONTERO, M. M.; UGALDE, L.; KANNINEN, M. Relación del índice de sitio con los factores que influyen en el crecimiento de *Tectona grandis* L. F. y *Bombacopsis quinata* (Jacq.) Dugand, en Costa Rica. **Revista Forestal Centroamericana**, n. 35, p. 13-18, 2001.

MONTEZANO, Z. F.; CORAZZA, E. J.; MURAOKA, T. Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada e manejada homoganeamente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 839-847, 2006.

MOTOMIYA, A. V. de A.; CORÁ, J. E.; PEREIRA, G. T. Uso da krigagem

indicatriz na avaliação de indicadores de fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 485-496, 2006.

NANOS, N.; CALAMA, R.; MONTERO, G.; GIL, L. Geostatistical prediction of height/diameter models. **Forest Ecology and Management**, n. 195, p. 221-235, 2004.

NANOS, N.; MONTERO, G. Spatial prediction of diameter distribution models. **Forest Ecology and Management**, n. 161, p. 147-158, 2002.

NUNIFU, T. K.; MURCHISON, H. G. Provisional yield models of Teak (*Tectona grandis* Linn F.) plantations in northern Ghana. **Forest Ecology and Management**, n. 120, 171-178, 1999.

NWOBOSHI, L. C. Growth and nutrient requirements in a teak plantation age series in Nigeria. II. Nutrient accumulation and minimum annual requirements. **Forest Science**, v. 30, n. 1, p. 35-40, 1984.

OMBINA, C. A. **Soil characterization for teak (*Tectona grandis*) plantations in Nzara District of South Sudan**. 2008. 135 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Université des Sciences et Techniques de Masuku – Gabão.

ORTIZ, J. L.; VETTORAZZI, C. A.; COUTO, H. T. Z. do; GONÇALVES, J. L. de M. Relações espaciais entre o potencial produtivo de um povoamento de eucalipto e atributos do solo e do relevo. **Scientia Forestalis**, n. 72, p. 67-79, 2006.

PEEL, M.C.; FINLAYSON, B.L.; MCMAHON, T.A. Updated world map of the Köppen–Geiger climate classification. **Hydrology Earth System Sciences**, v.11, p.1633–1644, 2007.

REICHERT, J. M.; DARIVA, T. A.; REINERT, D. J.; SILVA, V. R. da. Variabilidade espacial de Planossolo e produtividade de soja em várzea sistematizada: análise geoestatística e análise de regressão. **Ciência Rural**, v. 38, n. 4, p. 981-988, 2008.

ROBERTSON, G. P. **GS+**: Geostatistics for the Environmental Sciences. Plainwell: Gamma Design Software, 2008. 179 p.

ROQUE, C. G.; CENTURION, J. F.; PEREIRA, G. T.; BEUTLER, A. N.; FREDDI, O. da S.; ANDRIOLI, I. Variabilidade espacial de atributos químicos em Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com seringueira. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, v. 3, p. 26-45, 2005.

RUFINO, T. M. C.; THIERSCH, C. R.; FERREIRA, S. O.; KANEGAE JUNIOR, H.; FAIS, D. Uso da Geoestatística no estudo da relação entre variáveis dentrométricas de povoamentos de *Eucalyptus* sp. e atributos do solo. **Ambiência**, v. 2, n. 1, p. 83-93, 2006.

SCOLFORO, J. R. S.; THIERSCH, C. R. **Biometria Florestal**: medição, volumetria e gravimetria. Lavras: UFLA/FAEPE, 2004. 285 p.

SHUKLA, P. K. Nutrient dynamics of Teak plantations and their impact on soil productivity - A case study from India. In: WORLD FORESTRY CONGRESS, 13., 2009, Buenos Aires. **Anais...** Buenos Aires, 2009, 11 p.

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

SILVA, F. M. da; SOUZA, Z. M. de; FIGUEIREDO, C. A. P. de; MARQUES JÚNIOR, J.; MACHADO, R. V. Variabilidade espacial de atributos químicos e de produtividade na cultura do café. **Ciência Rural**, v. 37, n. 2, p. 401-407, 2007.

SINGH, A. N.; ZENG, D. H. Effects of indigenous woody plantations on total nutrients of mine spoil in Singrauli Coalfield, India. **Journal of Forestry Research**, v. 19, n. 3, p. 199-203, 2008.

SOUZA, E. R. de ; MONTENEGRO, A. A. de A.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SANTOS, T. E. M. dos; ANDRADE, T. da S.; PEDROSA, E. R. Variabilidade espacial das frações granulométricas e da salinidade em um Neossolo Flúvico do semi-árido. **Ciência Rural**, v. 38, n. 2, p. 698-704, 2008.

STENDAHL, J. Spatial variability within managed forest stands. In: INTERNATIONAL PRECISION FORESTRY COOPERATIVE SYMPOSIUM, 1., 2001, Seattle. **Proceeding...** Seattle: Institute of Forest Resource, 2001, p. 35-42.

SUZUKI, R.; TAKEDA, S.; THEIN, H. M. Chronosequence changes in soil properties of teak (*Tectona grandis*) plantations in the Bago Mountains, Myanmar. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 19, n. 4, p. 207–217, 2007.

TANAKA, N.; HAMAZAKI, T.; VACHARANGKURA, T. Distribution, Growth and site requirements of teak. **Japan Agricultural Research Quarterly**, v. 32, p. 65-77, 1998.

VAIDES, E.; UGALDE, L.; GALLOWAY, G. Crecimiento y productividad de teca en plantaciones forestales jóvenes en Guatemala. **Recursos Naturales y Ambiente**, n. 46, p. 137-145, 2005.

VALLEJOS BARRA, O. S. **Productividad y relaciones del índice de sitio con variables fisiográficas, edafoclimáticas y foliares para *Tectona grandis* L.F., *Bombacopsis quinatum* (Jacq.) Dugand y *Gmelina arborea* Roxb. en Costa Rica.** 1996. 168 f. Dissertação (Mestrado em Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales) – Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba – Costa Rica.

VÁSQUEZ, W. C.; UGALDE, L. A. A. **Rendimiento y calidad de sitio para *Gmelina arborea*, *Tectona grandis*, *Bombacopsis quinatum* y *Pinus caribaea* en Guanacaste, Costa Rica.** Turrialba: CATIE, 1995. 40

p. (Serie técnica: Informe técnico, n. 256).

VIEIRA, S. R. Uso de geoestatística em estudos de variabilidade espacial de propriedades do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Org.). **Tópicos em ciência do solo v.1**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p. 01-54.

WATANABE, Y.; MASUNAGA, T.; OWUSU-SEKYERE, E.; BURI, M. M.; OLADELE, O. I.; WAKATSUKI, T. Evaluation of growth and carbon storage as influenced by soil chemical properties and moisture on teak (*Tectona grandis*) in Ashanti region, Ghana **Journal of Food, Agriculture & Environment**, v. 7, n. 2, p. 640-650, 2009.

ZECH, W.; DRECHSEL, P. Relationships between growth, mineral nutrition and site factors of teak (*Tectona grandis*) plantations in the rainforest zone of Liberia. **Forest Ecology and Management**, v. 41, n. 3-4, p. 221-235. 1991.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As ferramentas estatísticas de correlação linear e canônica e a geoestatística da silvicultura de precisão possibilitam o estudo dos efeitos dos principais atributos químicos do solo no desenvolvimento de *Tectona grandis*, em um povoamento homogêneo no município de Nossa Senhora do Livramento, região Sul do estado de Mato Grosso, Brasil. Além da definição de zonas homogêneas de manejo para a adoção de práticas silviculturais de precisão durante a rotação da cultura, como a aplicação de insumos de forma localizada e a definição do regime de desbastes e da demarcação dos limites das áreas dos povoamentos considerando o mapeamento das características edáficas, da capacidade produtiva dos sítios florestais e da produção das florestas.

Para futuros trabalhos, recomenda-se a aplicação e a avaliação de ferramentas geoestatísticas mais avançadas, como o cross semivariograma e a cokrigagem, para o estudo das relações espaciais do desenvolvimento da teca com as características edáficas, além da possibilidade do uso para a análise dos efeitos das propriedades físicas e hídricas dos solos para a cultura.