



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

MARIO LIMA DOS SANTOS

**CAPACIDADE PRODUTIVA E SUA VARIAÇÃO ESPACIAL DE PLANTIOS
CLONAIIS DE *Tectona grandis* Linn F. EM CAPITÃO POÇO, ESTADO DO PARÁ,
BRASIL.**

**BELÉM
2018**

MARIO LIMA DOS SANTOS

**CAPACIDADE PRODUTIVA E SUA VARIAÇÃO ESPACIAL DE PLANTIOS
CLONAIIS DE *Tectona grandis* Linn F. EM CAPITÃO POÇO, ESTADO DO PARÁ,
BRASIL.**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia como parte das exigências do Curso de Mestrado em Ciências Florestais: Área de concentração manejo de ecossistemas de florestas nativas e plantadas, para obtenção do título de mestre.

Orientador: Dr. José Natalino Macedo Silva

Co-orientadora: Dra. Maria de Nazaré Martins Maciel

BELÉM

2018

Santos, Mario Lima dos

Capacidade produtiva e sua variação espacial de plantios clonais de *Tectona grandis* Linn F. em Capitão Poço, estado do Pará, Brasil / Mario Lima dos Santos. – Belém, 2018.

63 f.

Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais – Concentração Manejo de Ecossistemas de Florestas Nativas e Plantadas) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2018.

Orientador: Dr. José Natalino Macedo Silva.

1. Manejo florestal 2. *Tectona grandis* Linn F – Capacidade produtiva 3. *Tectona grandis* Linn F – Capitão Poço 4. *Tectona grandis* Linn F - Variáveis dendrométricas I. Silva, José Natalino Macedo (orient.) II. Título.

CDD – 634.92

MARIO LIMA DOS SANTOS

**CAPACIDADE PRODUTIVA E SUA VARIAÇÃO ESPACIAL DE PLANTIOS
CLONAIIS DE *Tectona grandis* Linn F. EM CAPITÃO POÇO, ESTADO DO PARÁ,
BRASIL.**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia como parte das exigências do Curso de Mestrado em Ciências Florestais: Área de concentração manejo de ecossistemas de florestas nativas e plantadas.

23 de fevereiro de 2018.

Banca Examinadora



Dr. José Natalino Macedo Silva - Orientador
Universidade Federal Rural da Amazônia



Dra. Rosangela de Jesus Sousa (1º examinador)
Universidade Federal Rural da Amazônia



Dr. Paulo Luiz Contente de Barros (2º examinador)
Universidade Federal Rural da Amazônia



Dr. Fabiano Emmert (3º examinador)
Universidade Federal Rural da Amazônia

Dedico este trabalho aos familiares, em especial a minha mãe Ivanilde Lima e irmã Karine Lima, pois sempre me apoiaram e me incentivaram a crescer nesta jornada.

AGRADECIMENTOS

O autor deseja expressar, em primeiro lugar, seus agradecimentos a Deus, pois sem ele não teria força para chegar até aqui.

A minha mãe Ivanilde Lima e irmã Karine Lima pelo amor, educação e compreensão que me deram para a realização deste sonho.

Ao meu orientador, José Natalino Macedo Silva, por sua orientação, dedicação, estímulos e cobrança do melhor de cada aluno.

À professora Maria de Nazaré Martins Maciel pela sua extraordinária competência e pelo auxílio neste trabalho.

À professora Rosangela Sousa por ser uma pessoa maravilhosa em minha vida, como uma mãe nestes 7 anos de convivência na universidade com muitos ensinamentos e me incentivar a fazer o mestrado.

Ao professor Paulo Contente, por todos os ensinamentos repassados, sendo um verdadeiro mentor.

Ao professor Fabiano Emmert pela colaboração neste trabalho de grande relevância.

À empresa Tietê Agrícola Ltda. em especial ao Sr. Luiz Gonzaga e Edson, por todo apoio logístico e disponibilização dos dados.

Ao Engenheiro Florestal Jorge Cruz por proporcionar o conhecimento da área de estudo e coleta de dados.

Ao Engenheiro Florestal Jan Walotek, pelas orientações e disponibilização de materiais base para elaboração deste trabalho.

Aos amigos da pós graduação pelo convívio durante 2 anos.

A todos os professores que me capacitaram para esta formação, com dedicação e responsabilidade.

A todos aqueles que de maneira direta e indiretamente me apoiaram para a construção deste trabalho, o meu muito obrigado.

Em especial, gostaria de dedicar este trabalho a uma pessoa muito especial, tia **Irailde Lima** (*in memorian*) pela força, cuidado, amor e compaixão com seu próximo e pelo acolhimento em sua casa e em seu coração, sempre que precisei, com seu apelido carinhoso “Maruim.”

“Então disse Deus: Cubra-se a terra de vegetação: plantas que deem sementes e árvores cujos frutos produzam sementes de acordo com as suas espécies. E assim foi. A terra fez brotar a vegetação: plantas que dão sementes de acordo com as suas espécies, e árvores cujos frutos produzem sementes de acordo com as suas espécies. E Deus viu que ficou bom”(GÊNESIS 1:11- 12).

RESUMO

Este trabalho teve por objetivo avaliar a capacidade produtiva e sua variação espacial de plantios clonais de *Tectona grandis* Linn F. estabelecidos nos anos de 2010, 2012 e 2013, localizados em Capitão Poço, Estado do Pará, Brasil, pertencentes à empresa Tietê Agrícola LTDA. O monitoramento do desenvolvimento dos plantios foi realizado por meio de inventário contínuo com 43 parcelas permanentes circulares com área de 500 m² distribuídas sistematicamente em uma grade de 320 m x 320 m. As variáveis dendrométricas coletadas foram: Altura total (Ht) e Diâmetro à Altura do Peito (DAP). Foram anotadas também a idade e as coordenadas geográficas no centro de cada parcela. Para a determinação da altura dominante (Hd), foi aplicada a definição de Assmann. Para a determinação das curvas de índice de sítio (IS) utilizou-se o método da curva guia, por regressão, com curvas anamórficas. Foram consideradas três classes de capacidade produtiva: baixa (III), média (II) e alta (I) produtividade. Fez-se a análise da variabilidade espacial da capacidade produtiva por meio de geoestatística, que consistiu de uma análise variográfica e de interpolação por krigagem. Para estimar a variável altura dominante, foram ajustados três modelos de semivariogramas: esférico, gaussiano e exponencial. Os resultados da classificação de sítio revelaram a existência de três classes distintas de produtividade, gerando curvas com IS de 11,3 (Classe III), 12,8 (Classe II) e 14,3 metros (Classe I) para o plantio de 2010 e curvas com IS de 10,8 (Classe III), 13,3 (Classe II) e 15,8 metros (Classe I) para os plantios de 2012 e 2013. O modelo de semivariograma exponencial foi o que apresentou melhores estimativas da variável Hd, sendo gerada, a partir do mesmo, uma malha de pontos interpolados que permitiu visualizar o comportamento da altura dominante, a partir da krigagem ordinária. Os resultados revelaram que 69,2% (253 ha) da área mapeada (365,38 ha) foi classificada como de média produtividade (classe II) e 30,8% (112,6 ha) classificada como de alta produtividade (classe I). O mapa de incerteza, gerou os erros aceitáveis de estimativa da variável em pontos não amostrados, revelando confiabilidade dos valores interpolados de Hd. No planejamento da produção de plantios novos é comum a utilização da capacidade produtiva. Nesse contexto a krigagem mostrou-se muito eficiente porque definiu para cada local não amostrado, com valor de Hd, ou seja, dentro de um mesmo talhão há áreas com diferentes potenciais produtivos onde poderão ser aplicados diferentes alternativas de manejo visando otimizar a produção.

Palavras-chave: Índice de sítio; Altura dominante; Geoestatística; Classes de produtividade.

ABSTRACT

This work aimed at evaluating the productive capacity and its spatial variability of *Tectona grandis* Linn F. clonal plantations in Capitão Poço, State of Pará, Brazil, belonging to the company Tietê Agrícola LTDA. Plantation development was monitored by means of continuous forest inventory, using the fixed area method, with 43 circular permanent sample plots systematically arranged in a 320 m x 320 m grid. The following variables were measured: Total height (Ht), diameter at breast height (DBH); age and geographical coordinates at the center of each plot were also registered. Dominant heights (Hd), were determined according to Assmann's definition. Determination of the site index curves was carried out by regression method, applying anamorphic curves. Three classes of productive capacity were considered: low (III), medium (II) and high (I) productivity classes. An analysis of the spatial variability of the Site Index was performed using geostatistics processes, which consisted of a variographic analysis and kriging interpolation. To estimate the Dominant Height, three semivariogram models were applied *viz.* Spherical, Gaussian and Exponential. Results of the site index classification revealed three different productivity classes, generating curves with SI 15.5 (Class III), SI 17.5 (Class II) and SI 19.5 m (Class I) for the stand planted in 2010 and curves with SI 12.3 (Class III), SI 14.8 (Class II) and SI 17.3 m (Class I) for stands planted in 2012 and 2013. Dominant height was better estimated by the exponential semivariogram model, generating an interpolated grid of points that allowed visualizing the behavior of the dominant height from the ordinary kriging. A map of site index was then produced where 69.2% (253ha) of the area (365.38 ha) was classified as of average productivity (class II) and 30.8% (112.6 ha) classified as high productivity (class I). Site index is commonly used as a tool to planning establishment of tree plantation crops. In this context, kriging proved to be very efficient because allowed defining site indices for areas not sampled. Therefore in areas with different productive potentials (SI) proper management alternatives can be applied to optimize production.

Key-words: Site Index; Dominant Height; geostatistics; Productivity Classes.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da fazenda São Luiz, no município de Capitão Poço, PA.	18
Figura 2 - Características dos elementos do clima no Município de Capitão Poço, PA, no período de 2011 à 2017. Temperatura do ar média (A), Temperatura mínima e máxima (B), Precipitação pluviométrica (C) e Umidade relativa do ar (D).	19
Figura 3 - Mapa da fazenda São Luiz com distribuição das parcelas amostrais por idade dos plantios clonais de <i>Tectona grandis</i> Linn F. na fazenda São Luiz, em Capitão Poço, PA.	22
Figura 4 – Realização das medições durante o inventário: (A) Marcação dos indivíduos pertencentes a parcela; (B) Medição da Altura total; (C) Mensuração do Diâmetro a Altura do Peito; (D) Equipamentos utilizados no levantamento de campo.	23
Figura 5 - Box plot distribuição da variável altura dominante dos tratamentos: (A) T1 (plantio 2010) e (B) T2 (plantios 2012 e 2013) (B).	27
Figura 6 - Curvas de incremento médio anual (IMA) e incremento corrente anual (ICA). Média aritmética, IMA e ICA em altura dominante dos tratamentos T1 (plantio 2010) e T2 (plantios 2012 e 2013) (A); Média aritmética, IMA e ICA em altura dominante dos tratamentos T1 (plantio 2010) e T2 (plantios 2012 e 2013) (B).	28
Figura 7 - Distribuição dos resíduos da melhor equação matemática de crescimento em Hd ajustada ao plantio clonal de <i>Tectona grandis</i> Linn F do ano de 2010, localizado no município de Capitão Poço, PA.	32
Figura 8 - Distribuição dos resíduos da melhor equação matemática de crescimento em Hd ajustada ao plantio clonal de <i>Tectona grandis</i> Linn F do ano de 2012 e 2013, localizado no município de Capitão Poço, PA.	34
Figura 9 – Comparação dos índices de sítio por classe de produtividade em plantios de <i>Tectona grandis</i> Linn F. no Brasil, Índia e Bangladesh.	36
Figura 10 - Curvas de Índice de Sítio pelo método da curva guia para os plantios 2010 (A), 2012-2013 (B) de <i>Tectona grandis</i> Linn F., localizado no município de Capitão Poço, PA.	37
Figura 11 - Localização da fazenda São Luiz, no município de Capitão Poço, PA.	45
Figura 13 - Mapa da fazenda São Luiz com distribuição das parcelas amostrais dos plantios clonais de <i>Tectona grandis</i> Linn F. na fazenda São Luiz dos anos de 2012 e 2013, em Capitão Poço, PA.	47
Figura 14 - Semivariograma esférico para a Altura Dominante.	52
Figura 15 - Semivariograma gaussiano para a Altura Dominante.	52
Figura 16 - Semivariograma exponencial para a Altura Dominante.	52
Figura 17 - Krigagem com gradiente da capacidade produtiva e de incerteza da altura dominante a 5% de significância, dos plantios clonais dos anos de 2012 e 2013 de <i>Tectona grandis</i> Linn F., localizado no município de Capitão Poço, PA.	55
Figura 18 - Distribuição da capacidade produtiva por classe dos plantios clonais dos anos de 2012 e 2013 de <i>Tectona grandis</i> Linn F., localizado no município de Capitão Poço, PA.	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Lista de atividades operacionais silviculturais e suas características implantadas nos plantios clonais de <i>Tectona grandis</i> Linn F. na fazenda São Luiz, em Capitão Poço, PA.	20
Tabela 2 - Tratamentos com seus espaçamentos dos plantios clonais de <i>Tectona grandis</i> Linn F. na fazenda São Luiz, em Capitão Poço, PA.	20
Tabela 3 - Número de parcelas com área amostrada por talhão dos plantios clonais de <i>Tectona grandis</i> Linn F. na fazenda São Luiz, em Capitão Poço, Estado do Pará.	21
Tabela 4 - Modelos de crescimento selecionados para ajuste.	24
Tabela 5 - Classificação do Índice de Sítio.	25
Tabela 6 - Estatística descritiva do diâmetro: mínimo, médio aritmético, quadrático (Dg), dominante (Ddom), máximo e coeficiente de variação (CV%) dos tratamentos T1 (plantio 2010) e T2 (plantios 2012 e 2013) dos plantios clonais de <i>Tectona grandis</i> Linn F., no município de Capitão Poço, PA.	26
Tabela 7 - Matriz de correlação linear de Pearson (r) entre as variáveis dos modelos de crescimento em Hd para os plantios clonais de 2010, 2012 e 2013 de <i>Tectona grandis</i> Linn F., no município de Capitão Poço, PA.	30
Tabela 8 - Valores das medidas de precisão das equações de crescimento em Hd ajustadas aos dados do plantio de 2010 de <i>Tectona grandis</i> Linn F., localizado no município de Capitão Poço, PA.	31
Tabela 9 - Valores das medidas de precisão das equações de crescimento em Hd ajustadas aos dados dos plantios de 2012 e 2013 de <i>Tectona grandis</i> Linn F., localizado no município de Capitão Poço, PA.	33
Tabela 10 - Sistema de Índice de Sítio para os plantios 2010, 2012 e 2013 de <i>Tectona grandis</i> Linn F., localizado no município de Capitão Poço, PA.	35
Tabela 11 - Número de parcelas por classe de produtividade por ano de plantio na idade de referência de <i>Tectona grandis</i> Linn F., localizado no município de Capitão Poço, PA.	38
Tabela 12 - Lista de atividades operacionais silviculturais e suas características implantadas nos plantios clonais de <i>Tectona grandis</i> Linn F. na fazenda São Luiz, em Capitão Poço, PA.	46
Tabela 13 - Informações dos talhões com suas respectivas áreas por idade dos plantios clonais de <i>Tectona grandis</i> Linn F. na fazenda São Luiz, em Capitão Poço, PA.	47
Tabela 14 - Limites das classes de sítio dos plantios clonais de teca do ano de 2012 e 2013.	48
Tabela 15 - Grau de dependência espacial.	49
Tabela 16 - Estatística descritiva da Altura dominante dos plantios 2012 e 2013 de <i>Tectona grandis</i> Linn F., localizado no município de Capitão Poço, PA.	51
Tabela 17 - Características dos modelos semivariográficos selecionados para predição dos IS dos plantios 2012 e 2013 de <i>Tectona grandis</i> Linn F., localizado no município de Capitão Poço, PA.	53

SUMÁRIO

RESUMO	14
ABSTRACT	15
1. CONTEXTUALIZAÇÃO	13
2. REFERÊNCIAS	15
Capítulo 1 – Capacidade produtiva de plantios clonais de <i>Tectona grandis</i> Linn F com idade de cinco e sete anos em Capitão Poço, Estado do Pará, Brasil	
1. INTRODUÇÃO	16
2. MATERIAL E MÉTODOS	18
2.1. Área de estudo	18
2.2. Caracterização do plantio	20
2.3. Coleta de dados	21
2.4. Análise dos dados	23
2.4.1. Normalidade e teste t.....	23
2.4.2. Intensidade Amostral	23
2.4.3. Modelos matemáticos de regressão	24
2.4.4. Seleção dos modelos ajustados	24
2.4.5. Construção das curvas de Índice de Sítio (IS)	25
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
3.1. Análise Descritiva e Intensidade amostral	26
3.2. Incrementos em diâmetro e altura dominante	28
3.3. Modelagem de Crescimento em Altura Dominante (Hd)	30
3.4. Classificação de Sítio	34
4. CONCLUSÃO	39
5. RECOMENDAÇÃO	39
6. REFERÊNCIAS	40

CAPÍTULO II – Variabilidade espacial da capacidade produtiva em plantios clonais de *Tectona grandis* Linn F. em Capitão Poço, Estado do Pará, Brasil

1. INTRODUÇÃO	43
2. MATERIAL E MÉTODOS	45
2.1. Localização da área de estudo	45
2.2. Caracterização do plantio	45
2.3. Coleta de dados	46
2.4. Limites de Classes de Sítio	48
2.5. Análise geoestatística da variável	48
2.5.1. Ajuste de modelos geoestatísticos	48
2.5.2. Estimativa e Interpolação de dados (Krigagem)	50
2.6. Softwares utilizados	50
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
3.1. Análise exploratória e de Normalidade	51
3.2. Ajuste de modelos geoestatísticos	51
3.3. Krigagem	54
4. CONCLUSÕES	59
5. RECOMENDAÇÃO	59
6. REFERÊNCIAS	60

1. CONTEXTUALIZAÇÃO

Os plantios florestais comerciais reduzem o impacto sobre as florestas naturais, por intermédio do aumento do fornecimento de produtos madeireiros e não madeireiros para o mercado (EMBRAPA FLORESTAL, 2016). Dentre as espécies florestais que são consideradas prioridades nacionais pelos países alvo da pesquisa para a conservação e manejo de recursos florestais, a *Tectona grandis* Linn F. (teca) ocupa o topo nesta lista em mais de 20 países (FAO, 2014). Esta expansão pode estar relacionada à sua madeira de alta qualidade e elevado valor econômico (PANGASTUTI et al., 2018).

A teca pertence à família Lamiaceae e é nativa do Sudeste da Ásia. Suas propriedades madeireiras se destacam mundialmente no setor florestal, sendo uma das principais espécies tropicais comercializadas no mercado de madeira nobre. Com alta demanda de mercado, a madeira da teca tem sido empregada na construção e no acabamento de luxo de iates, na indústria da construção civil, e na fabricação de móveis. O mercado internacional de teca tem se concentrado principalmente na Índia, na Indonésia e na China (PELISSARI et al., 2014).

Em função de sua demanda, a exploração crescente das florestas naturais de teca, tem gerado grande redução de áreas antigas produtoras de madeira de alta qualidade. Como resposta da oferta, plantios de teca foram introduzidos em mais de 70 países da Ásia, da África, da América e da Oceania. (KOLLERT; KLEINE, 2017). Midgley et al. (2015) estimaram que existem cerca de 6,8 milhões de hectares (ha) de plantios de teca no mundo, dos quais 88,2% estão na Ásia, 7,8% na África, 4% na América tropical. No Brasil no ano de 2016 a área de florestas plantadas foi de 7,84 milhões de ha para fins industriais, onde a espécie *T. grandis* representou pouco mais de 80 mil ha (IBÁ, 2017).

A expansão das áreas aliada à produtividade requerida dos plantios acarretou no desenvolvimento e melhoramentos da espécie. Atualmente, clones vem sendo produzidos no Brasil, na Costa Rica, na Costa do Marfim, na Índia, na Indonésia, na Malásia, na Tanzânia e na Tailândia. O uso de clones de teca tem demonstrado eficiência no desenvolvimento de povoamentos de maior produtividade, com alta qualidade da madeira e alto valor comercial.

Para atingir uma produção de alta qualidade nos plantios de teca, deve-se seguir um planejamento bem definido, que abranja a escolha do sítio com boa capacidade produtiva, utilização de mudas melhoradas, preparo correto do solo, aplicação constante de técnicas silviculturais e monitoramento do crescimento ao longo da rotação do povoamento (KOLLERT; KLEINE, 2017). A teca vem sendo cultivada em locais com características bio-edafo-climáticas distintas, dentro e fora de sua área de ocorrência natural, tendo como fator

determinante para o sucesso silvicultural e manejo, a escolha de um bom sítio (ALVARADO; MATA, 2013; KAPSA-ARD, 1989). Para Scolforo (2006), o sítio florestal é a associação de características bio-edafo-climáticas que influenciam no desenvolvimento de povoamentos em um determinado local, sendo a capacidade de uma unidade de área em produzir madeira.

Considerando que informações sobre o crescimento de *T. grandis* em plantios clonais ainda são escassos nos trópicos, principalmente no Brasil e especialmente no Estado do Pará, é necessário avaliar e disponibilizar informações sobre o desempenho no estabelecimento de plantações com essa espécie. Para contribuir com informações sobre o desenvolvimento de plantios de teca no Estado, o estudo buscou avaliar a capacidade produtiva de plantios e entender sua variação espacial. Para avaliar a capacidade dos plantios, empregou-se conceitos de Hd a partir de inventário florestal para determinar índices de sítio. A variação espacial foi analisada por técnica geoestatística de interpolação por krigagem, utilizando as classes de sítio das parcelas para estimar as alturas para todo o plantio.

A dissertação foi estruturada em dois capítulos. Para o primeiro, estabeleceu-se a seguinte questão científica: a capacidade produtiva de plantios clonais de *Tectona grandis* na fazenda São Luiz é diferenciada com suas respectivas características bio-edafo-climáticas? A partir desta questão estabeleceu-se a seguinte hipótese: existem locais com características bio-edafo-climáticas (sítio) diferenciadas nos plantios clonais de *Tectona grandis* e, por conseguinte, diferentes potenciais produtivos para cada unidade. Para o segundo capítulo, levantou-se o seguinte questionamento: a capacidade produtiva do plantio clonal de *Tectona grandis* Linn F. apresenta dependência espacial, ou seja, que possibilite mapear a distribuição espacial da variação do potencial produtivo do povoamento? A hipótese estabelecida para verificar a questão apresentada é a seguinte: se o potencial produtivo *Tectona grandis* Linn F possui dependência espacial, logo é possível estimar a variação espacial da capacidade produtividade do sítio.

2. REFERÊNCIAS

- ALVARADO, A. **Condiciones de sitio y la silvicultura de la teca**. In Camino, R., Morales J.P. (eds.): *Plantaciones de Teca Mitos y Realidades*. Turrialba, Costa Rica: CATIE. pp. 54-85. 2013.
- FAO. **The State of The World's Forest Genetic Resources**. Commission on Generic Resources for Food and Agriculture of the United Nations. Rome, Italy. 2014.
- INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. Relatório, 2017.
- KAOSA-ARD, A. Teak (*Tectona grandis* Linn. f), its natural distribution and related factors. **Nat. His. Bulletin Siam. Soc.**, 29, 55-74. 1989.
- KOLLERT, W.; KLEINE, M. **The Global Teak Study**. Analysis, Evaluation and Future Potential of Teak Resources. IUFRO World Series Volume 36. Vienna. 108 p. 2017.
- MIDGLEY, S., MOUNLAMAI, K., FLANAGAN, A., PHENG SOPHA, K. **Global market for plantation teak; implications for growers in Lao PDR**. ACIAR FST/2010/012: Australian Centre for International Agricultural Research: Canberra. 2015.
- EMBRAPA FLORESTAL. **Plantações florestais: geração de benefícios com baixo impacto ambiental**. Colombo, PR, p. 100, 2016.
- PANGASTUTI, S.; BINTORO, A.; DURYAT D. The effect of storage periods of teak (*Tectona grandis*) bud in the sheath of banana to the successfulness of budding. **Jurnal Sylva Lestari**. Vol. 6 No.1, p. 50 – 57, 2018.
- PELISSARI, A. LI.; GUIMARÃES, P. P.; BEHLINNG, A.; EBLINNG, Â. A. Cultivo da teca: Características da espécie para implantação e condução de povoamentos florestais. **Agrarian Academy**, Centro Científico Conhecer – Goiânia, v.1, n.01; p.128, 2014.
- SCOLFORO, J. R. S. **Biometria florestal: Modelos de crescimento e Produção Florestal**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2006.

Capítulo 1 – Capacidade produtiva de plantios clonais de *Tectona grandis* Linn F com idade de cinco e sete anos em Capitão Poço, Estado do Pará, Brasil.

1. INTRODUÇÃO

O potencial que um local tem em produzir madeira ou demais produtos possíveis em um povoamento é definido, como a capacidade produtiva que um ambiente possui (CAMPOS; LEITE, 2006). Para estes ambientes, é comum na ciência florestal utilizar o termo "sítio", para a influência que as características bio-edafo-climáticas geram sobre a produção florestal, que possibilita um melhor conhecimento das atividades florestais, subsidiando o manejo e a colheita de plantios (BATISTA; COUTO, 1986). A classificação de sítios possibilita estratificar povoamentos florestais, tanto para fins de inventário, como para fins de colheita, sendo um atributo a ser considerado no planejamento local ou regional, de curto ou de longo prazo (MACHADO et al., 1997).

No estabelecimento de povoamentos florestais é básica a definição de unidades produtivas. Essas podem ser determinadas por intermédio de diversos métodos, onde a classificação de sítio é o mais comumente utilizada. A tomada de decisões na silvicultura de plantações deve fundamentar-se nas classes de sítio. Esta prática permite verificar a capacidade produtiva da área, relacionando à espécie ou espécies que se deseja produzir com as práticas silviculturais. No entanto, somente algumas empresas florestais possuem seus plantios classificados, mesmo sendo uma ferramenta primordial para o planejamento administrativo e produtivo (MIGUEL et al., 2011). Em se tratando de teca a maior parte das práticas de manejo adotadas no Brasil, são baseadas em conhecimentos empíricos, sendo imprescindível o conhecimento do crescimento e da produção, por conta da crescente implantação de povoamentos desta espécie (PELLISSARI et al., 2014).

Para Machado et al. (1997), a avaliação da capacidade produtiva de uma área florestal, pode ser baseada em fatores edáficos, topográficos, climáticos, bióticos, genéticos; além do levantamento das variáveis dendrométricas do povoamento (volume, área basal, altura) e comparações com registros históricos. O método mais empregado na engenharia florestal é o índice de sítio (IS), sendo uma avaliação da qualidade do local de forma quantitativa, fundamentada na altura média das árvores dominantes como sendo a medida mais prática, e a que apresenta estimativa mais satisfatória da produtividade potencial dos locais. Essa é a variável menos influenciada pelos tratamentos silviculturais aplicados na área, como os

desbastes naturais ou planejados, bem como pela densidade do povoamento (CAMPOS; LEITE, 2017).

O índice de sítio ou índice local baseia-se no valor de altura dominante média em uma idade índice (IR), sendo esta uma idade mais próxima da idade de rotação do povoamento. Este IS é utilizado para subdividir unidades dentro de áreas de produtividade similar ou “qualidades de sítio” e elas são baseadas na altura total alcançada pelas árvores dominantes em um plantio, tendo como base a idade. Assim, uma maior altura dominante com base na idade implica em melhor qualidade de sítio e maior produtividade. Uma vantagem deste tipo de abordagem é que a altura dominante não depende da densidade do povoamento (dentro do índice utilizado em plantios florestais) (JEREZ RICO; COUTINHO, 2017). A altura dominante tem uma correlação satisfatória com os fatores ambientais inter-relacionados. Em comparação com o volume, ela apresenta maior facilidade em ser obtida e praticidade na aplicação (MENEGOL, 1991).

Com isso, o presente estudo vem buscar por meio do monitoramento contínuo de crescimento em Hd analisando o potencial produtivo dos plantios clonais de teca para servir de base para tomada de decisão da empresa detentora do povoamento. Considerando a importância do conhecimento da capacidade produtiva do sítio para estabelecimento de povoamentos de teca na região alvo do presente estudo, estabeleceu-se a seguinte questão científica: a capacidade produtiva de plantios clonais de *Tectona grandis* na fazenda São Luiz é diferenciada com suas respectivas características bio-edafo-climáticas? A partir da desta questão estabeleceu-se a seguinte hipótese: existem locais com características bio-edafo-climáticas (sítios) diferenciadas nos plantios clonais de *Tectona grandis* e, por conseguinte, diferentes potenciais produtivos para cada unidade.

OBJETIVO GERAL

Determinar a capacidade produtiva das áreas de plantios clonais de *Tectona grandis* Linn f. nas idades de cinco e sete anos em Capitão Poço, Estado do Pará, Brasil.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

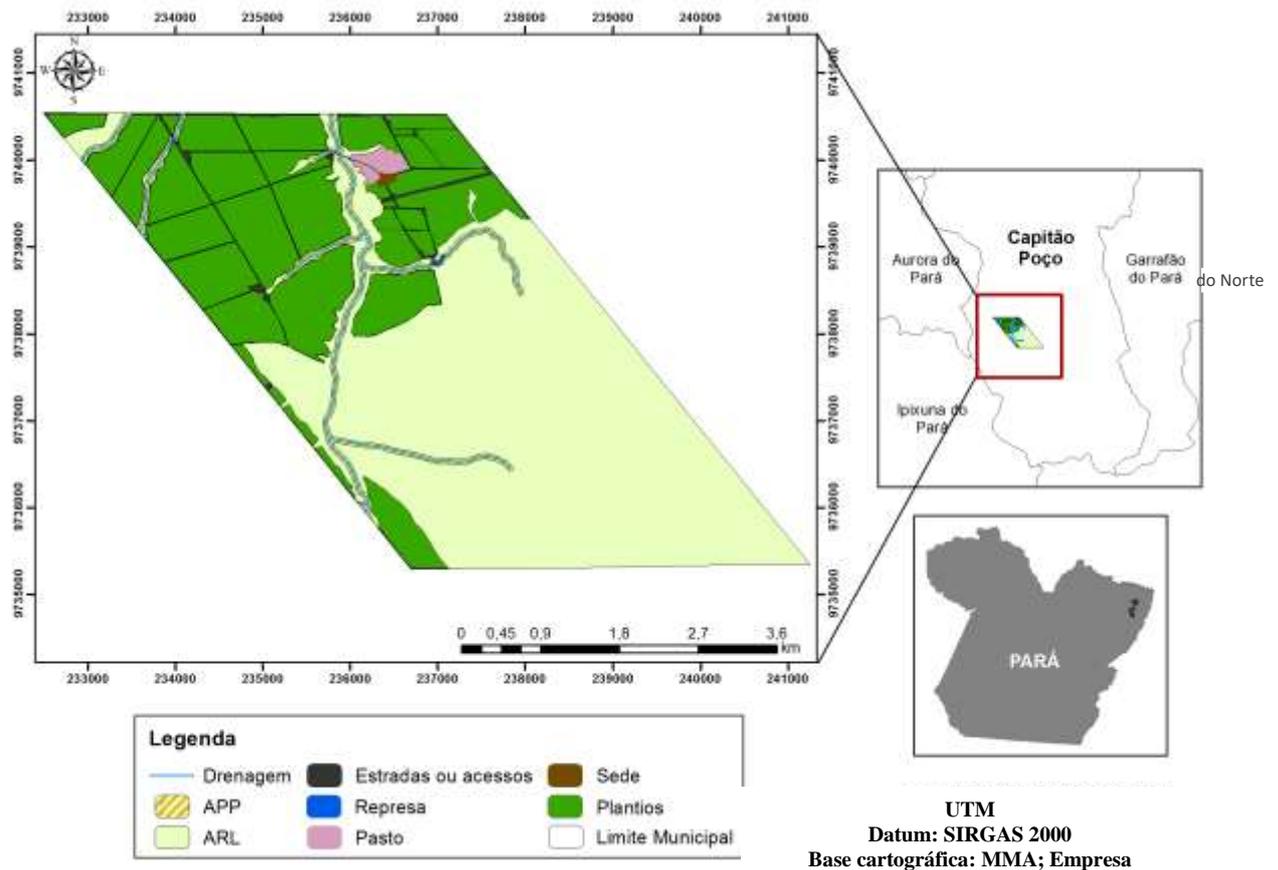
- Selecionar modelo(s) anamórfico(s) que expressem a relação do crescimento em altura dominante (Hd) da espécie *T. grandis* em uma determinada idade índice;
- Determinar índices de sítio que quantifiquem a capacidade produtiva das áreas da fazenda São Luiz, no Estado do Pará.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

O estudo foi desenvolvido em um povoamento clonal de teca situado na fazenda São Luiz no município de Capitão Poço, Estado do Pará, pertencente à empresa Tiête Agrícola LTDA. A fazenda possui uma área de 2.399,62 ha, entre as coordenadas geográficas 2°30'00"S; 47°20'00"W e 2°20'0"S; 47°30'0"W, tendo 833,03 ha de plantio florestal, como ilustrado na Figura 1.

Figura 1 - Localização da fazenda São Luiz, no município de Capitão Poço, PA.

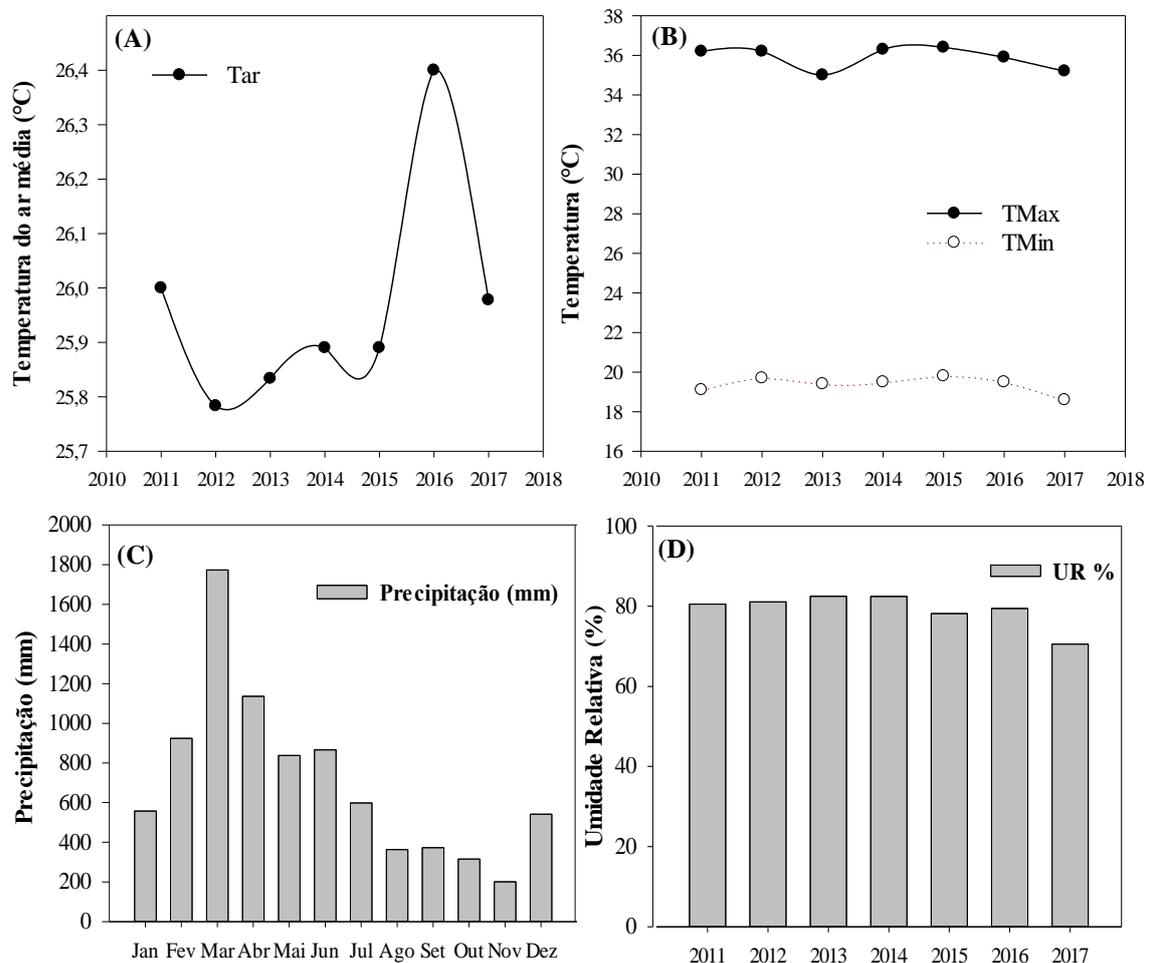


A fazenda São Luiz situa-se na região da floresta densa, sub-região dos altos platôs do Pará-Maranhão, constituída de floresta densa dos terraços e secundária latifoliada. Na Amazônia a denominação Floresta Densa pode ser considerada sinônimo de Floresta Ombrófila Tropical (BRASIL, 1973). Na região, existe uma predominância de Latossolos Amarelos e Plintossolos (BRASIL, 1973; VIEIRA, 1988). Conforme Santos et al. (2013), na área da

fazenda, existem classes predominantes de solos classificados, conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, como Latossolo Amarelo Distrófico Petroplúntico (LAd), Latossolo Amarelo Distrófico Típico (lad) e Plintossolo Pétrico Concrecionário (FFc). O relevo é plano a suave ondulado, sendo que poucas áreas podem ser classificadas como de relevo ondulado ocupadas apenas com pastagem. As declividades são classificadas como suave, e suave ondulada chegando próximo de 5% (FOLONI et al., 2010), com altitudes em torno de 79 metros (INMET, 2018).

De acordo com a classificação climática de Köppen, a região da bacia do Guajará está enquadrada no clima tipo Am. Este tipo define um clima quente e úmido, clima tropical chuvoso, com curta estação seca (BRASIL, 2009). De acordo com informações do INMET (2018), o Município de Capitão Poço, PA, apresentou as seguintes características dos elementos do clima nos anos de monitoramento da área de estudo (Figura 2).

Figura 2 - Características dos elementos do clima no Município de Capitão Poço, PA, no período de 2011 à 2017. Temperatura do ar média (A), Temperatura mínima e máxima (B), Precipitação pluviométrica (C) e Umidade relativa do ar (D).



Fonte: INMET adaptado, Santos (2018).

2.2. Caracterização do plantio

Os povoamentos de teca monitorados tiveram atividades silviculturais semelhantes que envolveram a mesma quantidade de insumos utilizados tais como fertilizantes e herbicidas, obedecendo a sequência operacional conforme apresentaram na Tabela 1, de acordo com informações fornecidas pela empresa detentora do povoamento:

Tabela 1 - Lista de atividades operacionais silviculturais e suas características implantadas nos plantios clonais de *Tectona grandis* Linn F. na fazenda São Luiz, em Capitão Poço, PA.

<i>Atividade operacional de silvicultura</i>	<i>Características das atividades</i>	<i>Ano</i>
Combate à formiga	Com iscas formicidas	0
Limpeza da área	Mecanizada	0
Calagem	4 toneladas de calcário por hectare (ha)	0
Plantio	Manual	1
Replantio	Manual (>10% de perda)	1
Adubação de arranque	NPK, KCl	1
Coroamento	Enxada	1
Roçagem	Semi e mecanizada com trator hidráulico	1 ao 7
Desrama	Serra e Motopoda	1 ao 7
Adubação de Manutenção	Boro, KCl	1,3,5 e 7
Desbaste	Semi-mecanizado	5

Fonte: O autor

O desbaste foi efetuado no quinto ano somente no talhão 7 (plantio 2010), com intensidade de 50% sobre o número total de indivíduos. As mudas utilizadas nos plantios são clones procedentes da empresa Proteca situada no Estado de Mato Grosso, sendo denominado de “A1”. O plantio foi feito a partir de mudas produzidas em tubetes pela própria empresa fornecedora, no período de janeiro a fevereiro de 2010, 2012 e 2013. Os espaçamentos aplicados nos plantios foram considerados como dois tratamentos, plantio de 2010 (T1) e plantios de 2012 e 2013 (T2) apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Tratamentos com seus espaçamentos dos plantios clonais de *Tectona grandis* Linn F. na fazenda São Luiz, em Capitão Poço, PA.

Tratamento	Ano	Talhão	Espaçamento
T1	2010	7	4 X4
T2	2012	8, 9, 10, 11	3,75 X 3,75
	2013	12, 13, 14, 15, 16	

2.3. Coleta de dados

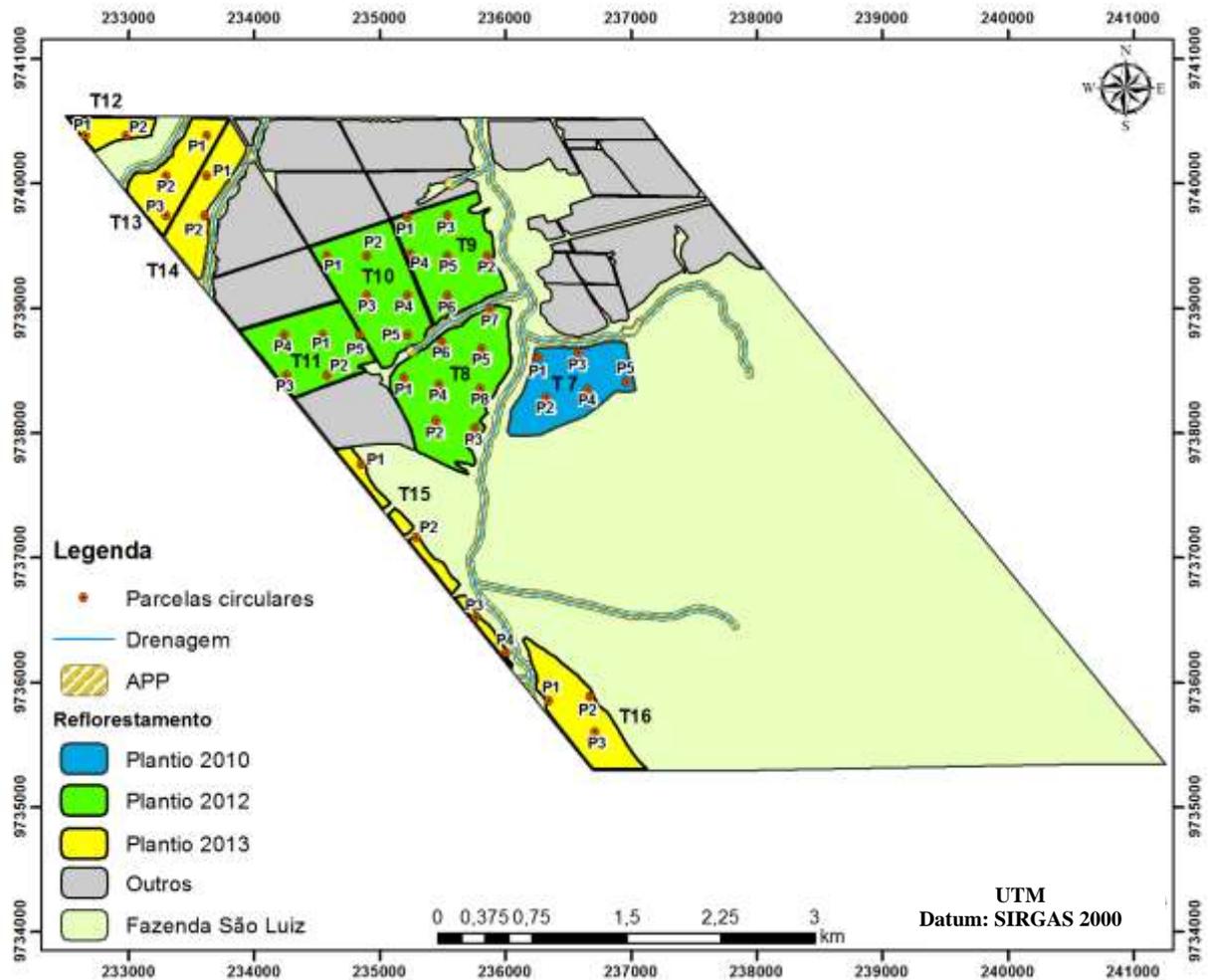
O monitoramento dos plantios foi realizado por meio de inventário florestal em parcelas permanentes entre 2010 e 2017, sempre nos meses de julho de cada ano. O sistema de amostragem adotado foi método de área fixa, com parcelas circulares com raio de 12,61 metros cada, com uma área de aproximadamente 500 m² (Tabela 3). O processo de amostragem empregado foi o sistemático, onde as parcelas foram distribuídas em uma grade de 320 x 320 m aplicada à todos os plantios. As parcelas alocadas e monitoradas estão ilustradas na Figura 3.

Tabela 3 - Número de parcelas com área amostrada por talhão dos plantios clonais de *Tectona grandis* Linn F. na fazenda São Luiz, em Capitão Poço, Estado do Pará.

<i>Ano de plantio</i>	<i>Idade (anos)</i>	<i>Nº de parcelas</i>	<i>Área amostrada (m²)</i>	<i>Área do plantio (ha)</i>
2010	7	5	2500	49,28
2012	5	24	12000	242,67
2013	4	14	7000	122,71

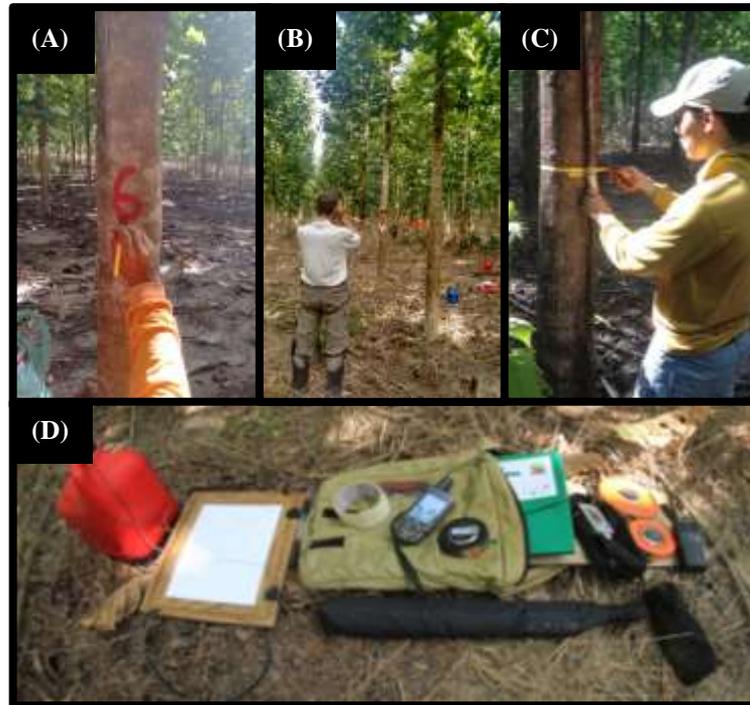
Fonte: O autor

Figura 3 - Mapa da fazenda São Luiz com distribuição das parcelas amostrais por idade dos plantios clonais de *Tectona grandis* Linn F. na fazenda São Luiz, em Capitão Poço, PA.



As variáveis dendrométricas coletadas foram: Altura total (Ht) em metros, diâmetro à 1,30 m do solo (DAP) em centímetros e Idade (I) em anos. Ainda no campo, com dados de DAP, foram identificados os indivíduos dominantes com suas respectivas Hd, seguindo a definição de Assmann, ou seja, a altura média aritmética dos 100 indivíduos mais grossos por hectare (SCOLFARO, 1993). Como as parcelas são de 500m², isso resultou em cinco árvores dominantes por parcela. Os instrumentos utilizados para a mensuração (Figura 4) foram: Hipsômetro Vertex para a altura total, fita diamétrica para o DAP, receptor GPS (Garmim).

Figura 4 – Realização das medições durante o inventário: (A) Marcação dos indivíduos pertencentes a parcela; (B) Medição da Altura total; (C) Mensuração do Diâmetro a Altura do Peito; (D) Equipamentos utilizados no levantamento de campo.



Fonte: O autor

2.4. Análise dos dados

2.4.1. Normalidade e teste t

Os dados de altura dominante (H_d) foram submetidos à análise de normalidade pelo teste de Kolmogorov-Smirnov a 5% de significância. Para verificar se houve diferença estatística em H_d entre os tratamentos T1 e T2 aplicou-se o teste t student a 95% de probabilidade para a variável H_d .

2.4.2. Intensidade Amostral

A intensidade amostral foi calculada para verificar se o número de amostras utilizados estimou de maneira satisfatória a altura dominante para um dado intervalo de confiança, a 95% de nível de probabilidade e erro máximo admissível de 10%. A determinação deu-se de acordo com Pellico Netto e Brena (1997) para população infinita.

2.4.3. Modelos matemáticos de regressão

Primeiramente foi verificado o grau de associação entre as variáveis dependentes e independentes dos modelos por meio da correlação de Pearson, utilizando-se o Software Excel 2013, mais precisamente o suplemento estatístico Action 1.1.

Foram ajustados seis modelos de crescimento relacionando a altura dominante (Hd) em função da idade (Id) nos povoamentos de teca clonal, sendo um modelo linear (1) e cinco modelos não lineares (2, 3, 4, 5 e 6), onde a Hd é a variável dependente ou variável de interesse, e Id e suas transformações matemáticas, como variável independente (Tabela 4). Também foram confeccionados gráficos da distribuição dos resíduos, utilizando-se o Software Excel 2013.

Tabela 4 - Modelos de crescimento selecionados para ajuste.

<i>Nº</i>	<i>Relação Funcional</i>	<i>Modelo</i>
1	$Hd = \beta_0 + \beta_1 I + \beta_2 I^2 + \beta_3 I^3 + \varepsilon_i$	
2	$Hd = \beta_0 I^{\beta_1} + \varepsilon_i$	
3	$Hd = \beta_0 e^{\beta_1 I} + \varepsilon_i$	
4	$Hd = I^2 / (\beta_0 + \beta_1 I + \beta_2 I^2) + \varepsilon_i$	Podran
5	$Hd = e^{(\beta_0 + \beta_1 1/I)} + \varepsilon_i$	Schumacher
6	$Hd = \beta_0 e^{(\beta_1 \ln I + \beta_2 (\ln I)^2)} + \varepsilon_i$	

Onde: Hd= Altura Dominante; β_i = Parâmetros da regressão; I= Idade; ε_i = erro aleatório. Fonte: Campos; Leite (2013); Machado (1980); Scolforo (2006).

2.4.4. Seleção dos modelos ajustados

Após os ajustes dos modelos de regressão na forma linear pelo método dos mínimos quadrados ordinários, foi aplicada a análise de variância (ANOVA), com o intuito de verificar a existência de regressão entre a variável resposta e o modelo, por meio da análise de significância do teste F, a uma probabilidade de 95%. A seleção do melhor modelo foi feita considerando os seguintes critérios estatísticos: o maior coeficiente de determinação ajustado (R^2 aj.%); o menor erro padrão residual da estimativa em percentagem (Syx %) e erro padrão residual recalculado (Syxr %) para modelos não lineares; o diagnóstico da distribuição dos resíduos em percentagem (e_i %) pela da análise gráfica não tendenciosa; e Desvio Médio

Percentual (DMP%) mais próximo de zero. Estas medidas foram calculadas por meio das fórmulas dispostas em Schneider et al. (2009).

Para auxiliar na seleção do(s) melhor(es) modelo(s) ajustado(s), foi utilizado o critério de hierarquização de seleção, ou o Valor Ponderado (VP), que leva em consideração todas as variáveis estatísticas anteriormente descritas, e por isso sintetiza os resultados, facilitando o processo de seleção do melhor modelo matemático. A ponderação de valores para hierarquização, foi determinada atribuindo-se valores ou pesos às medidas de precisão. As estatísticas foram ordenadas de acordo com a sua eficiência, sendo atribuído peso 1 para a melhor estatística, 2 para a segunda e assim sucessivamente (ranking), conforme metodologia descrita por Schneider et al. (2009). Após essa classificação individual, efetuou-se o somatório da pontuação para cada modelo matemático, sendo que a equação que recebeu a menor soma foi recomendada como mais adequada para uso.

2.4.5. Construção das curvas de Índice de Sítio (IS)

Para testar a hipótese estabelecida neste capítulo da diferença do potencial produtivo, a construção das curvas de índice de sítio foi aplicada pelo método da curva guia por regressão. As curvas de sítios geradas foram anamórficas, sendo consideradas como curvas proporcionais a curva média, para cada classe de sítio. A idade de referência (IR) adotada foi de quatro anos para os dois tratamentos, onde segundo Campos e Leite (2006), a IR deve ser a idade mais próxima da idade de rotação do povoamento. Foram determinadas três classes de capacidade produtiva visando facilitar a estratificação do povoamento (Tabela 5). Todos os limites de classe foram fechados nos limites superiores (LS).

Tabela 5 - Classificação do Índice de Sítio.

Classe de Sítio	Classificação
Classe III	Capacidade Produtiva Baixa
Classe II	Capacidade Produtiva Média
Classe I	Capacidade Produtiva Alta

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Análise Descritiva e Intensidade amostral

Quanto à intensidade amostral, ratificou-se que as cinco e 38 unidades de amostras sistematizadas nos tratamentos foram suficientes para representar de maneira satisfatória a variável altura dominante (Hd), com erro de estimativa menor que 10%, encontrando-se um $n=4$ (T1) e $n=15$ (T2). Assim, o sistema de amostragem adotado na área, pode servir de base para outros povoamentos de teca em locais próximos. Verificou-se também, que a variável altura dominante (Hd) apresentou normalidade pelo teste de Kolmogorov-Smirnov ($p\text{ valor} > 0,05$). O teste t student revela que houve diferença significativa entre os tratamentos ($p\text{ valor} < 0,05$). Assim, a classificação de sítio foi feita por tratamento, sendo gerado um Sistema de Índice de Sítio (SIS) para o tratamento T1 (plantio 2010) e um para T2 (plantios 2012 e 2013).

Na Tabela 6, é apresentada a estatística descritiva dos diâmetros por tratamento. O diâmetro médio quadrático (Dg), é o que mais se relaciona com atributos de povoamentos equiâneos, sendo a média mais interessante para o cálculo da área basal e volume, onde quando se compara com a média aritmética resulta em valores geralmente maiores (CAMPOS; LEITE, 2017), comportamento que foi detectado em ambos os tratamentos. Os diâmetros dominantes (Ddom), que foi gerado a partir dos diâmetros das árvores dominantes, foram superiores ao aritmético e quadrático como já esperado, por serem indivíduos mais grossos.

Tabela 6 - Estatística descritiva do diâmetro: mínimo, médio aritmético, quadrático (Dg), dominante (Ddom), máximo e coeficiente de variação (CV%) dos tratamentos T1 (plantio 2010) e T2 (plantios 2012 e 2013) dos plantios clonais de *Tectona grandis* Linn F., no município de Capitão Poço, PA.

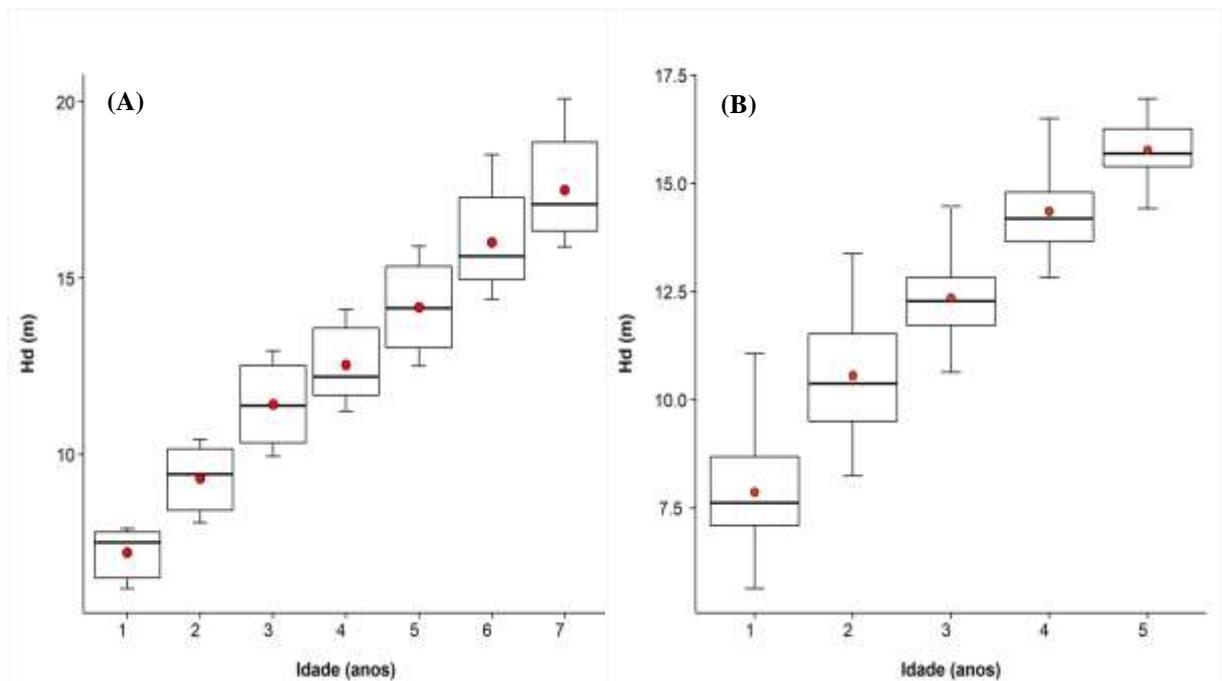
Idade	Plantio 2010						Plantios 2012 e 2013					
	Mín.	Média	Dg	Ddom	Máx.	CV%	Mín.	Média	Dg	Ddom	Máx.	CV%
1	2.7	7.0	7.4	8.5	14.2	26.13	1.9	6.2	6.3	8.9	15.7	36.23
2	5.8	11.1	11.2	12.4	17.8	19.34	2.7	8.9	9.1	9.9	16.6	25.01
3	8.3	14.6	14.7	16.3	20.7	14.31	6.5	12.8	12.9	14.0	17.4	14.64
4	13.8	18.2	18.3	20.2	23.7	9.55	8.6	15.7	15.8	17.1	20.1	10.24
5	14.9	19.2	19.4	20.7	26.5	13.7	10.7	18.9	19.2	22.2	22.8	8.64
6	16.5	21.4	21.6	22.8	28.2	11.92						
7	18.0	23.7	23.8	25.4	29.8	10.3						

Onde: Linha pontilhada representa o desbaste no tratamento T1.

Por intermédio do coeficiente de variação, pode-se verificar uma maior variabilidade na variável DAP nas idades iniciais, sendo decrescente com o passar da idade, exceto no tratamento do plantio 2010 que no quinto ano em teve um aumento da variabilidade. Isso está diretamente relacionado com a diminuição da densidade do plantio (desbastes) afetando mais fortemente esta medida.

A amplitude da variável Hd em função das idades (Figura 5), foi semelhante nas três primeiras idades no tratamento do plantio 2010 (Figura 5-A), diminuindo a partir do quarto ano, seguido de um pequeno aumento a partir do quinto ano, podendo ser justificado pela intervenção na densidade do plantio (desbastes). O mesmo comportamento não ocorreu no tratamento dos plantios 2012 e 2013 (Figura 5-B), onde mostrou-se maior variabilidade nos dados de Hd nas idades iniciais, sendo decrescente com o passar do tempo.

Figura 5 - Box plot distribuição da variável altura dominante dos tratamentos: (A) T1 (plantio 2010) e (B) T2 (plantios 2012 e 2013) (B).



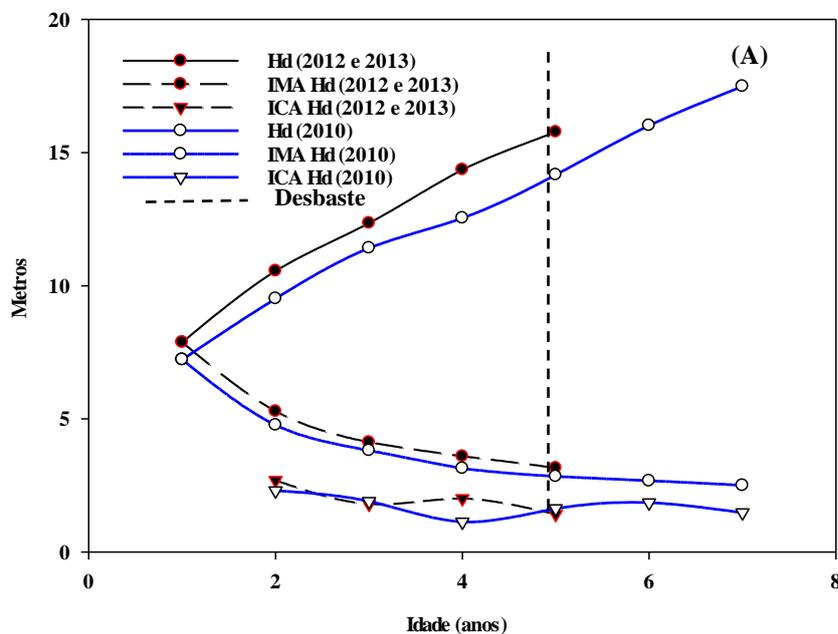
Onde: Linhas horizontais mais grossas representam a mediana; caixas representa o intervalo interquartil (1° e 3°); pontos em vermelho a média aritmética e as linhas verticais os valores extremos. N= 5 (T1) e N= 38 (T2).

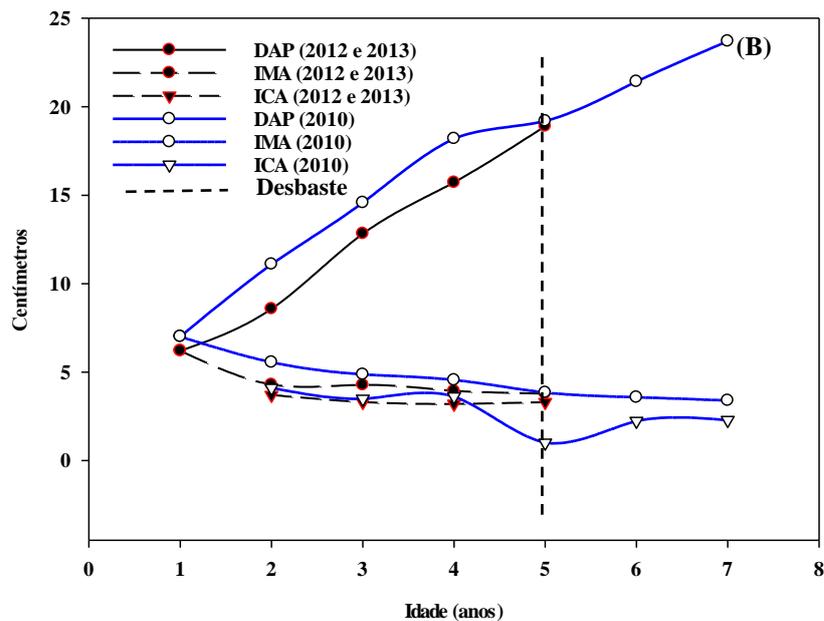
Ao quarto ano (IR) para o plantio 2010, a Hd apresentou uma média de 12,5 m, com valores variando entre 11,2 m e 14,1 m, e com desvio padrão de 1,09 m. O desvio médio em torno da média ficou em 8,7 %, representando uma baixa variação. Para os plantios 2012 e 2013, a altura dominante média foi de 14,2 m, variando entre 12,8 m e 16 m, com desvio padrão de 0,8 m, indicando uma variação média de 5,6% em torno da média, ou seja, ainda menos acentuada que a observada no tratamento T1.

3.2. Incrementos em diâmetro e altura dominante

A Figura 6 apresenta os resultados dos dados de incremento corrente e incremento médio anual em altura dominante e DAP para os diferentes tratamentos. No monitoramento da altura dominante (Figura 6 - A), verificou-se um superior crescimento em Hd nos plantios de 2012 e 2013, o que pode estar relacionado ao menor espaçamento destes plantios em comparação ao plantio 2010. Scolforo (2006), comenta que de maneira geral em povoamentos mais densos, há maior crescimento em altura, devido a uma maior competição por luz, levando a um fechamento mais rápido da copa bem como a uma estagnação teórica do crescimento mais cedo. O contrário ocorreu com a variável diâmetro (Figura 6 - B), onde no tratamento com maior espaçamento (plantio 2010), ocorreu o maior crescimento desta variável, onde a competição é menor e o crescimento em DAP é mais acentuado. Em plantios mais densos, menor será a média aritmética do diâmetro (SCOLFORO, 2006).

Figura 6 - Curvas de incremento médio anual (IMA) e incremento corrente anual (ICA). Média aritmética, IMA e ICA em altura dominante dos tratamentos T1 (plantio 2010) e T2 (plantios 2012 e 2013) (A); Média aritmética, IMA e ICA em altura dominante dos tratamentos T1 (plantio 2010) e T2 (plantios 2012 e 2013) (B).





Foi possível verificar no plantio 2010 uma queda acentuada no incremento em diâmetro no quinto ano, período este que foi aplicado o desbaste de intensidade de 50%, provocando a aceleração do crescimento após a aplicação do tratamento, demonstrando a influência que esta variável sofre com o aumento do espaçamento, que tem por objetivo, diminuir a competição intraespecífica.

Dentre as características utilizadas pela empresa na seleção de indivíduos a serem desbastados, uma delas foi suprimir aqueles que possuíam galhos grossos (bifurcação) abaixo de 8 m de altura, sendo, em alguns casos, indivíduos mais grossos, pois estes galhos fazem com que ocorra desaceleração no crescimento em altura e aumento na variável diâmetro, o que pode ser uma justificativa para este comportamento, sendo indivíduos com menor valor comercial. Chies (2005), comentam que em espaçamentos maiores há formação de galhos mais grossos e copas mais expandidas quando comparados com espaçamentos menores. Em contrapartida, observou-se a baixa interferência que a alteração de densidade entre indivíduos tem sobre a variável Hd.

O incremento médio anual em DAP variou de 3,4 a 7 $\text{cm}\cdot\text{ano}^{-1}$ em ambos os tratamentos com período de um a sete anos, superando resultados de crescimento (IMA DAP < 3,67 $\text{cm}\cdot\text{ano}^{-1}$) encontrados em sítios de alta qualidade em plantios de teca seminais em países como da Guatemala (2004), Costa Rica (1996) e Panamá (2003) com dez anos de idade de acordo com levantamento realizado por Alvarado e Mata (2013). Kollert e Kleine (2017), comentam que nas idades de três a cinco anos, o máximo incremento pode chegar a 3 a 5 cm. Os resultados obtidos no presente trabalho superaram também estudos realizados no Brasil por Tonini et al.

(2009) e Rossi et al. (2011) nos estados de Roraima e Pará em plantios seminais, respectivamente, onde foram observados incrementos em diâmetro abaixo de 3 cm.ano⁻¹ nas sete primeiras idades.

Os valores médios de altura dominante e seus incrementos até o sétimo ano, em sua maioria foram superiores aos reportados nos trabalhos de Pelissari et al. (2013), Tonini et al. (2009) e Chaves (2013), tendo valores de Hd média variando de 1,82 a 16,7 m e incrementos de 0,67 a 4 m.ano⁻¹ em plantios de teca seminais.

O comportamento decrescente nas curvas de IMA e ICA em DAP e Hd com passar da idade também foi observado em outros trabalhos como os de Silva (2012), Tonini et al. (2009) e Rossi et al. (2011). Isso demonstra um desempenho característico da espécie com uma redução gradativa na velocidade de crescimento dessas variáveis, provocando a necessidade de intervenções na densidade do povoamento ao longo da rotação afim de evitar a estagnação do crescimento, sendo povoamentos que requerem mais atenção no monitoramento e condução.

Os crescimentos superiores dos plantios clonais de teca em relação aos demais resultados apresentados via semente, podem estar relacionados diretamente à utilização de material genético melhorado, mostrando assim a diferença no crescimento quando se utiliza clones em comparação com plantios seminais.

3.3. Modelagem de Crescimento em Altura Dominante (Hd)

Nas associações entre as variáveis (Tabela 7), podemos afirmar que existe uma correlação linear positiva ou negativa e altamente significativa ao nível de 1% de probabilidade (p valor < 0,01), para todas as interações na matriz de correlação.

Tabela 7 - Matriz de correlação linear de Pearson (r) entre as variáveis dos modelos de crescimento em Hd para os plantios clonais de 2010, 2012 e 2013 de *Tectona grandis* Linn F., no município de Capitão Poço, PA.

Variáveis	Hd	I	Ln Hd	I ² /Hd	I ²	I ³	Ln I	1/I	(Ln I) ²
Hd	1								
I	0,92**	1							
Ln Hd	0,99**	0,89**	1						
I ² /Hd	0,86**	0,99**	0,83**	1					
I ²	0,88**	0,98**	0,84**	0,99**	1				
I ³	0,83**	0,94**	0,77**	0,96**	0,99**	1			
Ln I	0,92**	0,97**	0,91**	0,94**	0,91**	0,83**	1		
1/I	-0,87**	-0,90**	-0,89**	-0,85**	-0,80**	-0,71**	-0,98**	1	
(Ln I) ²	0,91**	1,00**	0,88**	0,99**	0,99**	0,95**	0,96**	-0,87**	1

Hd= Altura Dominante; I= Idade; **significativo ao nível de 1% de probabilidade (p valor \leq 0,01).

Os resultados mostraram que as variáveis envolvidas nos modelos escolhidos (dependente e independentes) expressam fortes correlações entre elas. Segundo Shimakura (2006), as correlações fortes e muito fortes variam de 0,7 a 0,89 e 0,9 a 1,00, respectivamente. A maioria das correlações foram positivas, indicando que o aumento de uma variável implicará no aumento da outra variável, com exceção das associações que tiveram a variável inverso da idade (1/I), o que mostra que com o aumento de uma variável implicará na diminuição da outra.

Portanto, como as correlações foram significativas, os seis modelos de crescimento de Hd em função da I (Tabela 8), foram ajustados aos dados de 7 anos de monitoramento do plantio clonal de teca. Verificou-se que a regressão em todos os modelos foi altamente significativa; coeficientes de determinação ajustado variando de 80,11% a 97,84%; erro padrão da estimativa em porcentagem com valores entre 9,2% a 14,0%; e desvio médio percentual entre -2,0% a -0,4%.

Tabela 8 - Valores das medidas de precisão das equações de crescimento em Hd ajustadas aos dados do plantio de 2010 de *Tectona grandis* Linn F., localizado no município de Capitão Poço, PA.

Nº	Equações	Coefficientes	teste t	R ² aj.%	Syx%	DMP%	F	VP
1	Hd= b ₀ + b ₁ I + b ₂ I ² + b ₃ I ³	b ₀ = 4,58486	0,0049	89,42	9,3	-0,7	96,8**	10
		b ₁ = 2,93345	0,0641					
		b ₂ = -0,31399	0,4703					
		b ₃ = 0,02283	0,5247					
2	Hd = b ₀ I ^{b₁}	b ₀ = 1,94035	< 0,001	90,88	9,4 ⁽¹⁾	-0,4	300**	8
		b ₁ = 0,45181	< 0,001					
3	Hd = b ₀ e ^{b₁ I}	b ₀ = 1,92509	< 0,001	88,47	10,2 ⁽¹⁾	-0,5	261**	12
		b ₁ = 0,14138	< 0,001					
4	Hd = I ² /(b ₀ + b ₁ I + b ₂ I ²)	b ₀ = -0,17513	0,0756	97,84	10,4 ⁽¹⁾	-2,0	772**	12
		b ₁ = 0,26766	0,0001					
5	Hd = e ^(b₀ + b₁ 1/I)	b ₀ = 2,84632	< 0,001	80,11	14,0 ⁽¹⁾	-0,9	138**	17
		b ₁ = -0,96034	< 0,001					
6	Hd = b ₀ e ^{(b₁ Ln I + b₂ (Ln I)²)}	b ₀ = 1,97524	< 0,001	91,34	9,2 ⁽¹⁾	-0,4	180**	4
		b ₁ = 0,31789	0,0007					
		b ₂ = 0,06802	0,0085					

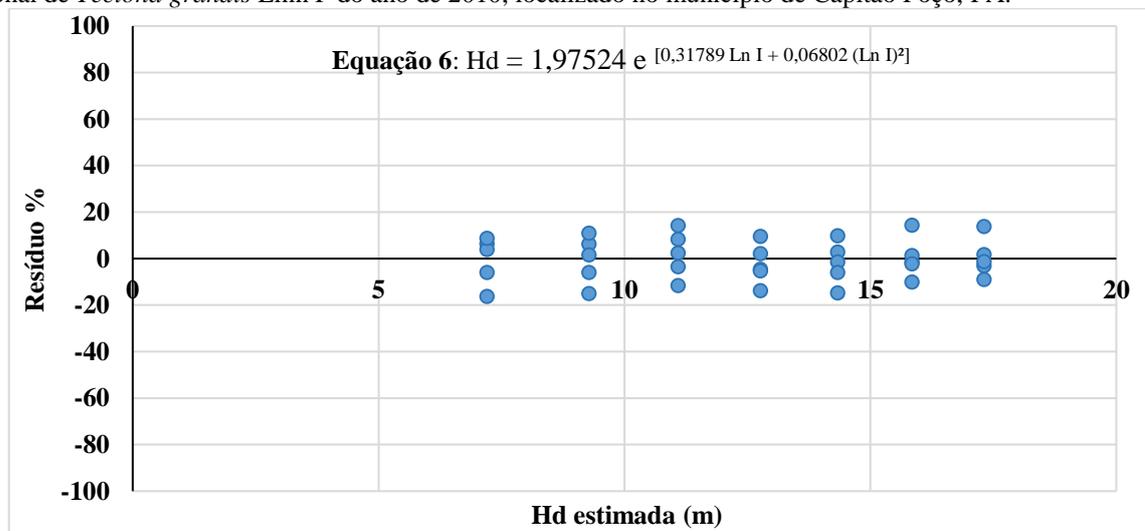
Nota: b_i= coeficientes de regressão estimados; e= base do logaritmo natural; R²aj%= Coeficiente de determinação ajustado; Syx%= Erro padrão da estimativa em porcentagem; DMP%= Desvio médio percentual; F= valor calculado do teste F; VP= valor ponderado; ⁽¹⁾= erro padrão da estimativa em porcentagem recalculado; ** significativo ao nível de 1% de probabilidade (*p* valor ≤ 0,01).

As equações 2, 4 e 6 apresentaram os R²aj% mais elevados, todos acima de 90%. Quanto ao erro padrão da estimativa em porcentagem, foram observados melhores resultados nas

equações 1, 2 e 6, com valores abaixo de 10%. Os valores de desvio médio percentual mais próximos de zero foram encontrados para as equações 2 e 6 (-0,4%), mostrando que estas equações superestimam os valores reais de altura dominante.

Com base nos critérios estatísticos e hierarquização foi constatado que o equação matemática que apresentou melhor ajustamento aos dados do plantio de teca no plantio 2010, sendo recomendada para construção da curva guia, foi a equação 6 (VP= 4), pelo fato de gerar medidas de precisão mais satisfatórias em relação aos demais, com o valor de R^2_{aj} indicando que a equação explica 91,34% da variação de Hd; o $S_{xy}\%$ indica que os valores de altura estimados pela equação oscilam, em média, 9,2% em relação aos valores médios reais; o resultado para o DMP% mostra, a equação superestimando em apenas 0,4% os valores reais de Hd e coeficientes significativos com p valor < 0,05. Quanto à análise gráfica da distribuição dos resíduos percentuais, verificou-se que a equação selecionada não mostra tendenciosidade, com amplitude de erro % inferior a $\pm 17\%$ (Figura 7).

Figura 7 - Distribuição dos resíduos da melhor equação matemática de crescimento em Hd ajustada ao plantio clonal de *Tectona grandis* Linn F do ano de 2010, localizado no município de Capitão Poço, PA.



A qualidade de ajuste gerada pela equação desenvolvida neste trabalho foi superior ao observado em estudos de modelagem de crescimento em Hd para povoamentos de *T. grandis*, conduzidos por Conceição et. al., (2012), em Monte Dourado, Estado do Pará e por Silva (2012) em Alta Floresta, em Mato Grosso. Nesses trabalhos os valores de S_{yx} foram superiores a 10% e de R^2_{aj} inferiores a 71%.

Os valores das estatísticas dos modelos ajustados aos dados dos plantios 2012 e 2013 de teca (Tabela 9), apresentaram F altamente significativo (p valor < 0,01), evidenciando a existência de regressão, ou seja, existe pelo menos uma variável independente na equação que

está relacionada com a variável dependente; R^2_{aj} . variando de 78,68% a 94,84%; $Syx\%$ entre 9,1% e 11,2%; e, $DMP\%$ de -1,2% a -0,2%.

Tabela 9 - Valores das medidas de precisão das equações de crescimento em Hd ajustadas aos dados dos plantios de 2012 e 2013 de *Tectona grandis* Linn F., localizado no município de Capitão Poço, PA.

Nº	Equações	Coefficientes	teste t	$R^2_{aj},\%$	$Syx\%$	$DMP\%$	F	VP
1	$Hd = b_0 + b_1 I + b_2 I^2 + b_3 I^3$	$b_0 = 4,69569$	< 0,001	85,03	9,5	-1,2	332,2**	9
		$b_1 = 3,57858$	0,0032					
		$b_2 = -0,40368$	0,3678					
		$b_3 = 0,02656$	0,5949					
2	$Hd = b_0 I^{b_1}$	$b_0 = 2,04336$	< 0,001	83,05	9,1 ⁽¹⁾	-0,6	858,6**	6
		$b_1 = 0,44048$	< 0,001					
3	$Hd = b_0 e^{b_1 I}$	$b_0 = 1,93479$	< 0,001	79,38	10,8 ⁽¹⁾	-0,8	674,8**	13
		$b_1 = 0,17863$	< 0,001					
4	$Hd = Id^2 / (b_0 + b_1 I + b_2 I^2)$	$b_0 = -0,06875$	0,0003	94,84	9,5 ⁽¹⁾	-0,2	7429,8**	5
		$b_1 = 0,16376$	< 0,001					
5	$Hd = e^{(b_0 + b_1 I/I)}$	$b_0 = 2,83391$	< 0,001	78,68	11,2 ⁽¹⁾	-0,8	646,7**	16
		$b_1 = -0,82089$	< 0,001					
6	$Hd = b_0 e^{(b_1 Ln I + b_2 (Ln I)^2)}$	$b_0 = 2,04802$	< 0,001	82,99	9,56 ⁽¹⁾	-0,6	427,9**	10
		$b_1 = 0,41186$	< 0,001					
		$b_2 = 0,01876$	0,5621					

Nota: b_i = coeficientes de regressão estimados; e= base do logaritmo natural; $R^2_{aj}\%$ = Coeficiente de determinação ajustado; $Syx\%$ = Erro padrão da estimativa em percentagem; $DMP\%$ = Desvio médio percentual; F= valor calculado do teste F; VP= valor ponderado; ⁽¹⁾= erro padrão da estimativa em percentagem recalculado; ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p \text{ valor} \leq 0,01$).

Na análise do coeficiente de determinação, destacou-se a equação matemática 4, apresentado valor acima de 90%. Pelo erro padrão da estimativa em percentagem, observa-se que a maioria das equações apresentaram os melhores resultados na análise desta medida de precisão, com erro abaixo de 10%, exceto para as equações 3 e 5.

Quanto ao desvio médio percentual, verificou-se que os valores calculados pelas seis equações, superestimaram aos valores de Hd. Os resultados foram satisfatórios, sendo bem próximos de zero, a exceção do modelo 1 (-1,2).

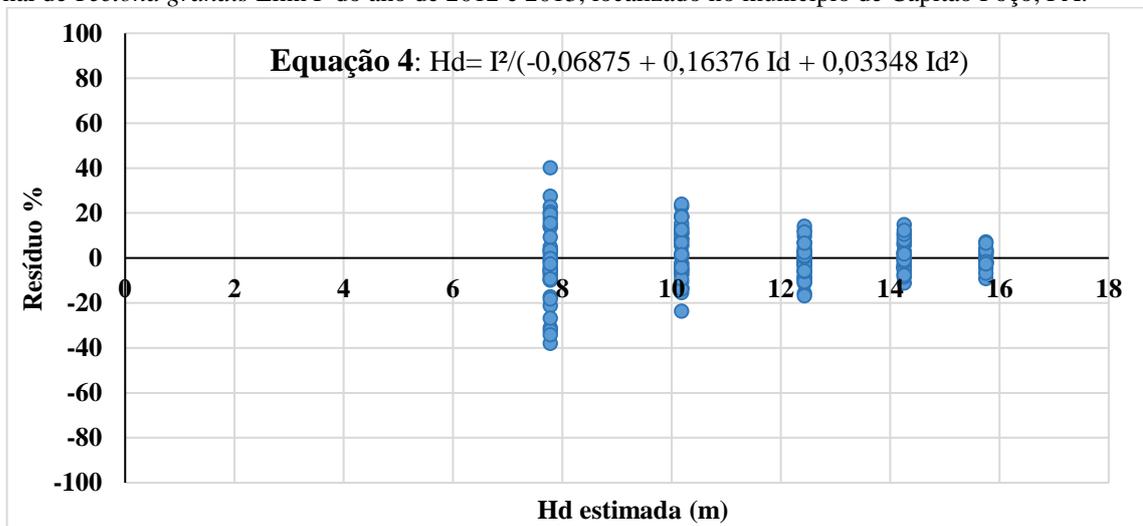
Ao se aplicarem os critérios utilizados para a seleção das equações e análise do valor ponderado, verificou-se que a melhor estimativa da altura dominante dos plantios dos anos de 2012 e 2013 para construção da curva guia foi gerada pela equação matemática 4 $Hd = Id^2 / (-0,06875 + 0,16376 Id + 0,03348 Id^2)$, com R^2_{aj} . indicando que 94,84% da variação de Hd é explicada pela equação selecionada; o resultado de $Sxy\%$ mostra que os valores de Hd estimados pela equação oscilam, em média, em torno de 9,54% em relação aos valores reais; o

DMP% mostra que a equação superestima em 0,2% os valores reais de Hd e coeficientes significativos com p valor $< 0,05$.

Estes valores de $R^2_{aj.}$ e de S_{yx} foram superiores aos encontrados nos ajustes do mesmo modelo 4 (Podran) no trabalho de Conceição et. al., (2012) e Silva (2012), porém, não foi o selecionado em ambos os estudos gerar as curvas de sítio.

Para esta equação, observou-se uma certa tendenciosidade na análise gráfica dos resíduos em porcentagem (Figura 8), tendo dispersão dos resíduos com amplitude de erro variando entre $\pm 40\%$ nas primeiras idades dos plantios, reduzindo para de 20% a partir da terceira idade. Chaves (2013) e Figueiredo (2005), também encontraram instabilidade na distribuição dos resíduos nas primeiras idades dos plantios de teca, comportamento este, justificado pela maior heterogeneidade da variável Hd em idades mais jovens. No entanto esta distribuição de resíduos não inviabiliza o uso desta equação visto que o resultado para o DMP% próximo de zero indica uma pequena superestimativa dos valores estimados de Hd em relação aos reais.

Figura 8 - Distribuição dos resíduos da melhor equação matemática de crescimento em Hd ajustada ao plantio clonal de *Tectona grandis* Linn F do ano de 2012 e 2013, localizado no município de Capitão Poço, PA.



3.4. Classificação de Sítio

Após a escolha das melhores equações para cada análise de sítio, foram construídos os SIS, sendo gerados os limites inferiores e superiores para três classes de sítios por idade para cada tratamento (Tabela 10).

Tabela 10 - Sistema de Índice de Sítio para os plantios 2010, 2012 e 2013 de *Tectona grandis* Linn F., localizado no município de Capitão Poço, PA.

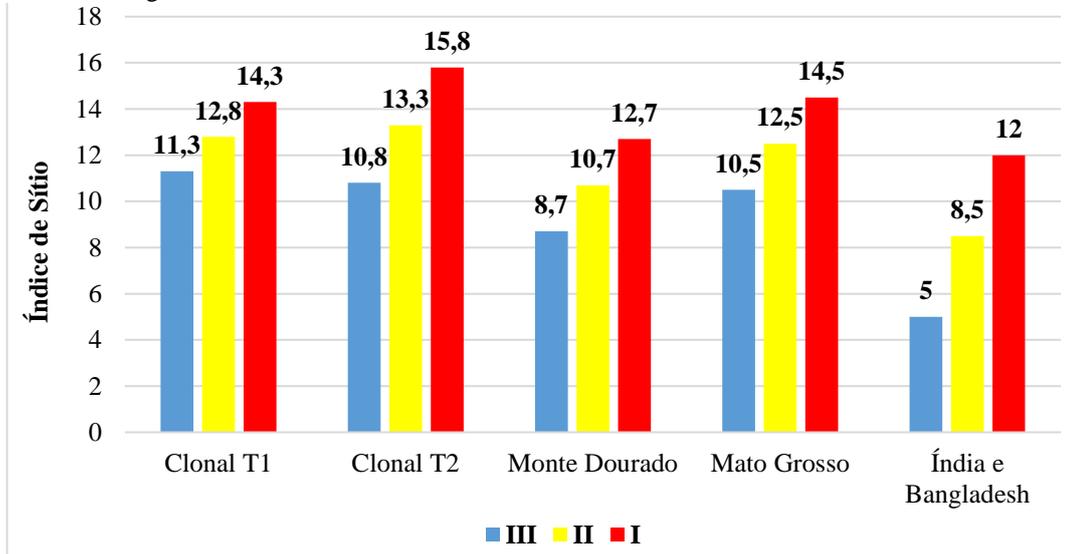
Idade (anos)	CLASSES DA CAPACIDADE PRODUTIVA								
	Classe III			Classe II			Classe I		
	Hd			Hd			Hd		
	LI	Xi	LS	LI	Xi	LS	LI	Xi	LS
Plantio 2010									
1	5,9	6,4	6,8	6,8	7,2	7,6	7,6	8,0	8,5
2	7,6	8,2	8,7	8,7	9,3	9,8	9,8	10,4	10,9
3	9,1	9,8	10,4	10,4	11,1	11,7	11,7	12,4	13,0
4	10,5	11,3	12	12	12,8	13,5	13,5	14,3	15
5	11,8	12,6	13,5	13,5	14,3	15,2	15,2	16,0	16,9
6	13	14	14,9	14,9	15,8	16,8	16,8	17,7	18,6
7	14,2	15,3	16,3	16,3	17,3	18,3	18,3	19,3	20,3
Plantios 2012 e 2013									
1	5,2	5,9	6,5	6,5	7,2	7,9	7,9	8,6	9,3
2	6,8	7,7	8,6	8,6	9,5	10,4	10,4	11,2	12,1
3	8,3	9,4	10,5	10,5	11,6	12,6	12,6	13,7	14,8
4	9,5	10,8	12	12	13,3	14,5	14,5	15,8	17
5	10,5	11,9	13,3	13,3	14,6	16,0	16,0	17,4	18,8

Onde: LI: limite inferior da classe, em metros; LS: limite superior da classe, em metros; Xi: centro de classe, em metros.

Os resultados demonstraram índices de sítio superiores aos encontrados por Conceição et al. (2012) em Monte Dourado no Estado do Pará em plantios seminais de teca (Figura 9), onde determinaram 3 classes de sítio, obtendo valores de 12,7, 10,7 e 8,7 m, para as classes I, II e III, respectivamente, ao quinto ano. Em relação ao registo de teca em outro Estado, comparou-se com trabalho de Cruz et al. (2008) ao quarto ano no município de Tangará da Serra em Mato Grosso, onde os valores de altura dominante foram inferiores, com 14,5, 12,5 e 10,5 m para

classes de alta, média a baixa produtividade, exceto no tratamento do plantio 2010 no sítio mais produtivo que o IS foi de 14,3 m.

Figura 9 – Comparação dos índices de sítio por classe de produtividade em plantios de *Tectona grandis* Linn F.no Brasil, Índia e Bangladesh.

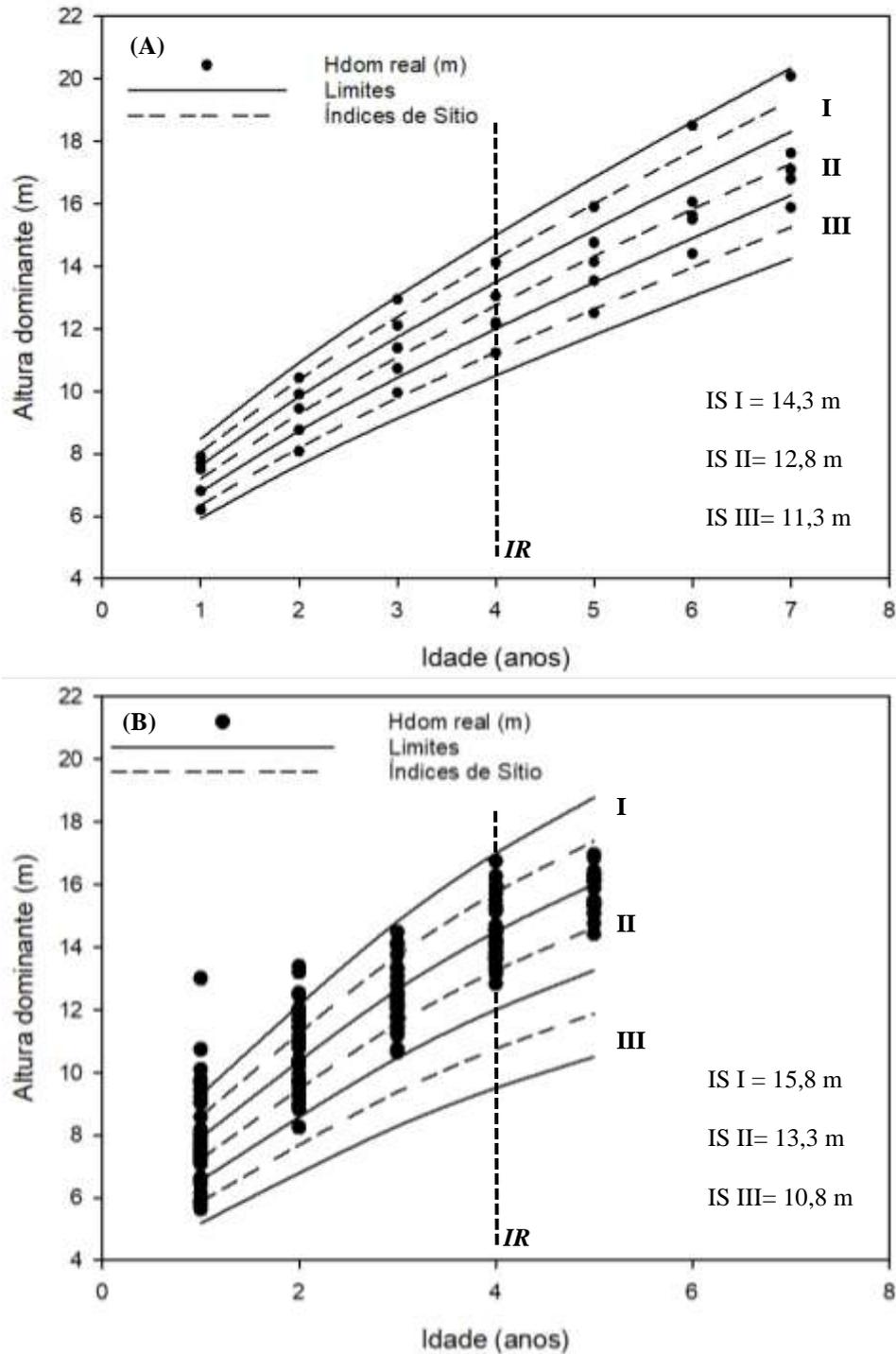


Estudos realizados por Sajjaduzzaman et al. (2005) em Bangladesh e Upadhyay et al. (2005) na Índia, ambos desenvolvidos no continente asiático, demonstraram valores de altura dominante inferiores, com altura dominante a baixo de 5 m em piores sítios e menor que 12 m em melhores sítios em idades próxima a idade de referência de 4 anos como do presente estudo.

Como apresentado, percebe-se que os plantios clonais de teca em comparação com outros povoamentos seminais em diferentes locais, apresentou melhores resultados de crescimento em altura, mostrando que os sítios possuem um potencial produtivo satisfatório para o desenvolvimento desta espécie melhorada na área de pesquisa.

As curvas de índice de sítio (Figura 10) foram geradas a partir das equações selecionadas nas Tabelas 8 e 9.

Figura 10 - Curvas de Índice de Sítio pelo método da curva guia para os plantios 2010 (A), 2012-2013 (B) de *Tectona grandis* Linn F., localizado no município de Capitão Poço, PA.



Com as curvas de sítio geradas, plotou-se os valores médios das altura dominante observadas por parcela em cada idade, onde percebeu-se um comportamento instável da Hd dentro das respectivas classes até o terceiro e segundo ano, no plantio 2010 (T1) e plantios 2012 e 2013 (T2), respectivamente. Porém, a partir destas idades, observa-se uma estabilidade no padrão de crescimento em Hd com as curvas geradas representando satisfatoriamente.

De acordo com Machado et al. (1997), conforme um povoamento vai se tornando mais velho, a uma maior homogeneidade da altura dominante com menores variações e uma estabilização dentro das suas respectivas curvas de sítio geradas. Portanto, o autor não sugere classificar sítios em idades jovens, explicando-se assim, o comportamento instável nas idades iniciais no presente estudo. Esta justificativa, explica os pontos de altura dominante fora das curvas de sítio geradas nas duas primeiras idades dos plantios 2012 e 2013, onde o intervalo de 2,5 m não foi suficiente para englobar todos os dados nestas idades. Comportamento semelhante também foi encontrado nos estudos de Ziech et al. (2016) em Mato Grosso e Figueiredo (2005) no Acre, ambos em plantios de teca, verificando dados de Hd em idades jovens fora das curvas.

Um das formas para reduzir esses valores fora das curvas seria o emprego de intervalos entre classes maiores e o aumento do número de classes, porém de acordo com Figueiredo (2005), a adoção de intervalo maiores que 4 ou 5 m, seria pouco realista para a espécie, por não possuir característica de um acelerado crescimento em altura nas idades iniciais, o que pode confundir o entendimento do comportamento da espécie.

Observou-se nos plantios 2012 e 2013, que a partir do terceiro ano, sítios de qualidade média a alta produtividade (Tabela 11). Apresentaram na idade referência (IR), 18 parcelas enquadradas na Classe II e 6 parcelas na Classe I, enquanto que o plantio 2013 apresentou 5 parcelas com capacidade produtiva considerada média (Classe II) e 9 parcelas com capacidade produtiva considerada alta (Classe I). O plantio 2010, por sua vez, apresentou as Classes I e III sendo representadas com 1 parcela cada e 3 parcelas estiveram enquadradas na Classe II de qualidade de sítio.

Tabela 11 - Número de parcelas por classe de produtividade por ano de plantio na idade de referência de *Tectona grandis* Linn F., localizado no município de Capitão Poço, PA.

<i>Ano do plantio</i>	<i>Classe</i>	<i>nº de parcelas</i>
2010	I	1
	II	3
	III	1
2012	I	6
	II	18
	III	-
2013	I	9
	II	5
	III	-

4. CONCLUSÃO

Os resultados do estudo revelaram que existem unidades produtivas com características bio-edafo-climáticas (sítio) diferenciadas nos plantios clonais de *Tectona grandis* Linn F., localizado no município de Capitão Poço, PA, classificados como sítios com capacidades produtivas baixa, média a alta, com índice de sítio para cada local servindo de base para tomada de decisão no planejamento e condução dos plantios clonais de teca da empresa Tietê Agrícola LTDA.

5. RECOMENDAÇÃO

Recomenda-se a continuidade deste tipo de monitoramento ao longo do tempo até a idade final de rotação do povoamento, de modo a ajustar a curva de crescimento com altura dominante a cada nova coleta de dados, tendo-se, a cada informação de campo, uma maior confiabilidade nas análises da capacidade produtiva do povoamento.

6. REFERÊNCIAS

- ALVARADO, A.; MATA, R. **Condiciones de sitio y la silvicultura de la teca**. In Camino, R., Morales J.P. (eds): Plantaciones de Teca Mitos y Realidades. Turrialba, Costa Rica: CATIE, p. 54-85. 2013.
- BATISTA, J. L. F.; COUTO, H. T. Z. Escolha de Modelos Matemáticos para a Construção de Curvas de Índice de Sítio para Florestas Implantadas de *Eucalyptus sp* no Estado De São Paulo. **IPEF**, n.32, p.33-42, Abril, 1986.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Departamento de Produção Mineral. **Projeto RADAM. Folha SA. 23 São Luiz e parte da folha SA. 24 Fortaleza; geologia; geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra**. Rio de Janeiro, 1973.
- BRASIL. Sistema de Proteção da Amazônia. SIPAM. Centro Regional de Belém. CR-BE. **Zoneamento Climático. Relatório Preliminar**. Zoneamento Ecológico Econômico do Pará. Rio de Janeiro, 2009.
- CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: Perguntas e respostas**. 2º ed. p. 470. e ampl. UFV. Viçosa, MG. 2006.
- CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: Perguntas e respostas**. 5º ed. Atual. E ampl. UFV. Viçosa, MG. 2017.
- CHAVES, A. G. S. **Modelagem do crescimento e da produção de *Tectona grandis* L. f. até a idade de rotação**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Faculdade de Engenharia Florestal, Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais, Cuiabá, 2013.
- CHIES D. **Influência do espaçamento sobre a qualidade e o rendimento da madeira serrada de *Pinus taeda* L.**. Curitiba: Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 2005.
- CONCEIÇÃO, F. X.; DRESCHER R.; PELISSARI, A. L.; LANSSANOVA, L R.; FAVALESSA, C. M. C.; ROQUETTE, J. G. Capacidade produtiva local de *Tectona grandis* em Monte Dourado, Estado do Pará, Brasil. **Ciência Rural**, v.42, n. 5, p.822-827. Santa Maria, maio, 2012.
- CRUZ, J.P.; SOARES, C. P. B.; CAMPOS, J. C. C.; SMIT, L.; NOGUEIRA, G. S. Curvas de crescimento e de índice de local para povoamentos de *Tectona grandis* em Tangará da Serra, Mato Grosso. **Revista Árvore**, v.32, n. 4, p.679-685, 2008.
- FIGUEIREDO, E. O. **Avaliação de povoamentos de teca (*Tectona grandis* L. f.) na microrregião do Baixo Rio Acre**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.
- FOLONI, José Marcos; HACK, Edson; TZIBOY, Edgar. **Levantamento da capacidade de uso do solo das Fazendas São Luiz e Veneza para fins silviculturais da teca (*Tectona grandis* L.f.)**. Solo Engenharia Agroflorestal. Cuiabá, MT, 2010.

INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia.** Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/>>. Acesso: 01 fev. 2018.

JEREZ RICO, Mauricio; COUTINHO, Sylvio de Andrade. Planted Teak Forests. In:___ KOLLERT, Walter; KLEINE, Michael. **The Global Teak Study.** Analysis, Evaluation and Future Potential of Teak Resources. IUFRO World Series Volume 36. Vienna. 108 p. 2017.
KOLLERT, W.; KLEINE, M.. **The Global Teak Study.** Analysis, Evaluation and Future Potential of Teak Resources. IUFRO World Series, v. 36, p. 108. Vienna, 2017.

MACHADO, S.A. Curvas de índice de sítio para plantações de *Pinus taeda* L. na região central do Estado do Paraná. **Floresta**, Curitiba, **11**(2): 4-18, 1980.

MACHADO, S. A.; OLIVEIRA, E. B.; CARPANEZZI, A. A.; BARTOSZECK, A. C. P. S. Classificação de sítio para bracingais na região metropolitana de Curitiba. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 35, p. 21-37, jul./dez, 1997.

MENEGOL, O. **Índice de sítio e relação entre altura dominante e teores nutricionais das acículas em povoamentos de *Pinus elliottii* var. *elliottii* no segundo planalto paranaense.** 74 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1991.

MIGUEL, E. P.; ENCINAS, J. I.; REZENDE, A. V.; FERREIRA, J. C. S.; AGUIAR, G. P. Classificação de sítio para plantios de *Eucalyptus urophylla* EM niquelandia, Estado de Goiás. **Enciclopedia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.7, n.12; p.1, 2011.

PELLISSARI, A. L., CALDEIRA, S. F., DRESCHER, R. Desenvolvimento Quantitativo e Qualitativo de *Tectona grandis* L.f. em Mato Grosso. **Floresta e Ambiente**, 2013.

PELLISSARI, A. LI.; GUIMARÃES, P. P.; BEHLINNG, A.; EBLINNG, Â. A. Cultivo da teca: Características da espécie para implantação e condução de povoamentos florestais. **Agrarian Academy**, Centro Científico Conhecer – Goiânia, v.1, n.01; p.128, 2014.

PELLICO NETTO, S. P.; BRENA, D. A. **Inventário Florestal.** Curitiba: Editorado pelos autores, 1997.

ROSSI, A. S.; DRESCHER, R.; PELLISSARI, A. L.; LANSSANOVA, L. R. Relação hipsométrica e crescimento de *Tectona grandis* L.f. no município de Monte Dourado PA. **Scientia Forestalis**, v. 39, p. 301-307. Piracicaba, 2011.

SAJJADUZZAMAN, M. et al. Site index for teak (*Tectona grandis* Linn F.) in forest plantations of Bangladesh. **International Journal of Agriculture and Biology**, v.7, n.4, p.547-549, 2005.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** Embrapa, p. 353. 2013.

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P.; SOUZA, C. A. M. **Análise de regressão aplicada à engenharia florestal.** 2. ed. rev. e ampl.-Santa Maria: Facos, p. 294, 2009.

SCOLFORO, José Roberto. **Biometria Florestal: Modelos de crescimento e Produção Florestal**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2006.

SCOLFORO, José Roberto. **Mensuração florestal: Avaliação da produtividade florestal através da classificação do sítio**. Lavras, ESAL/FAEPE, 1993.

SHIMAKURA, S. E. **Coefficiente de correlação**. 2006. Disponível em: <http://leg.ufpr.br/~silvia/CE003/node74.html>. Acesso em: 25 de jun. 2017.

SILVA, F. R. **Crescimento e produção de *Tectona grandis* L.f em um plantio no Município de Alta Floresta – MT**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) - Universidade Federal de Mato Grosso, Faculdade de Engenharia Florestal, Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais, Cuiabá, 2012.

TONINI, H.; COSTA, M.C.G; SCHWENGBER, L.A.M . Crescimento da teca (*Tectona grandis*) em reflorestamento na Amazônia setentrional. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, 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**, v. 212, n. 1, p. 14-22. Amsterdam, 2005.

VIEIRA, L. S. **Manual de Ciência do solo com ênfase aos solos tropicais**. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, p. 464, 1988.

ZIECH, Beno Guilherme; SILVA, Versides Sebastião de Moraes; DRESCHER Ronaldo; VENDRUSCOLO, Diogo Guido Streck. Modelos de crescimento em altura dominante e índice de sítio para teca em Glória d'Oeste-MT. **Rev. Bras. Biom.** v.34, n.4, p.533-542, Lavras, 2016.

CAPÍTULO II – Variabilidade espacial da capacidade produtiva em plantios clonais de *Tectona grandis* Linn F. em Capitão Poço, Estado do Pará, Brasil.

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda por produtos florestais requer o uso de técnicas eficientes de manejo para uma melhor gestão florestal. A determinação da capacidade produtiva de cada povoamento dentro de uma unidade de manejo é imprescindível para que o crescimento e a produção florestal possam ser prognosticadas (BRANDELERO et al., 2007). Tal determinação depende de informações oriundas de inventários capazes de representar fidedignamente tal capacidade (SANQUETA et al., 2006). No entanto, a maior parte das análises da produção e da produtividade das florestas plantadas são feitas por intermédio de métodos tradicionais, que empregam uma medida de tendência central e uma de dispersão para explicar um determinado fenômeno, sem avaliar as possíveis correlações entre as observações vizinhas (PELLISSARI et al., 2012).

Neste contexto, na silvicultura existe técnica de manejo e condução dos processos de produção das florestas, tendo como base informações prévias acerca da variabilidade espacial (e em alguns casos, temporal) de atributos de interesse dos povoamentos florestais (BRANDELERO et al., 2007). De acordo com Vettorazzi e Ferraz (2000), esta técnica é uma forma de gerenciamento das atividades silviculturais, a qual proporciona intervenções eficientemente pontuais na floresta, com precisões satisfatórias.

Atualmente, vem ganhando destaque, sobre técnicas determinísticas, a geoestatística, ferramenta que consiste na inferência de valores de variáveis que possuem influência dependência espacial (por vezes chamadas de variáveis regionalizadas). Tal análise é realizada por meio da modelagem variográfica, com a consequente construção de um gráfico de semivariograma, para posterior elaboração de mapas logísticos por meio da interpolação ou estimativa dos dados (CARVALHO et al., 2012). A geoestatística tem como base fundamental uma função espacial cuja variação ocorre de forma proporcional de ponto a ponto (biponto). Isto torna possível, a partir de dados amostrados, a estimativa de determinado atributo em locais não amostrados (CAMBARDELLA et al., 1994). Segundo Yamamoto e Landim (2013), existem amostragens aleatória simples, aleatória estratificada e sistemática, onde afirmam que esta última gera melhores resultados do fenômeno espacial, reproduzindo de uma melhor maneira a distribuição e a variabilidade de uma variável, sendo uma malha regular estabelecida a partir de um ponto inicial aleatório.

Em se tratando de florestas, a geoestatística traz um conjunto de práticas que possibilita analisar e modelar a estrutura espacial de certas variáveis, permitindo a elaboração de mapas que podem apontar fatores limitantes e/ou locais com baixo desenvolvimento florestal (ORTIZ, et al., 2006). Na geoestatística, o método de interpolação mais empregado é o da krigagem, onde se atribui pesos às amostras espaciais, sendo tais pesos atribuídos com base em uma média ponderada e a partir da construção do semivariograma, um conjunto de técnicas baseadas numa estrutura de correlação espacial (SOUZA et al., 2010). Para Hock et al. (1993) e Pelissari et al. (2012), a geoestatística mostra-se como uma importante ferramenta para verificar a distribuição espacial da altura dominante para análise da capacidade produtiva do sítio florestal e delimitação de locais homogêneos de manejo e aplicação de práticas silviculturais de precisão durante a rotação da cultura.

No presente estudo parte-se da premissa que o zoneamento da capacidade produtiva entre, e dentro dos talhões clonais de teca, possibilita um melhor planejamento de atividades para o sucesso do plantio, servindo de base para o gerenciamento de atividades silviculturais como adubação, desrama, desbaste e entre outras, intervindo-se assim, estrategicamente nas unidades produtivas. Diante disso, levantou-se o seguinte questionamento: A capacidade produtiva do plantio clonal de *Tectona grandis* Linn F. apresenta dependência espacial que possibilite mapear o potencial produtivo do povoamento utilizando a análise geoestatística?

A hipótese estabelecida para verificar a questão apresentada é a seguinte:

O potencial produtivo *Tectona grandis* Linn F possui dependência espacial, logo é possível mapear esse potencial utilizando a análise geoestatística.

Desta forma, o referido capítulo tem os seguintes objetivos:

OBJETIVO GERAL

Mapear a variabilidade espacial da capacidade produtiva de plantios clonais de *T. grandis*, na fazenda São Luiz, no município de Capitão Poço, PA.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

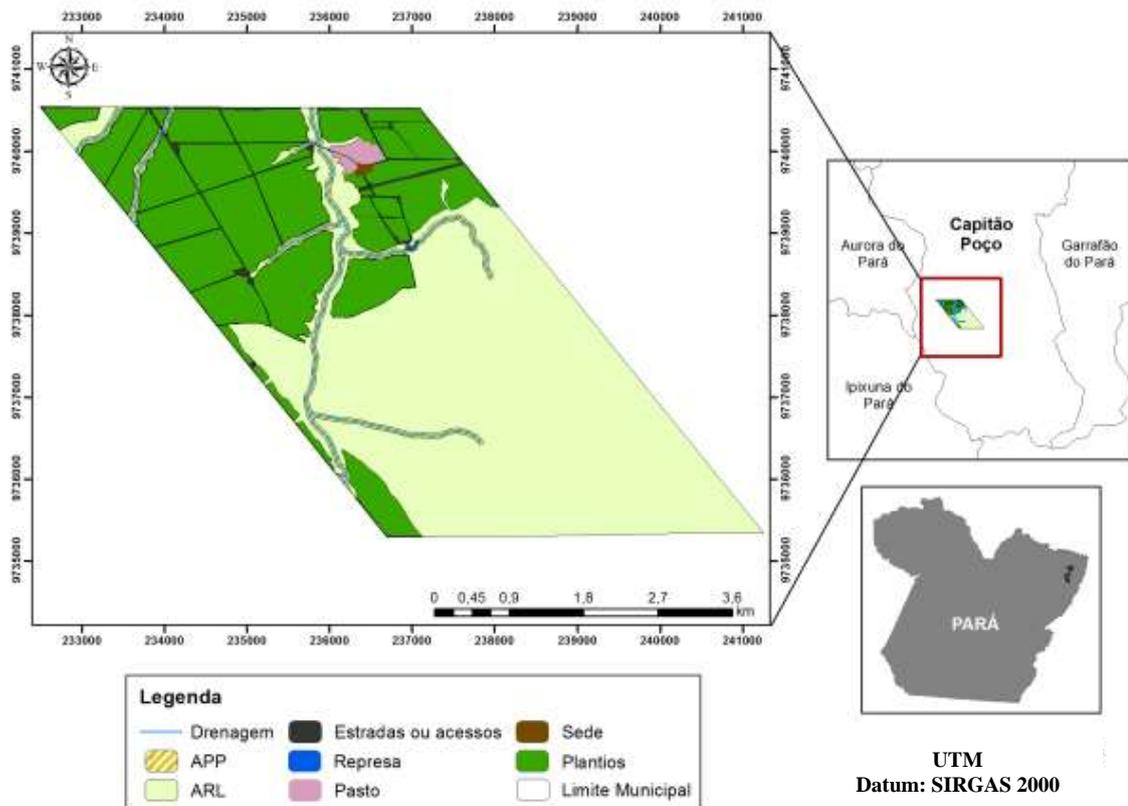
- Analisar a variabilidade espacial da altura dominante por meio da geoestatística usando modelos de semivariograma.
- Gerar mapa de predição da capacidade produtiva por meio de krigagem, visando maior precisão no zoneamento das unidades produtivas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Localização da área de estudo

O estudo foi desenvolvido em um povoamento clonal de teca situado na fazenda São Luiz no município de Capitão Poço, Estado do Pará, pertencente à empresa Tiête Agrícola LTDA. A área da fazenda (2.399,62 ha) situa-se entre as coordenadas geográficas $2^{\circ}30'00''S$; $47^{\circ}20'0''W$ e $2^{\circ}20'0''S$; $47^{\circ}30'0''W$, tendo 833,03 ha de plantio florestal como ilustrado na Figura 11.

Figura 11 - Localização da fazenda São Luiz, no município de Capitão Poço, PA.



Fonte: O autor

2.2. Caracterização do plantio

Foram monitorados dez talhões clonais de teca, cujas atividades silviculturais foram semelhantes envolvendo a subsolagem na mesma profundidade, e a mesma quantidade de insumos utilizados tais como fertilizantes e herbicidas, obedecendo a sequência operacional

conforme apresentada na Tabela 12, de acordo com informações fornecidas pela empresa detentora do povoamento:

Tabela 12 - Lista de atividades operacionais silviculturais e suas características implantadas nos plantios clonais de *Tectona grandis* Linn F. na fazenda São Luiz, em Capitão Poço, PA.

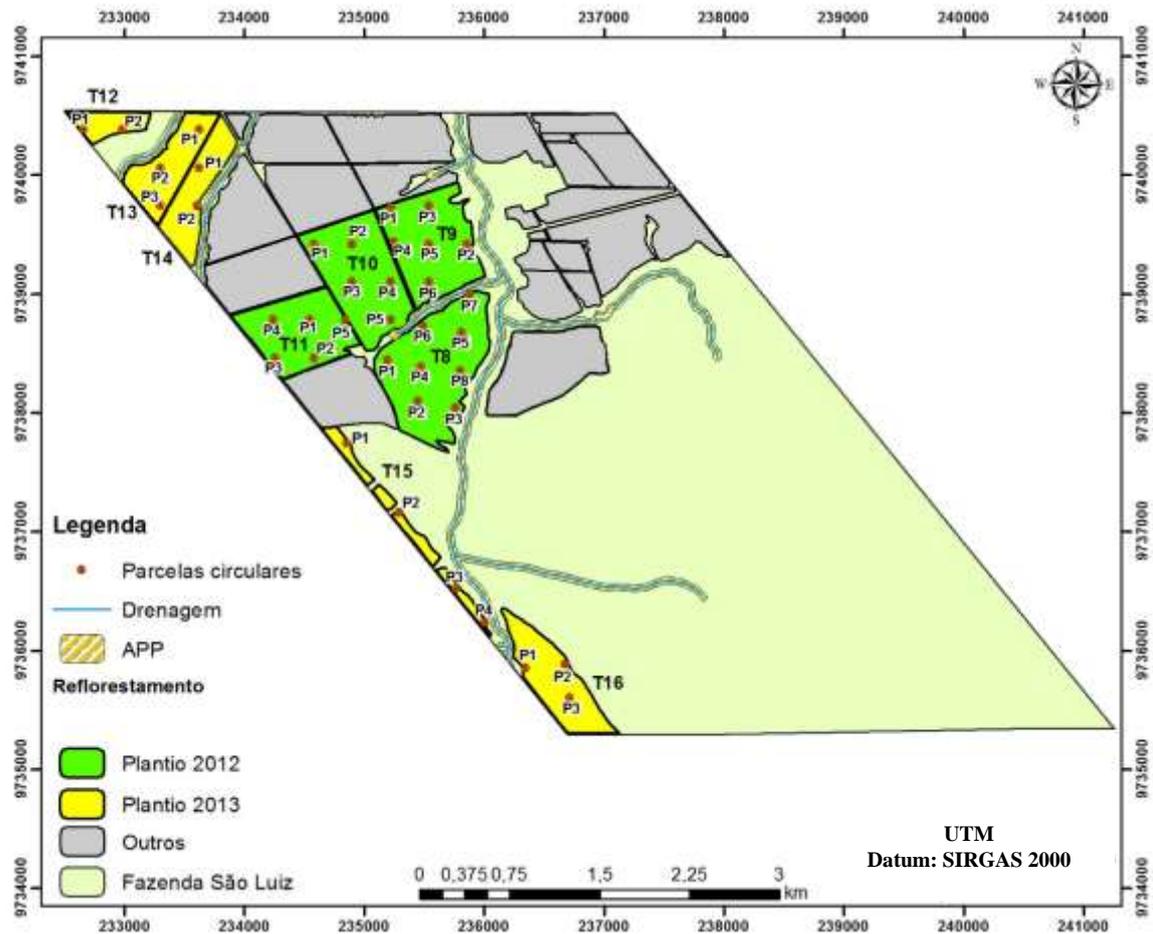
<i>Atividade operacional de silvicultura</i>	<i>Características das atividades</i>	<i>Ano</i>
Combate à formiga	Com iscas formicidas	0
Limpeza da área	Mecanizada	0
Subsolagem	Mecanizada	0
Calagem	4 toneladas de calcário por hectare (ha)	0
Plantio	Manual	1
Replantio	Manual (>10% de perda)	1
Adubação de arranque	NPK, KCl	1
Coroamento	Enxada	1
Roçagem	Semi e mecanizada com trator hidráulico	1 ao 5
Desrama	Serra e Motopoda	1 ao 5
Adubação de Manutenção	Boro, KCl	1,3 e 5
Desbaste	Semi-mecanizado	5

Fonte: O autor

2.3. Coleta de dados

O monitoramento dos plantios 2012 e 2013, foi realizado por meio de inventário florestal com parcelas permanentes a partir do ano de 2013, sempre nos meses de julho de cada ano até a última coleta em 2017. O sistema de amostragem adotado foi método de área fixa, com parcelas circulares com raio de 12,61 metros cada, com uma área de aproximadamente 500m². O processo de amostragem empregado foi o sistemático, onde as parcelas foram distribuídas em uma grade de 320 x 320 m aplicada à todos os plantios. As parcelas alocadas e monitoradas estão ilustradas na Figura 13.

Figura 12 - Mapa da fazenda São Luiz com distribuição das parcelas amostrais dos plantios clonais de *Tectona grandis* Linn F. na fazenda São Luiz dos anos de 2012 e 2013, em Capitão Poço, PA.



Fonte: O autor

Na Tabela 13 é apresentado o número de parcelas com suas respectivas áreas por idade dos plantios clonais monitorados.

Tabela 13 - Informações dos talhões com suas respectivas áreas por idade dos plantios clonais de *Tectona grandis* Linn F. na fazenda São Luiz, em Capitão Poço, PA.

Ano de plantio	Talhões	Nº de parcelas	Área por talhão (ha)	Área amostrada (m ²)
2012	8	8	77,01	4000
	9	6	56,97	3000
	10	5	61,1	2500
	11	5	47,59	2500
2013	12	2	11,54	1000
	13	3	29,52	1500
	14	2	28,38	1000
	15	4	15,87	2000
	16	3	37,40	1500

As variáveis dendrométricas coletadas foram: altura total (Ht) em metros, diâmetro à altura do peito (DAP) em centímetros e idade. Ainda no campo, com dados de DAP, aplicou-se a definição de Assmann para determinar os indivíduos com altura dominante, ou seja, a altura média aritmética dos 100 indivíduos mais grossos por hectare (SCOLFORO, 1993). Como as parcelas são de 500m², isso resultou em cinco árvores por parcela, onde cada parcela teve um valor de Hd. Os instrumentos utilizados para a mensuração foram: Hipsômetro Vertex para a altura total, fita diamétrica para o DAP, GPS (Garmin).

2.4. Limites de Classes de Sítio

Na Tabelas 14, são apresentados os limites das classes produtivas que servirão de base para análises dos itens posteriores.

Tabela 14 - Limites das classes de sítio dos plantios clonais de teca do ano de 2012 e 2013.

Classe de Sítio	Classificação	LI	LS
Classe III	Capacidade Produtiva Baixa	9,5	12
Classe II	Capacidade Produtiva Média	12	14,5
Classe I	Capacidade Produtiva Alta	14,5	17

Onde: LI: Limite Inferior; LS: Limite Superior, em metros.

2.5. Análise geoestatística da variável

Após análise estatística convencional da variável, a hipótese foi testada pela análise da variabilidade espacial por meio da Geoestatística, sendo, portanto, necessário utilizar-se de suas informações posicionais usando as coordenadas em UTM previamente obtidas em campo. Esta análise consistiu de dois procedimentos gerais: análise variográfica e interpolação por krigagem.

2.5.1. Ajuste de modelos geoestatísticos

Com base no posicionamento da Hd de cada parcela, foi efetuado o cálculo para estimativa do gráfico semivariograma. A partir da obtenção deste gráfico, foram analisados os seguintes atributos do mesmo: Alcance (α), no intuito de se verificar até que ponto a variável analisada possui dependência espacial (variável regionalizada); Patamar (ϵ), o qual indica o

nível de variabilidade espacial da variável até determinado ponto, e o efeito pepita (C_0) para averiguar a existência de irregularidades na origem do semivariograma. Além disso, para verificar o nível de anisotropia de Hd na área de estudo, avaliou-se sua variabilidade espacial para os ângulos 23°, 68°, 112° e 157°.

Foi calculado o índice de dependência espacial (IDE %) da variável pela razão $\frac{C_0}{C_0 + \epsilon}$, onde C_0 é o efeito pepita do patamar e $C_0 + \epsilon$ é o patamar. Com base no valor de IDE % obtido, foi utilizada a classificação de Cambardella et al. (1994) para verificar o grau de dependência espacial (Tabela 15). De acordo com Vieira (1997), quanto menor a proporção do efeito pepita para o patamar, maior será a semelhança entre os valores vizinhos e a continuidade do fenômeno e menor a variância da estimativa e, portanto, maior a confiança que se pode ter nas estimativas.

Tabela 15 - Grau de dependência espacial.

Dependência Espacial	IED%
Fraca	>75%
Moderada	25% < IED % ≤ 75%
Forte	≤ 25%

Fonte: Cambardella et al. (1994), adaptado Santos (2018).

2.5.1.1. Modelos geoestatísticos

Para a estimativa da variável Hd, foram ajustados três modelos de semivariogramas para verificar qual modelo apresentou melhor ajuste e, conseqüentemente, maior eficiência em estimar a variável estudada com base nos seguintes critérios: O menor erro, medido a partir da soma de quadrados residuais (SQR); o maior coeficiente de determinação (R^2); o maior Índice de Dependência Espacial (IDE %). Os modelos utilizados são apresentados abaixo.

2.5.1.1.1. Modelo Esférico

Este modelo foi ajustado obtendo-se o efeito pepita (origem) e o patamar (limite) do semivariogramas e encontrando a reta que interceptou o eixo Y do gráfico, sendo a mesma tangente aos pontos máximos ($h=0$), como mostra a equação abaixo:

$$\gamma(h) = C_0 + \epsilon * \left[\frac{3}{2} * \frac{h}{\alpha} - \frac{1}{2} * \left(\frac{h}{\alpha} \right)^3 \right] < 0 < h < \alpha$$

Onde: C_0 : efeito pepita; ϵ : patamar; h : distância entre os pontos; α : alcance.

2.5.1.1.2. Modelo Gaussiano

Este modelo foi ajustado estimando-se a extensão do patamar com uma função parabólica próxima à origem, segundo a equação:

$$\gamma(h) = C_0 + E * \left[1 - \exp\left(-3 * \left(\frac{h}{\alpha}\right)^2\right) \right] \quad 0 < h < d$$

Onde: C_0 : efeito pepita; E : patamar; h : distância entre os pontos; α : alcance; exp: exponencial.

2.5.1.1.3. Modelo Exponencial

O modelo exponencial tem um ajuste com o exponencial atingindo o patamar assintoticamente, como representado na equação abaixo:

$$\gamma(h) = C_0 + E * \left[1 - \exp\left(-3 * \left(\frac{h}{\alpha}\right)\right) \right] \Rightarrow 0 < h < d$$

Onde: C_0 : efeito pepita; C_1 : patamar; h : distância entre os pontos; α : alcance; exp: exponencial.

2.5.2. Estimativa e Interpolação de dados (Krigagem)

Após o cálculo do semivariograma e obtenção do modelo mais eficiente em estimar a variabilidade espacial, foi feita uma predição (interpolação) da variável analisada para estimativa da área não amostrada. Para fazer essa estimativa, utilizou-se a krigagem ordinária, assumindo uma associação linear entre as amostras, por se tratar de amostragem sistemática. A partir desta estimativa, foi elaborado um mapa de interpolação da Hd para a área. Esta interpolação foi expressa pela equação:

:

$$z(X_0) = \sum_{i=1}^N \lambda * z(X_i)$$

Onde: N : Número de amostras; $z(X_i)$: valor de cada ponto da amostra; λ_i : peso de cada valor $z(x_i)$.

2.6. Softwares utilizados

Para realização do presente estudo, foram utilizados os seguintes softwares: para análise exploratória e de normalidade das variáveis foi utilizado o Software Excel 2013, mais precisamente o suplemento estatístico Action 1.1. Para ajuste dos modelos de semivariograma foi utilizado o programa GS + versão 10 e para a elaboração do mapa temático da área e interpolação dos dados por krigagem utilizou-se o software QGIS 3.0.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Análise exploratória e de Normalidade

Na Tabela 16 é apresentado o resumo estatístico da variável Hdom. Verifica-se que a média é superior à sua respectiva variância o que, normalmente, caracteriza uma distribuição tendendo a uma dependência espacial (YAMAMOTO; LANDIM, 2013).

Tabela 16 - Estatística descritiva da Altura dominante dos plantios 2012 e 2013 de *Tectona grandis* Linn F., localizado no município de Capitão Poço, PA.

Variável	Média	Desvio Padrão	Variância	Coefficiente de Variação (%)	Assimetria	Curtose	Normalidade
Hd	14,36	0,93	0,87	6,5	0,73	-0,24	p>0,05

Onde: Hd: Altura dominante.

A variável Hd apresentou coeficiente de variação inferior a 10%, considerado baixo e representativo de dados homogêneos. Quanto à assimetria e curtose, percebeu-se que a variável apresentou-se com tais parâmetros muito baixos (próximos de zero), valores de assimetria e curtose entre - 1 e 1. Estes resultados são satisfatórios para o ajuste de modelos e para a posterior interpolação de dados por krigagem, uma vez que valores elevados representariam distribuição local com pouca simetria (GREGO et al., 2006). Os dados de Hd apresentaram uma distribuição normal pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, com p valor>0,05.

3.2. Ajuste de modelos geoestatísticos

Os semivariogramas com patamar (Figuras 14, 15 e 16) mostraram que, conforme se aumenta a distância, os valores dos pontos (altura dominante) vão se diferenciando, aumentando também a covariância ou semivariância. Yamamoto e Landim (2013), comentam que esta variância se equilibra próximo de uma variância máxima, sendo denominado patamar.

Figura 13 - Semivariograma esférico para a Altura Dominante.

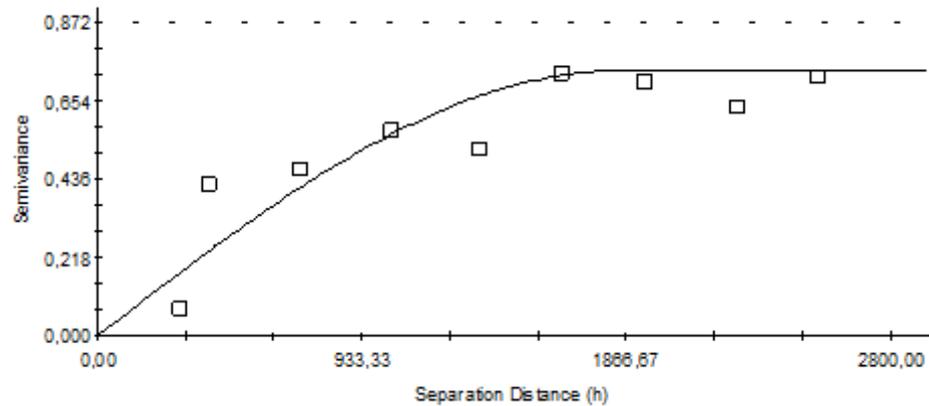


Figura 14 - Semivariograma gaussiano para a Altura Dominante.

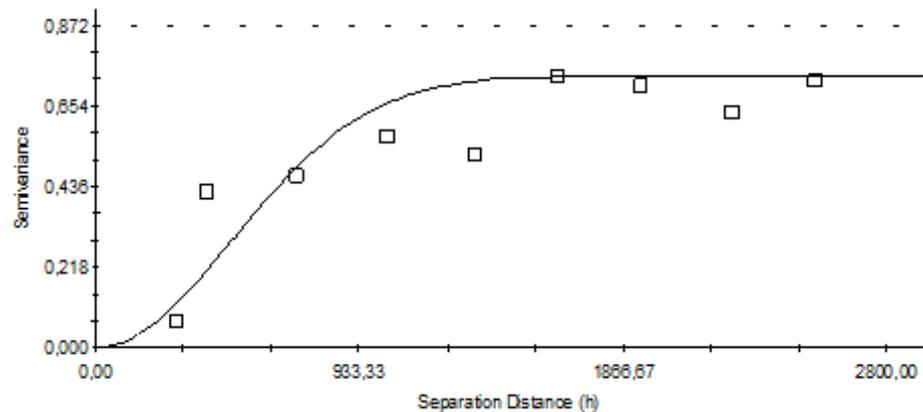
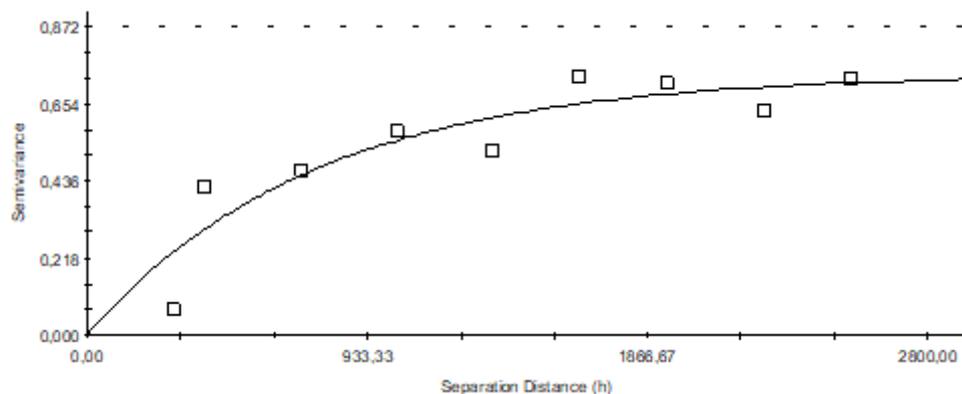


Figura 15 - Semivariograma exponencial para a Altura Dominante.



O ajuste dos modelos de semivariográficos (Tabela 17), apresentaram uma pequena variação quanto à qualidade dos ajustes. Todos apresentaram atributos de ajuste aceitáveis, com base nos critérios matemáticos considerados para a escolha do melhor modelo. Os valores do

coeficiente de determinação dos modelos selecionados foram, em sua maioria, altos, para uma estimativa adequada da variabilidade espacial de uma variável, uma vez que tal critério tem por objetivo medir a capacidade do modelo em expressar a variável resposta, de acordo com Andriotti (2003). O R^2 variou de 79,9 à 82,3% para a altura dominante.

Tabela 17 - Características dos modelos semivariográficos selecionados para predição dos IS dos plantios 2012 e 2013 de *Tectona grandis* Linn F., localizado no município de Capitão Poço, PA.

Variável	Modelo	Efeito Pepita	Patamar	IDE (%)	Alcance (m)	Dependência Espacial	R^2 (%)	SQR
Hd	Esférico	0,0150	0,7363	2,04	1818,00	Forte	80,9	0,320
Hd	Gaussiano	0,0190	0,7364	2,58	1183,16	Forte	79,9	0,425
Hd	Exponencial	0,0010	0,7383	1,35	2260,8	Forte	82,3	0,245

Onde: IDE: Índice de Dependência Espacial; R^2 : Coeficiente de Determinação; SQR: Soma de Quadrados Residual.

A soma de quadrados residual (SQR), sendo esta uma prerrogativa para a determinação do erro residual da estimativa de todos os modelos analisados, foi considerada baixa, com valores inferiores a 1. Os ajustes geraram Índices de Dependência Espacial (IDE) satisfatórios para utilização na predição dos dados. Os modelos esférico, gaussiano e exponencial apresentaram dependência espacial forte de Hd. Yamamoto e Landim (2013) consideram que o IDE% é uma condição fundamental para a predição da variável nas áreas não amostradas. De acordo com Cambardella et al. (1994), o cálculo da proporção entre o efeito pepita e seu respectivo patamar é uma das formas mais eficientes de se inferir sobre o grau de regionalização das variáveis por meio do semivariograma teórico. Com isso, o modelo de semivariograma exponencial foi o que gerou melhores estimativas da variável Hd de acordo com análise das medidas IDE, R^2 e QMR, sendo selecionado para construção do mapa de krigagem da capacidade produtiva do povoamento clonal de *T. grandis* ao quarto ano, idade índice.

Rosa Filho et al. (2011) avaliaram alguns atributos dendrométricos de um povoamento clonal de eucalipto (*Eucalyptus urophylla* S. T. Blake), tais como altura total e volume. Os resultados mostraram melhor ajuste de semivariograma com o modelo exponencial para estes atributos, constatando que este modelo é muito eficiente no ajuste de variáveis dendrométricas. Pelissari et al. (2014), realizaram um estudo com o objetivo de avaliar o crescimento de um povoamento de teca por meio da análise geoestatística. Estes autores obtiveram também o modelo exponencial como o mais satisfatório para a maioria dos dados de volume e área basal, indicando que este modelo é suficientemente eficiente para estimar a variabilidade espacial de atributos dendrométricos. Estes resultados, no entanto, discordam dos apresentados por Santos

et al. (2017), os quais obtiveram o modelo esférico e gaussiano com os melhores ajustes para estimativa da variabilidade espacial de volume em povoamentos homogêneos de teca.

Os três modelos apresentaram valores de alcance diferentes entre si. Para todos, o fenômeno espacial da variável altura dominante apresentou um comportamento anisotrópico, mostrando que a função semivariográfica se apresenta variando entre as direções de 90° a 135°, por isso, para uma melhor espacialização da variável foi utilizada a direção média de 112° para o ajuste dos modelos. Os valores de alcance apresentados na Tabela 17 representam os menores valores, os quais foram utilizados para o ajuste dos modelos, minimizando assim, o efeito anisotrópico.

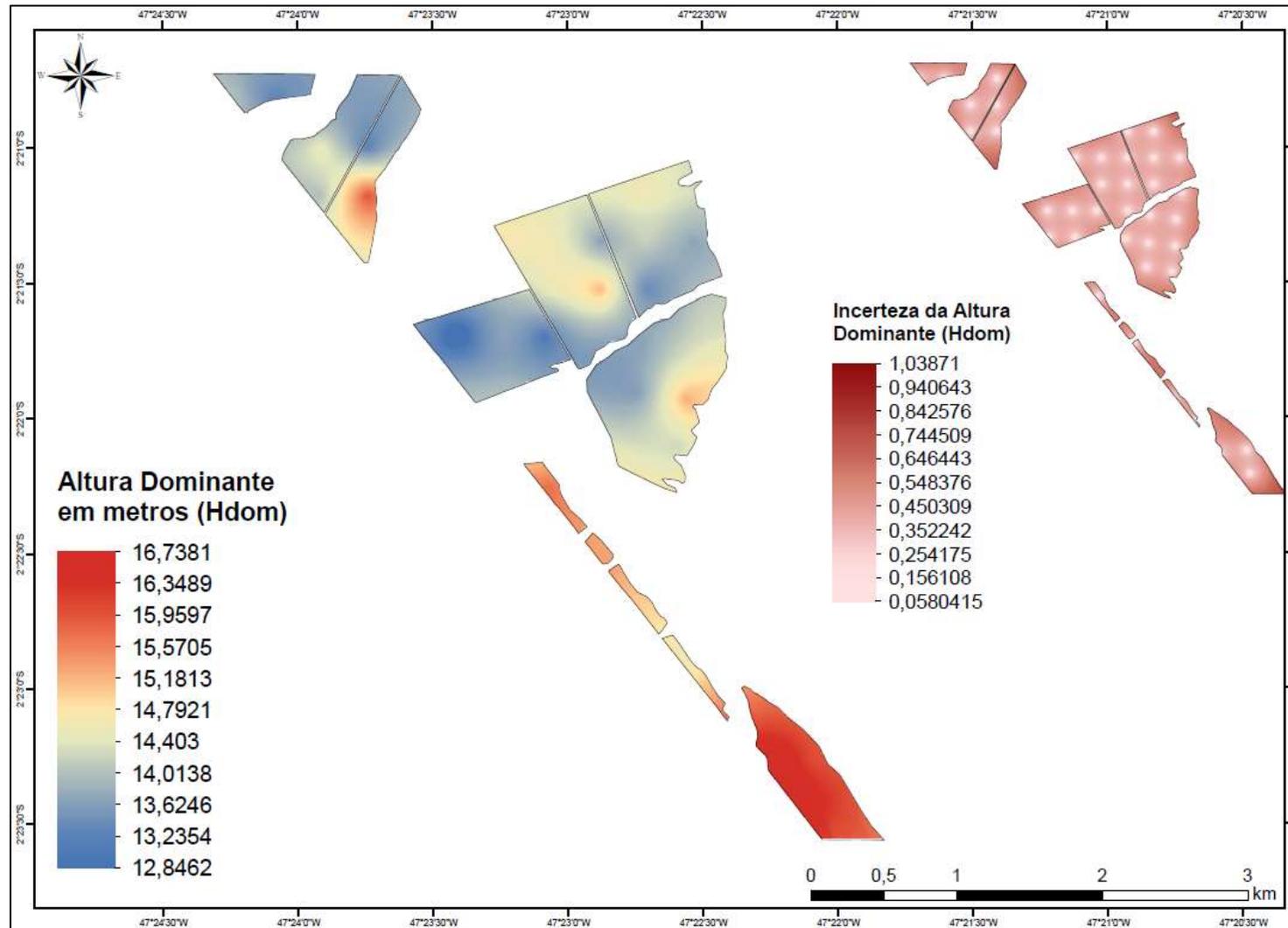
Segundo Chig et al. (2008), o alcance indica a distância máxima em que ocorre influência do espaço sobre a variabilidade da variável. Sendo assim, é importante que o alcance não seja maior do que a distância entre os dois pontos mais distantes da área de amostragem. Isto justifica a escolha do menor valor de alcance para os modelos no presente estudo. Apesar de o modelo selecionado para a krigagem (exponencial) ter apresentado o maior valor de alcance em comparação aos outros modelos ajustados, o mesmo ainda está dentro da distância máxima entre os pontos, podendo ser confiavelmente utilizado.

Silva et al. (1989) consideram que atributos que apresentam alto valor de efeito pepita em relação ao seu respectivo patamar ou efeito pepita puro são prerrogativas de duas possibilidades: ou a variável não apresenta influência do espaço, sendo neste caso a estatística convencional a mais adequada para analisá-la; ou o espaçamento do grid adotado é muito maior do que o necessário, sendo o mesmo ineficiente para este tipo de análise.

3.3. Krigagem

Com os resultados alcançados pelo ajuste do modelo exponencial, foi possível obter uma malha de pontos interpolados que permitiu visualizar o comportamento da altura dominante a ao longo da área do plantio. Esse recurso foi muito importante para se definir a espacialização de zonas da capacidade produtiva em forma de gradiente por intermédio da variável altura dominante (Figura 17).

Figura 16 - Krigagem com gradiente da capacidade produtiva e de incerteza da altura dominante a 5% de significância, dos plantios clonais dos anos de 2012 e 2013 de *Tectona grandis* Linn F., localizado no município de Capitão Poço, PA.

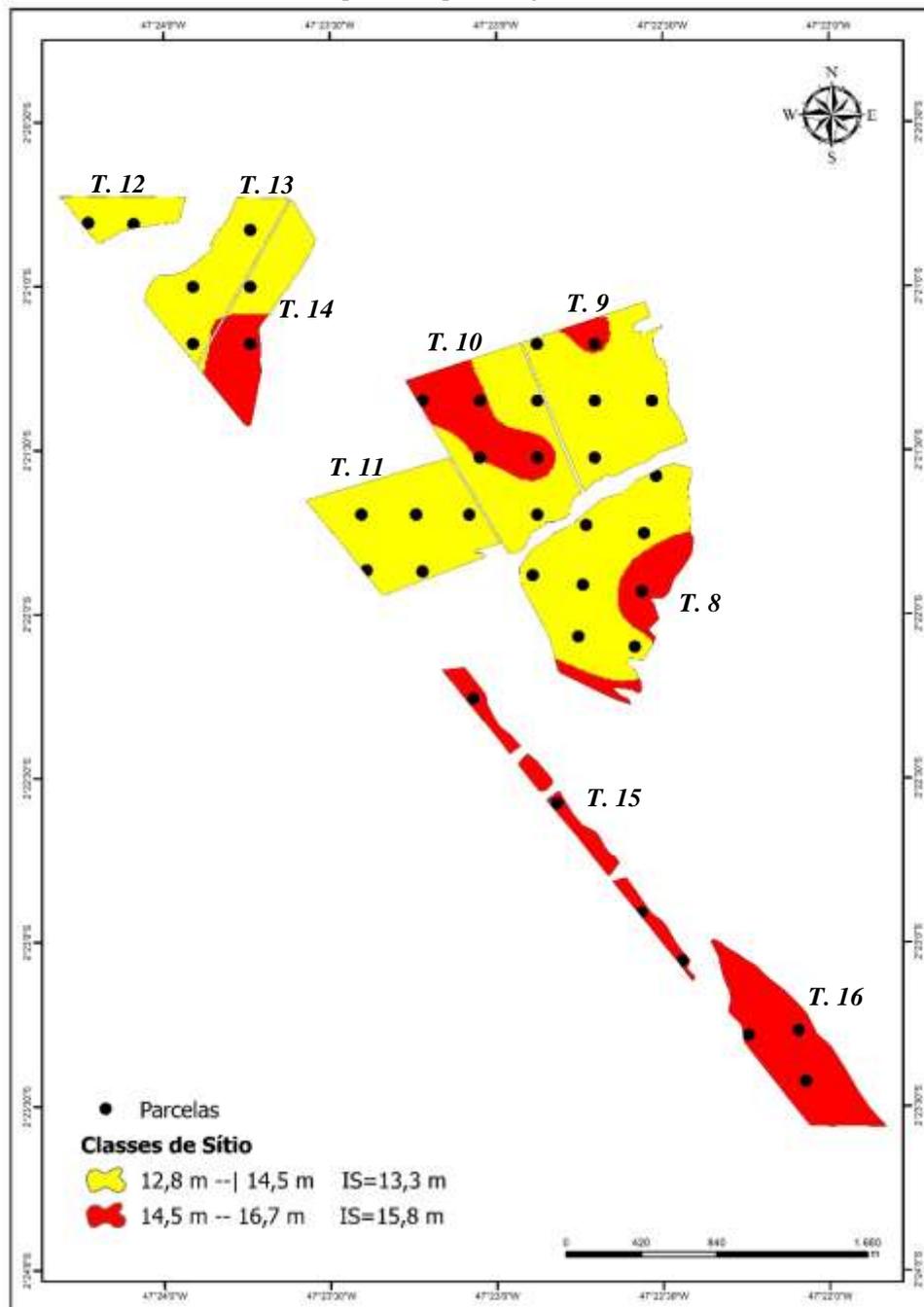


Pôde-se perceber que a maior parte dos talhões apresentaram altura dominante, variando de 12,8 a 14,4 m. Estes resultados foram superiores aos encontrados por Pelissari et al. (2012). Estes autores desenvolveram um estudo objetivando avaliar, dentre outros fatores, a variabilidade espacial da altura dominante de plantios de teca em diferentes idades, observando para a idade de 4 anos, uma maior área com capacidade produtiva média (com base nos mapas de krigagem) de teca, tendo na classe, valores de altura dominante variando entre 10,5 a 11,8 m.

Ao observar o mapa de incerteza, é possível notar, como esperado, que as zonas de menor incerteza (incerteza próxima de 0 m) encontram-se exatamente sobre os pontos em que foram instaladas as parcelas de medição. Enquanto que as zonas mais afastadas dos pontos de amostragem apresentaram maiores faixas de incertezas. Em zonas mais distantes, observou maiores erros de estimativa da variável em torno de 1 m de altura, representando 7% em relação à média do povoamento nesta idade, sendo considerado aceitável para indivíduos a partir de 12 m em florestas plantadas, mostrando confiabilidade dos valores interpolados de Hd.

Na Figura 18 apresentam o mapa de krigagem para a capacidade produtiva do povoamento, com base nas classes de sítio estabelecidas na análise de sítio, as quais foram calculadas a partir da obtenção dos valores de Hd, onde encontrou-se valores com intervalo de 12,8 a 14,5 m (Classe II) e de 14,5 e 16,7 m (Classe I). Nenhum dos talhões mapeados por meio da krigagem apresentou classe de sítio III, apenas classes II e I no quarto ano de idade do povoamento. Este pode ser considerado um resultado satisfatório, pois o mesmo mostra que os plantios avaliados apresentam capacidade produtiva variando de média a alta, representando 69,2% (253 ha) e 30,8% (112,6 ha), respectivamente da área total mapeada

Figura 17 - Distribuição da capacidade produtiva por classe dos plantios clonais dos anos de 2012 e 2013 de *Tectona grandis* Linn F., localizado no município de Capitão Poço, PA.



Dos talhões avaliados, três (11, 12, 13) apresentaram somente classe II, onde somaram juntos uma área de 88,65 ha, o que representa 24,3% da área total, apresentando intervalo de Hd variando de 12,8 a 14,5 m ao quarto ano de idade. Houveram também unidades produtivas diferenciadas dentro de um mesmo talhão (8, 9, 10 e 14), somando uma área de 223,46 ha (61,1%). Isso mostra que mesmo em áreas próximas, as atividades de manejo devem ser diferenciadas, tratando-se assim, pontualmente, das necessidades de cada local, reduzindo

tempo e custos das atividades. Por fim, os talhões 15 e 16, os quais somam 53,27 ha (14,6 % da área total mapeada), apresentaram apenas áreas com capacidade produtiva classe I. Particularmente, estas áreas mostraram capacidade produtiva máxima, com valores Hd acima de 15 m.

Menegol (1991), comenta que a os fatores climáticos, edáficos e biológico são condições que afetam a qualidade de um sítio florestal. O mapeamento mostrou, que mesmo com material genético melhorado, sistema de manejo semelhante e topografia sem variação significativa, ocorreram influências de fatores externos suficientes para diferenciar unidades produtivas locais no mesmo povoamento.

Analisando os fatores edáficos, verificou-se que os talhões 15 e 16 que enquadraram-se como sítios com maior potencial produtivo, às condições de fertilidade do solo podem justificar esta diferença de potencial na área, pela análise de alguns macronutrientes nos talhões monitorados. Com isso, percebeu-se que os teores de magnésio trocável do solo foram maiores em algumas das zonas mais produtivas dentre os talhões estudados. O talhão 16 foi o que apresentou a faixa com os maiores teores de Mg, seguido do talhão 15, sendo estes os talhões com maior capacidade produtiva. Segundo Brady e Weil (2013), o magnésio tem função vital no crescimento vegetativo das espécies, uma vez que o mesmo participa de diversas reações na fotossíntese, além de ser componente central das moléculas de clorofila.

Outro fator que também pode ter influenciado a diferença de níveis produtivos nestes talhões pode estar associado as áreas adjacentes de floresta sucessional da propriedade, a qual corresponde às áreas de reserva legal e proteção permanente em que o ambiente apresenta um microclima mais ameno, com redução de temperatura, aumento na umidade relativa, favorecendo com isso, uma maior eficiência na ciclagem dos nutrientes nas áreas adjacentes a área sucessional.

Além destes dois talhões, o talhão 8 apresenta uma de suas bordas também com contato direto com esta área de floresta sucessional. A área do talhão que está próxima a floresta é exatamente, a parte que está apresentando a maior capacidade produtiva segundo interpolação. Tais características podem estar influenciando positivamente o desenvolvimento da espécie nestes talhões, podendo ser mais um fator para explicar a maior capacidade produtiva encontrada nos mesmos.

4. CONCLUSÕES

Neste capítulo, conclui-se que:

A capacidade produtiva apresenta dependência espacial cuja estrutura de dependência não é semelhante em todas as direções. A técnica de krigagem mostrou potencial para diferenciar áreas produtivas locais, no mesmo plantio. Com essas informações, diferentes práticas silviculturais poder ser submetidas para auxiliar locais menos produtivos e intensificar os mais. Este mapeamento proporciona subsídios para tomada de decisão quanto ao manejo dos plantios de *Tectona grandis* Linn F., localizado no município de Capitão Poço, PA, como maior produtividade nas técnicas de desrama artificial, melhor avaliação da necessidade (ou não) de fertilização de manutenção, bem como uma avaliação mais precisa quanto ao tempo e método de desbaste que deve ser utilizado em cada zona de potencial produtivo estabelecida a partir do mapeamento.

5. RECOMENDAÇÃO

Recomenda-se a continuidade da análise espacial da altura dominante ao longo do tempo até a idade final de rotação do povoamento, mapeando a capacidade produtiva a cada nova entrada de dados a partir do terceiro ano, tendo-se, a cada informação de campo, uma maior confiabilidade nos resultados gerados para o manejo dos plantios clonais de teca pertencentes a empresa Tietê Agrícola LTDA.

6. REFERÊNCIAS

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

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da Natureza e Propriedades dos Solos**. Porto Alegre: Editora Bookman, p. 685. 2013.

BRANDELERO, C.; ANTUNES M. U. F.; GIOTTO, E. Silvicultura de precisão: nova tecnologia para o desenvolvimento florestal. **Ambiência - Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais**. v. 3 n. 2. Maio/Ago, 2007.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa Soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 58, n. 6, p.1501-1511, Sept/Oct. 1994.

CARVALHO, M. P.; MENDONÇA, V. Z.; PEREIRA, F. C. B. L.; ARF, M. V.; KAPPES, C.; DALCHIAVON, F. C. Produtividade de madeira do eucalipto correlacionada com atributos do solo visando ao mapeamento de zonas específicas de manejo. **Ciência Rural**, v. 42, n. 10, p. 1797-1803, 2012.

CHIG, L. A.; COUTO, E. G.; NOVAES FILHO, J. P.; RODRIGUES, L. C. M.; JOHNSON, M. S.; WEBER, O. L. 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.

GREGO, C.R.; VIEIRA, S.R.; LOURENÇO, A.L. Spatial distribution of *Pseudaletia sequax* Franclemont in triticale under no-till management. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 63, 321–327, 2006.

HOCK, B. K.; PAYN, T. W. Using a geographic information system and geostatistics to estimate site index of *pinus radiata* for kaingaroa forest, new zealand. **New Zealand Journal of Forestry Science**. Rotorua, New Zealand v. 23 n.3 p. 264-277 març. 1993.

MENEGOL, O. **Índice de sítio e relação entre altura dominante e teores nutricionais das acículas em povoamentos de *Pinus elliottii* var. *elliottii* no segundo planalto paranaense**. 74 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1991.

ORTIZ, J. L.; VETTORAZZI, C. A.; COUTO, H. T. Z.; GONÇALVES, J. L. 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, dez. 2006.

PELISSARI, A. L.; CALDEIRA, S. F.; DRESCHER, R.; SANTOS, V. S. Cultivo da teca: Modelagem geoestatística da dinâmica espacial da altura dominante de *Tectona grandis* L.f. (teca). **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, v.8 n.15 p. 1249. Goiânia, 2012.

PELISSARI, A. L.; FIGUEIREDO FILHO, A.; CALDEIRA, S. F.; MACHADO, S. A. Geoestatística aplicada ao manejo de povoamentos florestais de teca, em períodos pré-desbaste Seletivo, no estado do Mato Grosso. **Rev. Bras. Biom.**, v. 32, n. 3, p. 430-444, 2014.

ROSA FILHO, G.; CARVALHO, M. P.; MONTANARI, R.; SILVA, J. M.; SIQUEIRA, G. M.; ZAMBIANCO, E. C. Variabilidade espacial de propriedades dendrométricas do eucalipto e de atributos físicos de um Latossolo Vermelho. **Bragantia**, v. 70, n. 2, p. 439-446, 2011.

SANQUETTA, C.R. et al. **Inventários florestais: planejamento e execução**. Curitiba: MultiGraphi, p. 270, 2006.

SANTOS, M. C.; ROVEDA, M.; ZANON, M. L. V.; FIGUEIREDO FILHO, A.; ROIK, M.; PACHECO, J. M.; SCAVINSKI, V. Inventário florestal utilizando técnicas de silvicultura de precisão em povoamentos de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. **Floresta e Ambiente**, vol. 24, 2017.

SCOLFORO, José Roberto. **Mensuração florestal: Avaliação da produtividade florestal através da classificação do sítio**. Lavras: ESAL/FAEPE, 1993.

SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L. & VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial da resistência a penetração de um Latossolo Vermelho-Escuro ao longo de uma transecção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 13, p.1-5. Viçosa, 1989.

SOUZA, G. S.; LIMA, J. S. S.; XAVIER, A. C.; ROCHA, W. S. D. Krigagem Ordinária e Inverso do Quadrado da Distância aplicados na Espacialização de Atributos Químicos de Argissolo. **Scientia Agraria**, Curitiba, v.11, n.1, p.073-081, 2010.

VETTORAZZI, C.A.; FERRAZ, S.F.B. Silvicultura de precisão: uma nova perspectiva para o gerenciamento de atividades florestais. In: BORÉM, A.; GIUDICE, M.P.; QUEIRÓZ, D.M. de; et al. (Ed.). **Agricultura de Precisão**, p.65-75. Viçosa, 2000.

VIEIRA, S. R. **Curso de Geoestatística aplicada à ciência, fitotecnia e entomologia**. Jaboticabal: UNESP-FCAV, 77p., 1997.

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. **Geoestatística: Fundamentos e Aplicações**. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 328 p., 2013.

ANEXO

Tabela 1 - Incremento médio anual (IMA) e incremento corrente anual (ICA). Média aritmética, IMA e ICA em altura dominante dos tratamentos T1 (plantio 2010) e T2 (plantios 2012 e 2013) (A); Média aritmética, IMA e ICA em altura dominante dos tratamentos T1 (plantio 2010) e T2 (plantios 2012 e 2013) (B).

Idade (anos)	<i>Plantio 2010</i>			<i>Plantios 2010 e 2012</i>		
	\overline{Hd}	ICA Hd	IMA Hd	\overline{Hd}	ICA Hd	IMA Hd
1	7,22		7,2	7,87		7,9
2	9,52	2,3	4,8	10,56	2,7	5,3
3	11,42	1,9	3,8	12,35	1,8	4,1
4	12,54	1,1	3,1	14,36	2,0	3,6
5	14,17	1,6	2,8	15,77	1,4	3,2
6	16,02	1,9	2,7			
7	17,49	1,5	2,5			
Idade (anos)	\overline{DAP}	ICA DAP	IMA DAP	\overline{DAP}	ICA DAP	IMA DAP
1	7		7,0	6,2		6,2
2	11,1	4,1	5,6	8,57	2,4	4,3
3	14,58	3,5	4,9	12,83	4,3	4,3
4	18,19	3,6	4,5	15,72	2,9	3,9
5	19,19	1,0	3,8	18,9	3,2	3,8
6	21,43	2,2	3,6			
7	23,71	2,3	3,4			