



## **ESTRATÉGIAS DE AJUSTES DE MODELO HIPSOMÉTRICOS PARA POVOAMENTOS DE TECA EM MATO GROSSO**

BRUM, Barbara Nayara Sbardelotto<sup>1</sup>; MADI, João Paulo Sardo<sup>1</sup>; DRESCHER, Ronaldo<sup>1</sup>;  
CARVALHO, Mariana Peres de Lima Chaves e<sup>1</sup>; ANDRADE, Valdir Carlos Lima de<sup>2</sup>;  
CARVALHO, Samuel de Pádua Chaves e<sup>1</sup>

**RESUMO** (ESTRATÉGIAS DE AJUSTES DE MODELOS HIPSOMÉTRICOS PARA POVOAMENTOS DE TECA EM MATO GROSSO) - Objetivou-se neste estudo ajustar modelos de relação hipsométrica sob diferentes estratégias. A base de dados foi originada de plantações de teca em Mato Grosso. Em campo foram coletados pares de altura total e diâmetro em parcelas 1963 m<sup>2</sup>. A hipsometria foi realizada ajustando dois modelos lineares, reta e parábola, em escala global e local. O modelo parabólico local apresentou os melhores resultados, com redução do erro em até 37%. Os resultados fornecem subsídios para a geração dos melhores cenários para hipsometria, possibilitando, por exemplo, reduzir o custo do inventário florestal reduzindo a amostragem das alturas.

**Palavras Chave:** Biometria florestal, hipsometria, modelos de regressão.

**ABSTRACT** (STRATEGIES TO FIT MODELS THAT REPRESENT THE DIAMETER-HEIGHT RELATIONSHIP FOR TEAK STANDS IN MATO GROSSO) - Our objective was fit model for the diameter-height relationship with different strategies. The database was collected in teak stands at Mato Grosso. The diameter and height was collected in field in plots with 1963 m<sup>2</sup>. The hipsometrics were used fit two linear models in local and global context. The local parabolic models showing the best results with standard error reduced in 37%. The results suggested the better scenes can be obtained when the models that describe the diameter-height relationship to be adjusted by plot. This is an important information once the height collect is not so fast compared to diameter.

**Keywords:** Forest biometrics, Hipsometric, regressions models.

<sup>1</sup> Faculdade de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Mato Grosso-UFMT- Cuiabá/MT-Brasil. barbaransbrum@gmail.com, joaosardomadi@gmail.com; ronaldrescher@gmail.com; marianaperes@ufmt.br; spccarvalho@ufmt.br.

<sup>2</sup> Universidade Federal do Tocantins (UFT). Rua Badejós, lote 7, Chácara 69/72, Zona Rural, Gurupi, TO, Brasil. vclandradeuft@gmail.com.

## 1. INTRODUÇÃO

A silvicultura no Brasil está voltada para o fornecimento de madeira e fibras para indústrias, diminuindo a necessidade da supressão de florestas naturais, especialmente para madeireiras que utilizam madeiras nobres provenientes de exploração seletiva. A alternativa encontrada para suprir as necessidades de mercado, em relação a espécies de maior valor econômico, foi à substituição de parte das espécies nativas por algumas exóticas que, dentre as quais, está a *Tectona grandis* Linn F. (Teca), que surgiu como alternativa ao fornecimento sustentável da indústria de base florestal (DRESCHER, 2004).

Oliveira (2003) afirma que dentro do contexto de madeiras nobres por suas inúmeras possibilidades de uso devido às características físico-químicas, a teca é uma espécie que apresenta um grande potencial. O seu valor de mercado é elevado, pois além da ampla trabalhabilidade, ela apresenta também estabilidade, resistência, durabilidade e beleza. Além disso, conforme Figueiredo et al., (2005), a sua madeira é muito demandada no mercado internacional.

Em função de sua demanda e alto potencial de uso, empresas do setor de base

florestal brasileiro tem tido constante necessidade de desenvolver métodos e técnicas que permitam estimativas da produção de volume ou biomassa da madeira, para que haja melhor planejamento na produção e comercialização de seus produtos (SILVA et al., 2007).

Diante disso, atividades de inventário florestal se fazem necessárias, pois constituem-se de procedimentos para obter informações dendrométricas, dentre as quais, estão o: diâmetro a altura do peito (DAP) e altura das árvores. Informações estas, que são trabalhadas por meio de processos estatísticos na determinação quali-quantitativa dos recursos florestais. A obtenção destas informações é objeto de questionamento por parte dos estudiosos, principalmente, no que diz respeito à precisão, necessidade de medição e custo para obter a altura das árvores, tendo em vista que esta medida é considerada a mais onerosa (CARDOSO et al., 1989).

Segundo Silva et al., (2007) com os procedimentos de inventário florestal a quantificação dos volumes relativos a floresta pode ser obtida, e para isso são aplicados modelos de relação hipsométrica, possibilitando obter estimativas das alturas em indivíduos que não foram mensurados de forma direta, o que por consequência

possibilita a redução no tempo gasto e nos custos que envolvem os procedimentos de medição em campo.

Uma vez verificada a importância de obtenção da altura das árvores, este trabalho se propõe a avaliar a acurácia de modelos de relação hipsométrica sob diferentes cenários e estratégias de ajuste.

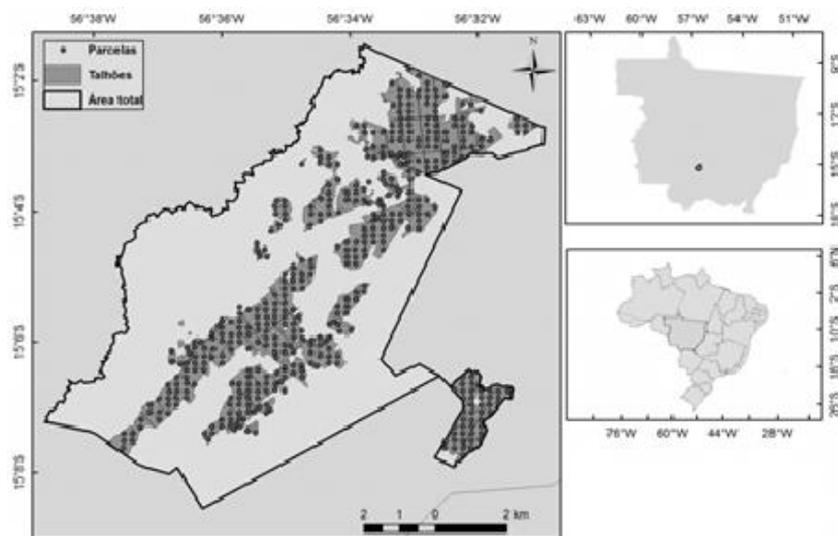
## 2. MATERIAL E MÉTODOS

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

O presente trabalho foi realizado em plantações de teca no Mato Grosso, Brasil. A fazenda experimental está

localizada no município de Jangada, circunscrita às respectivas coordenadas geográficas 15° 4' 60'' S e 56° 33' 10'' W. Segundo IBGE (2008), o município apresenta clima tropical quente e subúmido, com aproximadamente 5 meses de seca com chuvas ocorrendo entre novembro e março. Sua temperatura tem média de 26 °C podendo alcançar 38 °C de máxima e 19 °C de mínima.

A área florestal, objeto deste estudo, é constituída de 122 talhões com total de 2.337,5 ha de efetivo plantio, em cuja área, foram instaladas e medidas 457 parcelas circulares com raio de 25 m (1.963,5 m<sup>2</sup> cada).



**Figura 1:** Área de estudo localizada em Jangada, estado do Mato Grosso

### 2.2. INFORMAÇÕES SOBRE O PLANTIO E COLETA DE DADOS

A ocupação da área se fez totalmente com espécies do gênero *Tectona grandis* propagadas em mudas originadas de sementes, onde o plantio foi

realizado em espaçamento inicial de 3,0 x 2,0 m entre os anos de 1995 e 1997. As medições que contemplam este estudo, foram realizadas nos meses de julho de 2013 e julho/agosto de 2014 o que, por consequência, geram variações na idade na medição de 16,2 a 18,8 anos.

### 2.3. ESTATÍSTICA E PROCEDIMENTOS

Para o desenvolvimento do estudo foram avaliados dois modelos lineares, reta e parábola, em escala global e local (Tabela 1).

**Tabela 1:** Modelos de relação hipsométrica e suas respectivas formas de ajuste

Modelo	Forma de ajuste
Reta	$H = \beta_0 + \beta_1 DAP + \varepsilon_i$
Parábola	$H = \beta_0 + \beta_1 DAP + \beta_2 DAP^2 + \varepsilon_i$

Em que: H=altura total (m), DAP=diâmetro mensurado a 1,30m do solo,  $\beta$ 's = parâmetros a serem estimados pela regressão;  $\varepsilon$  = erro aleatório.

O modelo em escala global corresponde ao ajuste com os dados em sua totalidade e o modelo em escala local ajustado por parcela.

A seleção do melhor modelo foi baseada em critérios estatísticos, são eles:

Erro padrão residual em metros e em porcentagem (EPR);

O erro padrão residual é uma estatística muito utilizada para analisar a

qualidade de ajuste de modelos de regressão, sendo que quanto menor seu valor, melhor seu desempenho.

Coefficiente de determinação ( $R^2$ );

O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) demonstra a quantidade de variação ocorrida pela variável dependente que é explicada pelas variáveis independentes. Quanto mais próximo de 1, melhor é o ajuste do modelo linear.

Análise gráfica de resíduos;

A análise gráfica de resíduos complementa a escolha do melhor modelo, mesmo que os estimadores de ajuste sejam bons indicadores, pois visualmente é possível detectar se há ou não tendenciosidade na estimativa da variável dependente ao longo da linha de regressão, e se os resíduos são independentes, ou ainda se há homogeneidade de variância. Por ser uma análise visual, esta pode conter alguma subjetividade, e por isso é usada em conjunto com as estatísticas anteriores (BARROS *et al.*, 2002).

Todos os procedimentos computacionais e estatísticos utilizados neste estudo foram realizados em linguagem R de computação.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As estatísticas bem como os coeficientes dos dois modelos globais de

relação hipsométrica ajustados para teca podem ser visualizados na Tabela 2.

**Tabela 2:** Coeficientes e estatísticas dos modelos de relação hipsométrica obtidos para plantios de Teca no Mato Grosso

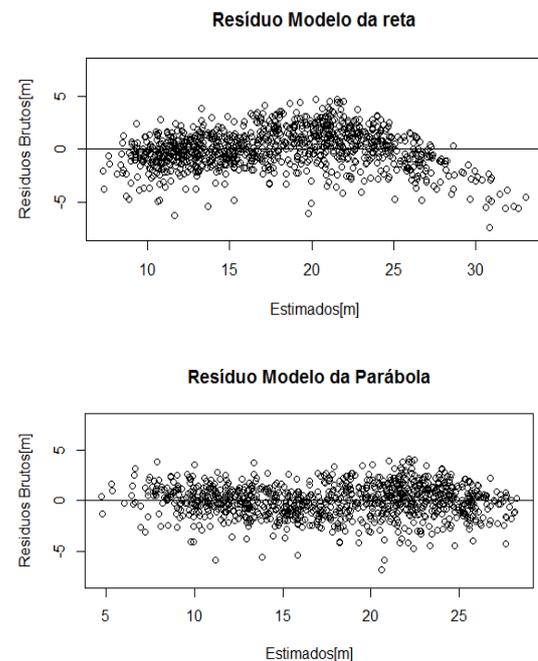
Modelo	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$R^2_{ajustado}$	Syx (m)	Syx (%)
Reta	3,4862	0,5570		0,9048	1,806	10,1
Parábola	1,7532	1,0069	0,0083	0,9265	1,587	8,9

$\beta_0$ ,  $\beta_1$  e  $\beta_2$  = parâmetros da regressão;  $R^2$  = coeficiente de determinação; Syx = erro padrão residual absoluto; Syx(%) = erro padrão residual percentual

De acordo com os resultados da Tabela 2 foi possível verificar que os modelos apresentam coeficiente de determinação ( $R^2$ ) superior a 0,9 tornando-os altamente explicativos, mesmo com variações nos valores da altura em 32%, representada pelo coeficiente de variação. Esta heterogeneidade é explicada em partes pelo plantio ser propagado via sementes. O erro padrão de estimativa percentual foi abaixo de 11% para ambos os modelos avaliados, com melhor desempenho para o modelo da Parábola (valor inferior a 9%). Valores próximos aos encontrados neste estudo foram obtidos por Drescher (2004) em levantamentos realizados nos municípios de Santo Antônio do Leverger e Brasnorte no estado de Mato Grosso.

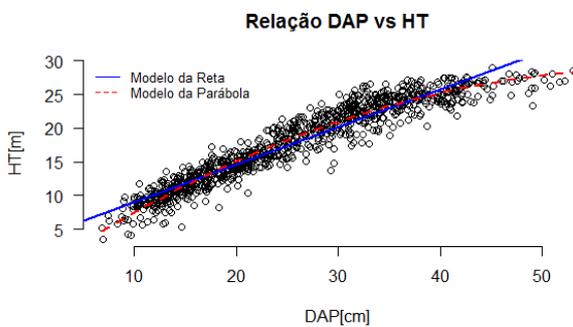
Os gráficos apresentados na figura 2 corroboram sobre a boa qualidade de estimativa dos modelos sugeridos no estudo. Para valores extremos, abaixo de 8 e acima de 27 m, o modelo de Reta apresentou tendenciosidade nas estimativas, o que não ocorreu com o

Modelo da Parábola. Portanto, os resultados gráficos complementam as estatísticas obtidas em que indicam o modelo da Parábola como superior ao modelo da Reta, sendo que há uma melhor dispersão dos resíduos ao longo da linha 0 (zero), portanto, mais homogênea (Figura 2).



**Figura 2:** Distribuição dos resíduos em cada um dos modelos separadamente (Modelo da Reta e de Parábola) de relação hipsométrica

As análises estatísticas complementadas com a gráfica permitem inferir que o modelo da parábola apresentou um melhor desempenho nas estimativas das alturas, sendo portanto este o mais indicado quando avaliado os dados em escala global. As curvas de ambos os modelos, visualizadas na figura 3 corroboram com os resultados discutidos até este ponto (Tabela 2 e Figura 2).



**Figura 3:** Comparação do comportamento dos modelos da Parábola e da Reta nos dados de ajuste.

A equação do modelo selecionado pode ser então representada pela equação 1.

$$\widehat{HT} = -1,7532 + 1,0069DAP - 0,0083DAP^2 \quad (1)$$

Uma vez verificada a superioridade, em escala global, do modelo da Parábola com relação ao modelo de Reta, este foi comparado a partir deste ponto com o ajuste por parcela. Os resultados oriundos

desta análise complementar estão apresentados na tabela 3, em comparação com os resultados obtidos no passo anterior com o ajuste por parcela.

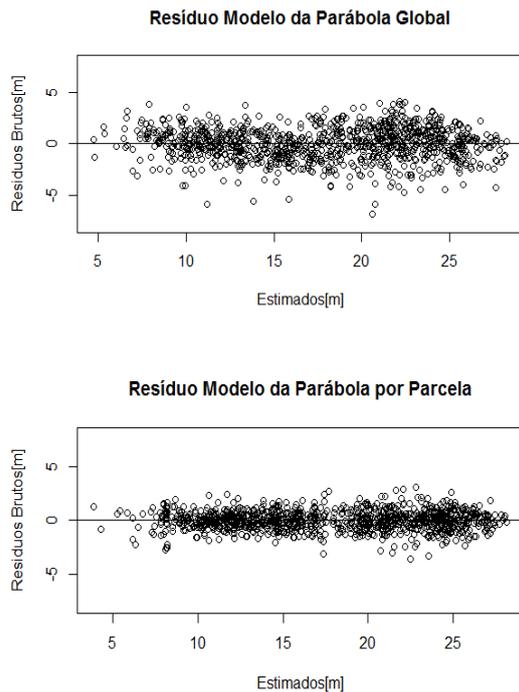
**Tabela 3:** Análise comparativa dos modelos da Parábola global e Parábola por parcela.

MODELO	Syx(m)	Syx (%)	R <sup>2</sup> <sub>aj.</sub>
Parábola Global	1,587	8,9	0,9265
Parábola local por parcela	0,999	5,6	0,9708

Os resultados da tabela 3 indicam sobre a superioridade estatística do modelo da Parábola ajustado por parcela e/ou local, com valores de erro padrão residuais inferiores a 6% e coeficiente de determinação acima de 0,97. Outrora, de maneira análoga, utilizando o modelo de Curtis, Ribeiro *et al.* (2010) obtiveram resultados superiores por parcela em plantios de *Eucalyptus* spp. em relação aos modelos genéricos testados. Barros *et al.* (2002), corroboram com o resultado obtido em que sua pesquisa realizada em plantações de *Pinus oocarpa*, constatando que os modelos hipsométricos foram mais eficientes quando ajustados por parcela.

Os resultados apresentados na Figura 4 permitem verificar sobre a homogeneidade na dispersão de resíduos, afirmando, portanto, a acurácia na utilização do modelo ajustado por parcela.

## 5. REFERÊNCIAS



**Figura 4:** Dispersão de resíduos para o Modelo da Parábola (Global e por Parcela).

## 4. CONCLUSÃO

O modelo da Parábola quando avaliado em escala global foi estatisticamente superior ao modelo de Reta.

Quando avaliado em escala local o modelo da Parábola ajustado por parcela foi significativamente superior quando ajustado em escala global, sendo, portanto o ajuste por parcela o mais indicado para predição de alturas de povoamentos de teca propagados por sementes e com idade entre 16 e 18 anos.

BARROS, D.A. de; MACHADO, S.A.; ACERBI JÚNIOR, F.W.; SCOLFORO, J.R.S. Comportamento de modelos hipsométricos tradicionais e genéricos para plantações de *Pinus oocarpa* em diferentes tratamentos. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n.45, p. 3-28, 2002.

CARDOSO, D. J.; MACHADO, S. do A.; ROSO, N.C.; EMERENCIANO, D.B. Avaliação da influência dos fatores idade e sítio na relação hipsométrica para *Pinus taeda* nas regiões central e sudoeste do estado do Paraná. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 19, n. 1, p. 96-115, 1989.

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

FIGUEIREDO, E.O.; OLVEIRA, L.C. de; BARBOSA, L.K.F. **Teca (*Tectona grandis* L.f.): principais perguntas do futuro empreendedor florestal.** Rio Branco: Embrapa Acre, 2005. p.10-19.

IBGE 2008 ?MATO GROSSO. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2001, p. 149-163. Available from: <ftp://geofp.ibge.gov.br/documentos/cartografia/areaterritorial/pdf/areas\_2001\_51.pdf>. Access on: 10 nov. 2015.

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

RIBEIRO, A.; FERRAZ FILHO, A.C.;  
MELLO, J.M. de; FERREIRA, M.Z.;  
LISBOA, P.M.M.; SCOLFORO, J.R.S.  
Estratégias e metodologias de ajuste de  
modelos hipsométricos em plantios de  
*Eucalyptus* sp. **Cerne**, Lavras, v.16, n.1,  
p.22-31, 2010.

SILVA, G.F.; XAVIER, A.C.;  
RODRIGUES, F.L.; PETERNELLI, L.A.  
Análise da influência de diferentes  
tamanhos e composições de amostras no  
ajuste de uma relação hipsométrica para  
*Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**,  
Viçosa, v. 31, n. 4, p. 685-694, 2007.

RStudio Team (2015). RStudio: Integrated  
Development for R. RStudio, Inc., Boston,  
MA URL <http://www.rstudio.com/>.