

**Estudo comportamental de altura, diâmetro
e relação hipsométrica de *Cordia trichotoma*
(vell.) arrab. ex steud (Louro Branco) em plantio
homogêneo no município de Cáceres-MT**

***Behavioral study of height, diameter, and
hypsonometric relations of *Cordia trichotoma*
(vell.) arrab. ex steud (Louro Branco) in the
homogeneous plantation in Cáceres-MT***

João Vitor Barbosa Ceron¹
Ronaldo Drescher¹
Gustavo Manzon Nunes¹
Diego Tyszka¹
Luciano Lanssanova¹

¹ Faculdade de Engenharia Florestal/ Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, MT, CEP 78060-900. E-mail: jaoceron@hotmail.com, ronaldodrescher@gmail.com, gustavomn@gmail.com, diegotyszka@hotmail.com, lanssanova182@hotmail.com

RESUMO **ABSTRACT**

O objetivo desse estudo foi avaliar o comportamento de indivíduos de *Cordia trichotoma* quanto a seu crescimento em altura e diâmetro e relação hipsométrica, em plantio homogêneo no município de Cáceres-MT. Foram mensuradas todas as alturas totais e diâmetros na altura do peito, para aplicar a relação hipsométrica. O plantio não apresentou a curva de distribuição normal dos diâmetros na altura do peito, por já se ter estabelecido as classes de dominância. O modelo que melhor descreveu o povoamento foi $d/\sqrt{h} = b_0 + b_1 * d + b_2 * d^2 + e$, com o valor de R^2 ajustado 0,94, e $Syx\%$ 5,29.

*The aim of this study was to evaluate the behavior of the individuals from Cordia trichotoma about its growth in height and diameter, in hypsometric relations and in the homogeneous plantation in Cáceres-MT. The heights and diameter from the trunk's height were measured to apply the hypsometric relations. The planted ground did not show the normal distributional curve of the diameters of the trunk's height, because it was already established in the dominants classes. The model that better describes the population was $d/\sqrt{h} = b_0 + b_1 * d + b_2 * d^2 + e$, where R^2 means 0,94 and $Syx\%$ 5,29.*

PALAVRAS-CHAVE KEY-WORDS

dominância
modelos matemáticos
desbastes

*domination
math models
lopping*

INTRODUÇÃO

A utilização de espécies florestais valiosas e de rápido crescimento para plantios de enriquecimento de florestas manejadas, para sistemas agroflorestais ou mesmo para plantios homogêneos, além de ser uma importante alternativa de produção de madeira, é uma alternativa eficiente para diminuir a pressão sobre as florestas naturais (YARED, 1983).

O uso da madeira oriunda de floresta plantada como matéria prima para produção de carvão, lenha, mourões de cerca, tem crescido a cada dia, devido ao aumento da demanda e restrição na exploração de recursos naturais.

A maior área plantada de florestas concentra-se nas espécies exóticas do gênero *Eucalyptus ssp.*, devido ao seu rápido crescimento e fácil adaptação em diversos terrenos. Algumas espécies encontradas na savana florestada, também conhecida como cerradão, apresentam crescimento apical e incremento satisfatório, com potencial para plantios homogêneos desde que utilizados tratamentos silviculturais adequados e técnicas de melhoramento.

Os indivíduos quando em plantios homogêneos na fase inicial canalizam sua energia para o crescimento em altura. Depois de estabelecido o crescimento em altura, diminuem o crescimento primário (altura) e passam a ter crescimento secundário (diâmetro), os indivíduos que se estabelecem com maior facilidade na área acabam suprimindo os demais. A adaptação dos indivíduos está relacionada com: sítio (HÖKKÄ, 1997; FANG; BAILEY, 1998), idade (CURTIS, 1967; OMILE; MACDONALD, 1991), variação genética (KNOWE; FOSTER, 1998), tratamentos silviculturais (ZHANG *et al.*, 1997) e sistema de amostragem (ARABATZIS; BURKHART, 1992).

MATERIAIS E MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDO

O plantio foi realizado no campus do Instituto Federal de Mato Grosso, localizado na cidade de Cáceres, a uma distância de 220 km de Cuiabá, a uma altitude de 117 m, tendo como coordenadas geográficas 16° 11' 42 latitude Sul e 57° 40' 51 longitude Oeste de Greenwich.

Segundo Köppen, o clima da região é Aw (Savanas tropicais com verão úmido e inverno seco), ou seja, clima tropical chuvoso, em que a temperatura média anual varia entre 23 e 25 °C, com oscilação de temperatura no ano inferior a 5° C. O índice pluviométrico anual é elevado (1.277 mm), com máxima de 1.698 mm e mínima de 843 mm, porém, com uma nítida estação seca (W), apresentando déficit hídrico entre abril e dezembro.

A área pertence à sub-bacia do alto do rio Paraguai, bacia do rio da Prata e Planície do Pantanal. A vegetação predominante no alto do rio Paraguai é representada por 30% de Savana, 20% de Florestas e 50% de Pantanal, sendo a área originalmente coberta por Savana Arborizada, cerradão (GONÇALVES, 2006).

O solo predominante na região é do tipo argiloso vermelho-amarelo distrófico (BRASIL, 1982), entretanto, na área em estudo, o solo é da classe latossolo vermelho-amarelo distrófico, conforme EMATER (1979).

Analisando o QUADRO 1, pode-se verificar que o teor de potássio encontra-se baixo e que o pH encontra-se fortemente ácido. Quanto ao teor de fósforo, é classificado como médio (EMBRAPA, 1980).

Quando se observam os teores de Ca + Mg (2,0 e 1,4) apresentados no QUADRO 1, estes valores podem ser considerados médio e o teor de Al (0,4) é alto (EMBRAPA, 1980).

A capacidade de troca catiônica apresentada por Mello (1983) e comparada com os valores encontrados no solo do estudo, QUADRO 1, pode ser considerada média em sua escala.

QUADRO 1 - Atributos físico-químicos, na profundidade de 0 à 20 cm.

pH em H ₂ O	pH em KCL	M.O./ dag/ kg	P/mg/ dm ³	K/mg/ dm ³	Ca ²⁺ / cmolc/ dm ³	Mg ²⁺ / cmolc/ dm ³	Al ³⁺ / cmolc/ dm ³	H+AL/ cmolc/ dm ³	T (CTC) /cmolc/ dm ³
4,54	3,99	0,96	17,0	41,0	2,0	1,4	0,4	3,6	7,1

OBTENÇÃO DOS DADOS

Foram mensurados todos os indivíduos, por se tratar de um bosque homogêneo e possuir número reduzido de árvores da espécie de

Cordia trichotoma. Na FIGURA 1, observa-se o croqui do povoamento, assim como o esquema do sentido de medição das árvores.

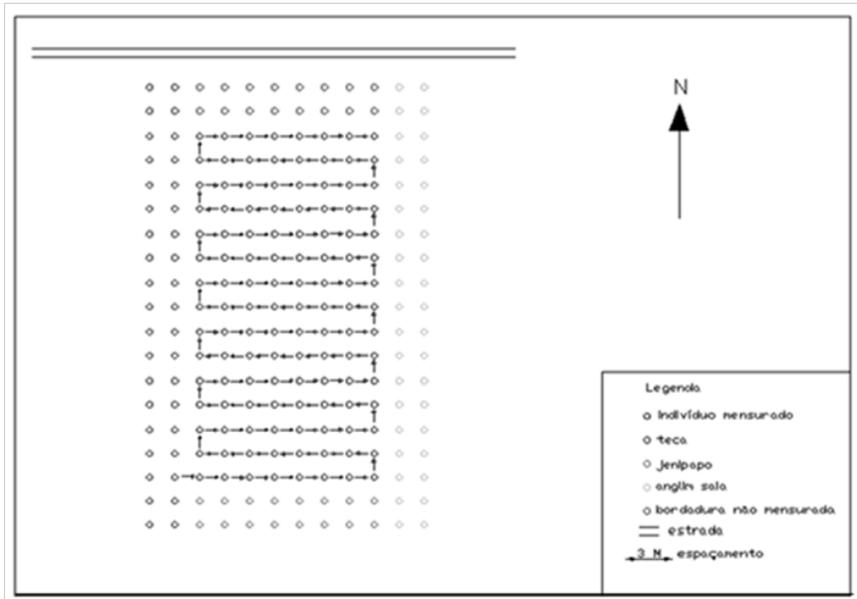


FIGURA 1 - Representação esquemática do arranjo espacial do plantio de *Cordia trichotoma* em plantio homogêneo.

Para mensuração das circunferências, foi utilizada fita métrica graduada com precisão de um centímetro, que foram convertidas em diâmetro pela equação:

$$DAP = \frac{CAP}{\pi}$$

Onde: dap= diâmetro altura do peito; cap= circunferência a altura do peito; π = PI .

As alturas foram mensuradas com o auxílio do hipsômetro eletrônico, tipo clinômetro digital.

RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA

Neste estudo foram testados modelos matemáticos de relação hipsométrica conforme metodologia empregada por Couto *et al.*, (2001) para 3 tipos de floresta sendo *E. grandis*, Caixetal, Floresta Nativa.

Os modelos empregados foram: polinômios do primeiro ao terceiro; hiperbólicos; potências e exponencial, descritos no QUADRO 2.

Modelo	Forma de Ajuste	Forma Funcional
<i>Modelos Lineares</i>		
Polinômios	1 $h = \beta_0 + \beta_1 d + \varepsilon$	-
	2 $h = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2 + \varepsilon$	-
	3 $h = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2 + \beta_3 d^3 + \varepsilon$	-
Hiperbólicos	4 $h = \beta_0 + \beta_1 (1/d^2) + \varepsilon$	$h = [(\beta_0 d^2 + \beta_1)/(d^2)]$
	5 $1/\sqrt{h} = \beta_0 + \beta_1 (1/d^2) + \varepsilon$	$h = [1/(\beta_0 d^2 + \beta_1)]^2$
	6 $1/h = \beta_0 + \beta_1 (1/d) + \beta_2 (1/d^2) + \varepsilon$	$h = [1/(\beta_0 + \beta_1/d + \beta_2/d^2)]$
	7 $d^2/h = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2 + \varepsilon$	$h = [(d^2)/(\beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2)]$
	8 $d/\sqrt{h} = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2 + \varepsilon$	$h = [(d^2)/(\beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2)^2]$
Potência	9 $\ln(h) = \beta_0 + \beta_1 \ln(d) + \varepsilon$	$h = \beta_0 d^{\beta_1}$
	10 $\ln(1/h) = \beta_0 + \beta_1 \ln(d) + \beta_2 \ln^2(d) + \varepsilon$	$h = [1/(\beta_0 \gamma)] d^{\beta_1 - \beta_2 \ln(d)}$
	11 $\ln(h) = \beta_0 + \beta_1 \ln(d/(1+d)) + \varepsilon$	$h = \beta_0 \gamma [(d/(1+d))]^{\beta_1}$
Exponencial	12 $\ln(h) = \beta_0 + \beta_1 (1/d) + \varepsilon$	$h = \beta_0 \exp(\beta_1 d^{-1})$

Onde: h= altura total em metros; d= diâmetro à altura do peito (dap); β_0 , β_1 = coeficientes obtidos através da análise de regressão; ε = erro estatístico; ln=logaritmo neperiano.

QUADRO 2 – Modelos matemáticos de relação hipsométrica.

O estudo de relação hipsométrica foi desenvolvido com o auxílio do software Excel, onde todos os dados de altura e diâmetro foram inclusos na análise de regressão para obtenção dos valores dos coeficientes de determinação e intersecção.

PARÂMETROS PARA OBTENÇÃO DO MELHOR MODELO MATEMÁTICO

Para escolha do melhor modelo foram utilizados o maior valor do coeficiente de determinação R^2 ajustado, e o menor erro padrão de estimativa relativo $Syx\%$, segundo a metodologia de Schneider (1997). Além desses critérios para a seleção também foi utilizada a dispersão dos dados pelo gráfico de resíduos. A junção dessas análises possibilitou maior escolha do melhor modelo de relação hipsométrica.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

ESTUDO COMPORTAMENTAL DO POVOAMENTO

O povoamento analisado não recebeu nenhum trato silvicultural, ou combate a pragas e doenças, mesmo assim apresentou indivíduos com características interessantes como poucos galhos, fuste com pouca tortuosidade, não tendo recebido fertilizações e corretivos de pH de solo, como calcário.

A elevada variação entre o diâmetro mínimo e máximo como demonstra a FIGURA 2, pode ser oriunda da falta de tratamentos silviculturais que, se realizados, poderiam promover menor heterogeneidade no povoamento.

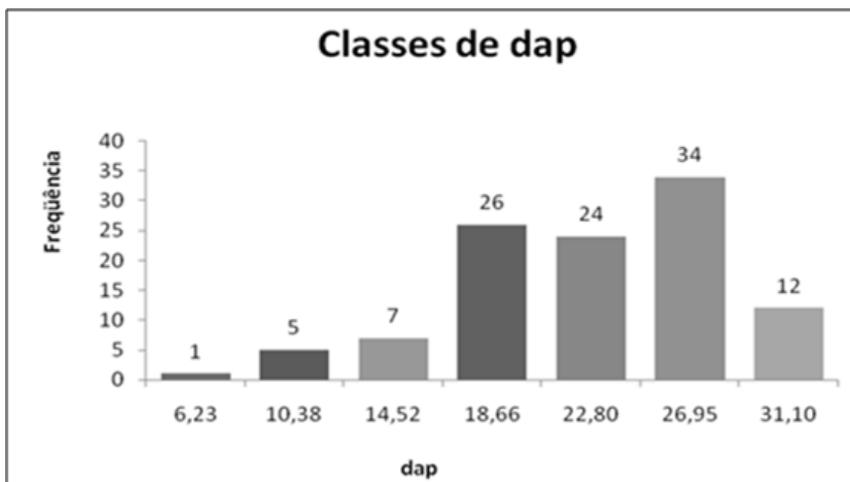


FIGURA 2 - Histograma de classes de diâmetro.

Semelhante aos diâmetros à altura do peito, as alturas apresentaram grande variação (FIGURA 3), conseqüência da classe de dominância ter sido estabelecida sem que houvesse intervenção na área plantada. Esta intervenção poderia ter sido feita através dos desbastes. E estes poderiam ser: desbastes baixos, altos, sistemático e/ou fitossanitário.

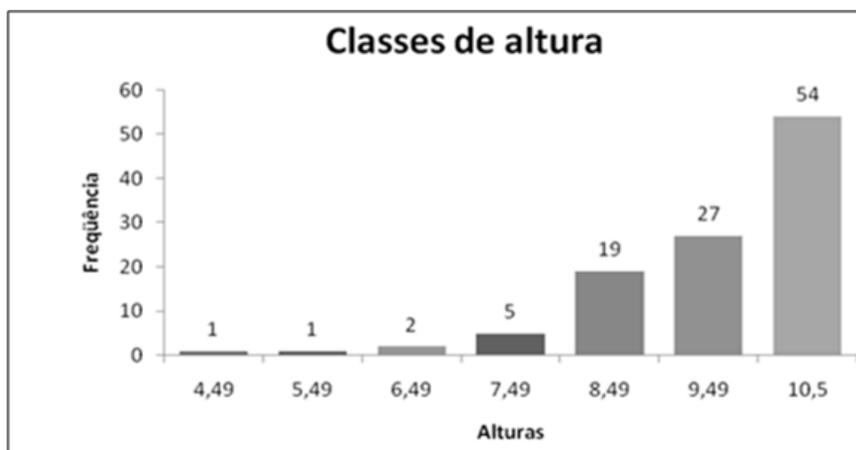


FIGURA 3 - Histograma de classes de altura.

O povoamento está em sua forma original, onde a densidade dos indivíduos não mudou desde o plantio. O plantio apresenta indivíduos com qualidade de fuste variando de 1 a 5, segundo classificação de Jankauskis (1979). Sendo indivíduos desde fustes retilíneos e sem galhos, tipicamente comerciais, até indivíduos completamente tortuosos, com galhos laterais com baixo aproveitamento.

Carvalho (2003) sugeriu rotação inicial de até 15 anos para desdobro, onde seriam obtidos DAP de 45 cm em solos razoáveis e com bons tratos silviculturais. Como observado no histograma dos dap, a classe de diâmetro máxima foi de 31,10 cm. O plantio foi realizado no ano de 1998 e a rotação sugerida está se completando, pois o povoamento está com 12 anos e não apresentou nenhum indivíduo com 45 cm de DAP. Isso pode ser fruto da falta de tratos silviculturais que foram sugeridas anteriormente e/ou o solo não estar de acordo com a exigência da espécie, sendo necessária a realização de estudos específicos para região.

RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA

O coeficiente de correlação entre a altura total e o dap foi de 0,72. Apesar de haver correlação próxima de 1 (um), a regressão não apresentou estimativa da altura com exatidão. Pode-se inferir que este

fato ocorreu devido à elevada variação dos valores de diâmetro à altura do peito.

Os dados foram analisados com auxílio da ferramenta de análise de regressão, resultando diferentes valores de coeficientes e erro padrão de estimativa, como demonstra o QUADRO 3.

	Modelos matemáticos	b0	b1	b2	b3	R ² _{ajust.}	Syx	Syx%	F
1	$h = b_0 + b_1 d + e$	5,31	0,18			0,52	1,01	10,97	118,48
2	$h = b_0 + b_1 d + b_2 d^2 + e$	4,25	0,30	-0,003		0,52	1,00	10,92	60,97
3	$h = b_0 + b_1 d + b_2 d^2 + b_3 d^3 + e$	6,73	-0,25	0,032	-0,0006	0,55	0,97	10,53	45,41
4	$h = b_0 + b_1 (1/d^2) + e$	10,24	-326,66			0,42	1,03	11,14	3,18
5	$1/\sqrt{h} = b_0 + b_1 (1/d^2) + e$	0,33	0,25			0,017	0,03	9,85	2,95
6	$1/h = b_0 + b_1 (1/d) + b_2 (1/d^2) + e$	0,04	1,48	-2,765		0,66	0,01	13,05	106,34
7	$d^2/h = b_0 + b_1 d + b_2 d^2 + e$	2,34	0,58	0,073		0,93	5,13	10,62	781,49
8	$d/h = b_0 + b_1 d + b_2 d^2 + e$	0,91	0,30	-0,0008		0,94	0,35	5,29	966,59
9	$\ln(h) = b_0 + b_1 \ln(d) + e$	1,21	0,33			0,44	0,13	6,07	89,29
10	$\ln(1/h) = b_0 + b_1 \ln(d) + b_2 \ln(d^2) + e$	-2,14	0,46	-0,16		0,54	0,12	5,56	65,35
11	$\ln(h) = b_0 + b_1 \ln(d/(1+d)) + e$	2,32	2,16			0,19	0,16	7,46	26,45
12	$\ln(h) = b_0 + b_1 (1/d) + e$	2,29	-1,61			0,15	0,16	7,53	20,64

Onde: b_0, b_1, b_2, b_3 = coeficientes; R^2 ajustado = coeficiente de determinação; $S_{yx}\%$ = erro padrão da estimativa em percentagem; F = valor de F da análise da variância.

QUADRO 3 - Parâmetros estatísticos para modelos de relação hipsométria de *Cordia trichotoma*.

O erro padrão da estimativa foi corrigido para os modelos 9, 10, 11 e 12, porque eles apresentam logaritmo neperiano (Ln) na variável dependente Y.

O modelo 8 foi o que melhor captou a variação dos dados, pois o mesmo teve os maiores valores dos parâmetros analisados. Seu valor de coeficiente de determinação R^2 ajustado foi de 0,94 e o erro de padrão de estimativa Syx % 5,28. Como pode ser observado, outros modelos como o 7 e o 6 também apresentaram alguns valores desejáveis. O valor de R^2 ajustado do modelo 7 atende as exigências com o valor de 0,93, e o valor do erro padrão de estimativa apresentou-se com valor de 10,61% sendo aceitável. Já o modelo 6 teve seu valor do coeficiente

de determinação R^2 ajustado 0,66 um erro padrão de estimativa $Syx\%$ 13,05 que são valores aceitáveis.

O modelo de número 8 foi selecionado pelo seu alto valor de R^2 ajustado e menor valor de erro de estimativa $Syx\%$, apresentando limite inferior de -28% e seu limite superior de 23%. Quanto à dispersão dos resíduos em função da altura estimada (h'), os modelo 8, modelo 6, modelo 7 e modelo 3 comportaram-se de forma semelhante, com dados dispersos próximos ao eixo das abscissas (Figura 4).

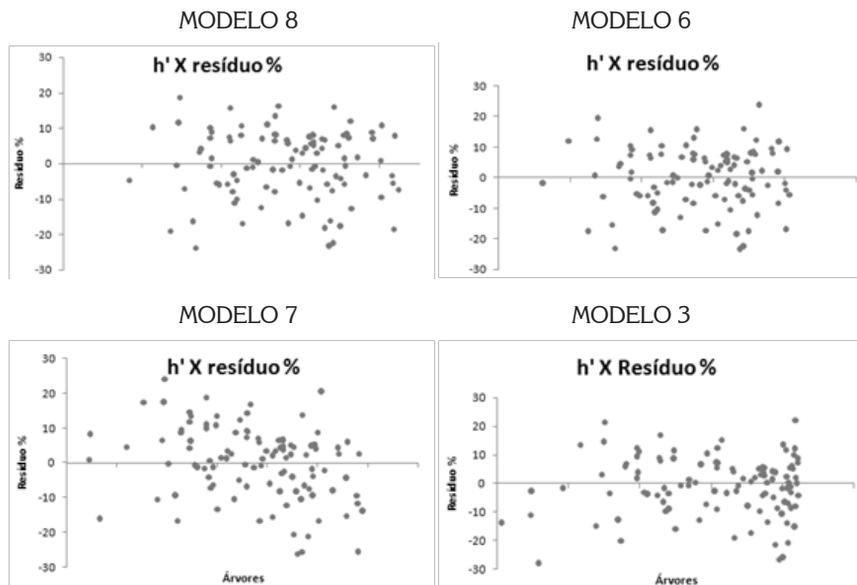


FIGURA 4 - Dispersão dos resíduos em função da altura estimada.

O modelo 5 (Figura 5) foi que apresentou menor valor de R^2 ajustado e menor valor de F , e maior agrupamento dos dados como representado no resíduo, não se adequando ao plantio florestal.

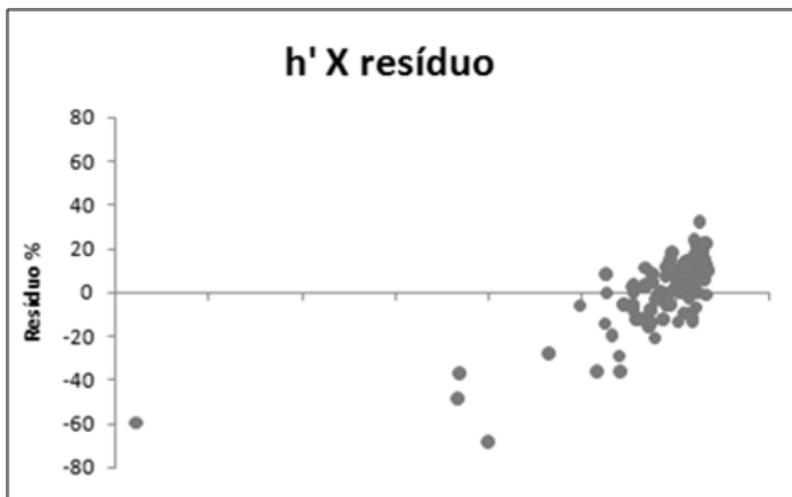


FIGURA 5 – Resíduos do modelo 5.

Na Figura 6, é possível observar a curva ascendente que se aproxima dos valores reais, comprovando a eficiência do melhor modelo. Também é possível observar os dados dispersos na parte inferior e superior da curva onde os mesmos se compensam.

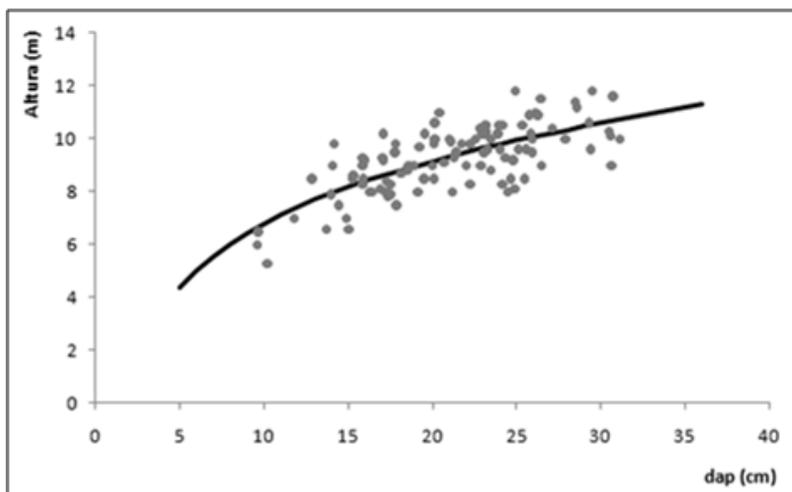


FIGURA 6 – Curva de alturas estimadas pelo modelo 8.

CONCLUSÕES

A elevada variação de valores de dap pode ser fruto da falta de tratos silviculturais, onde o povoamento poderia apresentar menor heterogeneidade de diâmetros e possivelmente menor competição entre indivíduos, resultando em maior correlação. Esse comportamento do povoamento era esperado, com grande variação de dap e alturas pela falta de tratos.

Com base nos resultados obtidos, o modelo de número “8” $d/\sqrt{h} = b_0 + b_1*d + b_2*d^2 + e$ foi o que melhor se ajustou aos dados do povoamento, com o valor de R^2 ajustado de aproximadamente 0,95 e o menor erro padrão de estimativa $Syx\%$ de 5,3%.

REFERÊNCIAS

ALVES, E. S.; ANGYALOSSY-ALFONSO, V. Ecological trends in the wood anatomy of some Brazilian species. I: Growth rings and vessels. *IAWA Journal*, 21, p. 3-30, 2000.

ARABATZIS, A.; BÜRKHART, H. An evaluation of sampling methods and model form for estimating height – diameter relationships in Loblolly pine plantations. *Forest science*, v. 38, n. 1, p. 192-8, 1992.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. *Projeto RADAMBRASIL*. Folha SD. 21 Cuiabá. geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro: Ministério das Minas e Energia, 1982.

CARVALHO, P. E. R. *Espécies arbóreas brasileiras*. Brasília: Embrapa Informação tecnológica, v. 1, 2003. 1039p.

COUTO, H. T. Z.; BATISTA J. L. F.; MARQUESINI, M. Desempenho de modelos de relações hipsométricas: estudo em três tipos de floresta. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, n. 60, p. 149-163, 2001.

CURTIS, R. Height - diameter and height – diameter – age equations for second - growth Douglas - fir. *Forest Science*, v. 13, n.4, p. 365-75, 1967.

EMPRESA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL (EMATER). *Sugestões de adubação para o Estado da Paraíba*. 1ª aproximação. João Pessoa, 1979. 56p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Avaliação da fertilidade

- dos solos do Distrito Federal. *Boletim Técnico* 74, Rio de Janeiro, 1980. 11p.
- FANG, Z.; BAILEY, R. Height-diameter models for tropical forests on Hainan Island in southern China. *Forest Ecology and Management*, v. 110, p. 315-327, 1998.
- GONÇALVES, M. R. Avaliação Silvicultural de *Tectona grandis* L. f., em Cáceres-MT, Brasil: Resultados Preliminares. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 16, n. 2, p. 225-232, 2006.
- HÖKKÄ, H. Height-diameter curves with random intercepts and slopes for trees growing on drained peatlands. *Forest Ecology and Management*, v. 97, p. 63-72, 1997.
- JANKAUSKIS, J. *Recuperação de florestas tropicais mecanicamente exploradas*. Belém: SUDAM, 1979. 58p.
- KNOWE, S.; FOSTER, G. Height-age and height – diameter relationships for monocultures and mixtures of eastern cotton wood clones. *Forest Ecology*, 1998.
- MELLO, F. A. F.; BRASIL SOBRINHO, M. O. C.; ARZOLLA, S.; SILVEIRA, R. I.; COBRA NETTO, A. & KIEHL, J. C. *Fertilidade do solo*. São Paulo, Nobel, 1983. 400p.
- OMULE, S.; MAC DONALD, R. Simultaneous curve fitting for repeated height-diameter measurements. *Canadian Journal of Forest Research*, v. 21, p. 1418-22, 1991.
- SCHNEIDER, P. R. *Análise de regressão aplicada à Engenharia Florestal*, Santa Maria-RS: UFMS/ CEPEF – FATEC, 1997. 217 p.
- YARED, J. A. G. *Comportamento e variabilidade de procedência de Cordia alliodora (Ruiz & Pav) Oken, no Planalto do Tapajós – Belém, PA*. 1983. 109p. Tese (Mestrado) - ESALQ, Piracicaba, 1983.
- ZHANG, S.; BURKHART, H.; AMATEIS, R. The influence of thinning on tree height and diameter relationships in Loblolly pine plantations. *Southern Journal of Applied Forestry*, v. 21, n. 4, p. 199-205. 1997.