



MODELOS HIPSOMÉTRICOS PARA *Genipa americana* L. EM PLANTIO HOMOGÊNEO NO MUNICÍPIO DE VITÓRIA DA CONQUISTA, BAHIA

Celsiane Manfredi¹, Thaiana Ferreira Alves¹, Patrícia Anjos Bittencourt Barreto²

¹Engenheira Florestal, graduada pela Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (cel.manfredi@gmail.com)

²Professora Adjunta do curso de Engenharia Florestal da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - UESB, Estrada do Bem Querer, Km 4, (77) 3424-8600 Vitória da Conquista – BA . Brasil.

Recebido em: 06/05/2013 – Aprovado em: 17/06/2013 – Publicado em: 01/07/2013

RESUMO

Conhecido cientificamente como *Genipa americana* L., o Jenipapeiro é uma espécie com várias formas de utilização, dentre elas o emprego da sua madeira para diferentes fins. Apesar disso, estudos que permitam conhecer o potencial produtivo dessa espécie em povoamentos homogêneos ainda são escassos ou inexistentes. A altura das árvores é uma variável fundamental para conhecer o estoque de madeira de um povoamento florestal. O objetivo deste trabalho foi comparar e selecionar modelos matemáticos com melhor desempenho para estimar a variável altura total (Ht) em função do DAP (diâmetro do tronco da árvore a 1,3 m do solo) para a espécie *Genipa americana* L., em povoamento homogêneo. Foram obtidas medidas de DAP e Ht de 190 árvores em um povoamento homogêneo localizado no município de Vitória da Conquista (BA) e, a partir destes dados, foram ajustados e testados 10 modelos hipsométricos para a estimativa da altura total. O modelo da Linha reta, dentre os modelos testados, é o mais recomendado para a estimativa da altura total de *Genipa americana* L. nas condições estudadas, todavia os modelos Parabólico, Stofel e Silva (1980) também apresentaram boas estimativas, sem ocorrência de tendências.

PALAVRAS-CHAVE: equações hipsométrica, estimativa da altura, ajuste de equações.

HYPSONOMETRIC MODELS FOR *Genipa americana* L. PLANTING IN HOMOGENEOUS IN THE CITY OF VITÓRIA DA CONQUISTA, BAHIA

ABSTRACT

Known scientifically as *Genipa americana* L., the jenipapo is a species with various uses, among them the use of their wood for different purposes. Nevertheless, studies to know the potential yield of this species in homogeneous stands are scarce or nonexistent. The height of the trees is a fundamental variable to know the wood stock of a forest stand. The aim of this study was to compare and select the best

performing mathematical models to estimate the variable total height (Ht) as a function of DBH (diameter of the tree trunk to 1.3 m above the ground) for the species *Genipa americana* L., in settlement homogeneous. We obtained DBH and Ht 190 trees in a homogeneous population in the city of Vitória da Conquista (Bahia) and, from these data were adjusted and tested 10 hypsometric models to estimate the total height. The model of the straight line, among the tested models, is the most recommended for the estimation of the total height of *Genipa americana* L. the conditions studied, however the models Parabolic, Stofel and Silva (1980) also showed good estimates without occurrence of trends.

KEYWORDS: hypsometric equation, estimated height, adjustment equations.

INTRODUÇÃO

O Jenipapeiro é conhecido cientificamente como *Genipa americana* L. e pertence à família Rubiaceae. É originário da América Tropical, com distribuição geográfica muito abrangente no Brasil, sendo registrado em vários Estados, como Amazonas, Bahia, Goiás, Mato Grosso e Distrito Federal (CARVALHO, 2003). A árvore apresenta altura variando entre 10 e 12 m (ESTRELLA, 1995), possui fuste reto podendo chegar a 60 cm de diâmetro, copa grande e arredondada com ramos numerosos e fortes, de casca lisa, com coloração cinzenta esverdeada e com manchas cinza mais claras (CORREA, 1969).

A espécie é muito utilizada em reflorestamentos para recuperação de áreas degradadas, principalmente em matas ciliares, pois apresenta afinidade com ambientes alagados e seus frutos têm uma excelente dispersão através da água. Além disso, o jenipapeiro apresenta potencial de uso para diferentes finalidades, como, por exemplo, a utilização de seus frutos e cascas para a extração do tanino, além do vasto emprego de sua madeira, que apresenta propriedades favoráveis ao processamento e uso (é mole e flexível), na construção civil, construção naval, marcenaria e fabricação de cabos para ferramentas (FAO, 1986). No entanto, estudos sobre a avaliação de variáveis dendrométricas dessa espécie em povoamentos homogêneos ainda são escassos ou inexistentes, o que restringe o conhecimento do seu potencial produtivo e utilização adequada.

A altura das árvores constitui uma variável dendrométrica fundamental para a estimativa do volume de madeira disponível em povoamentos florestais. Todavia, sua medição pelo uso de instrumentos é um procedimento que demanda muito tempo, recursos financeiros e que está sujeita a erros. Nesse contexto, o uso de relações hipsométricas constitui uma importante ferramenta para tornar as atividades de inventário florestal mais econômicas e precisas, pois permitem estimar a altura das árvores por meio do diâmetro, que é uma variável de fácil obtenção. Essas relações são definidas a partir da medição da altura de alguns indivíduos fixados em parcelas de amostragem, e da medição de diâmetros em levantamentos dendrométricos (IMANA ENCINAS et al., 2002).

O objetivo deste trabalho foi comparar e selecionar modelos matemáticos com melhor desempenho para estimar a variável altura total em função do DAP (diâmetro do tronco da árvore a 1,3 m do solo) para a espécie *Genipa americana* L., em povoamento homogêneo, no município de Vitória da Conquista, Bahia.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados empregados nesse trabalho foram obtidos em um plantio homogêneo de Jenipapeiro (*Genipa americana* L.) com cinco anos de idade, localizado na área experimental da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), *campus* do município de Vitória da Conquista, Bahia.

O clima da região é o tropical de altitude, com temperatura média mínima de 18°C e média máxima de 25°C. A precipitação varia de 700 a 1100 mm por ano (média anual de 850 mm), distribuída nos meses de novembro a março, definindo um período seco que varia de quatro a cinco meses e que coincide com os meses mais frios do ano (NOVAES et al., 2008).

O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico, não hidromórfico, de composição mineral, profundo, bem drenado, com boa porosidade e baixo teor de matéria orgânica (RADAM BRASIL, 1981 citado por NOGUEIRA, 2010).

Os dados de circunferência do tronco à altura de 1,30 m em relação ao nível do solo e respectivas alturas totais (Ht) das árvores foram provenientes da medição de 190 árvores abrangendo toda a extensão do povoamento. As medições foram realizadas com o emprego de fita métrica e hipsômetro eletrônico Haglof. Os dados de circunferência foram convertidos para diâmetro, obtendo-se o diâmetro à altura de 1,30 m (DAP).

Foram analisados 10 modelos hipsométricos (Quadro 1), que foram ajustados aos dados de DAP e Ht, para a seleção da equação de melhor desempenho na estimativa da variável altura total em função do DAP.

QUADRO 1. Modelos hipsométricos usados para estimativa da altura.

Modelo	Modelo	Autor
1	$Ht = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(DAP) + \varepsilon$	Henricksen ²
2	$Ht = \beta_0 + \beta_1 \cdot DAP + \beta_2 \cdot DAP^2 + \varepsilon$	Parabólico ²
3	$\ln(Ht) = \beta_0 + \beta_1 \cdot (1/DAP) + \varepsilon$	Curtis ²
4	$\ln(Ht) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(DAP) + \varepsilon$	Stofel ²
5	$\ln(Ht) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(DAP) + \beta_2 (1/DAP) + \varepsilon$	SILVA (1980) ³
6	$Ht = \beta_0 + \beta_1 \cdot DAP + \varepsilon$	Linha reta ¹
7	$Ht = \beta_0 + \beta_1 \cdot DAP^2 + \varepsilon$	AZEVEDO et al. (1999)
8	$\ln(Ht) = \beta_0 + \beta_1 \cdot DAP^2 + \varepsilon$	AZEVEDO et al. (1999)
9	$Ht = \beta_0 + \beta_1 \cdot (1/DAP^2) + \varepsilon$	SOARES et al. (2006)
10	$Ht = \beta_0 + \beta_1 \cdot (1/DAP) + \beta_2 \cdot (1/DAP^2) + \varepsilon$	Trorey ⁴

Onde: β 's = coeficientes dos modelos; Ht = altura total (m); DAP = diâmetro à altura do peito (cm); Ln = Logaritmo neperiano. ¹ Modelo citado por SOARES et al. (2006); ² Modelos citados por SANQUETTA et al. (2009); ³ Modelo citado por AZEVEDO et al. (1999); ⁴ Modelo citado por ARAÚJO et al. (2012).

A seleção dos melhores modelos de regressão foi realizada de acordo com os seguintes parâmetros estatísticos: coeficiente de determinação ajustado, em porcentagem (R^2_{aj} %); erro padrão da estimativa (S_{yx}); coeficiente de variação (CV %); e o valor de F calculado (teste F), que foram analisados em conjunto para

determinação do valor ponderado dos escores estatísticos (VP).

Para obtenção do VP de cada modelo ajustado, foi atribuído peso de 1 a 10 para os valores de cada parâmetro, visto que foram ajustadas 10 equações, que foram então somados. Para isso, adotou-se a seguinte regra: para o maior valor de R^2_{aj} e de F, foi atribuído peso 1 e para o menor valor peso 10; enquanto para o menor valor de S_{yx} e de CV, foi atribuído peso 1 e para o maior valor peso 10.

O coeficiente de determinação ajustado mostra a proporção da variação total explicada pelo modelo e diz o quanto a relação entre as variáveis é justificada pela equação ajustada (SANQUETTA et al., 2009). Quanto mais próximo de 1 for o valor do coeficiente de determinação ajustado, melhor será o ajuste do modelo (VIEIRA, 2008). A fórmula utilizada para obtenção é:

$$R^2_{aj} = 1 - \left(\frac{n-1}{n-p} \right) \cdot \left(\frac{Sq.res}{Sq.tot} \right)$$

Sendo que: R^2_{aj} = coeficiente de determinação ajustado; n = número de dados observados; p = número de coeficientes do modelo; Sq.res = soma dos quadrados do resíduo; e Sq.tot = soma dos quadrados total.

O erro padrão da estimativa diz qual será a qualidade do ajuste e quanto será o erro médio do modelo, ao estimar a variável dependente (MACHADO et al., 2008). Esse parâmetro é obtido pela fórmula:

$$S_{yx} = \sqrt{QM_{res}}$$

Sendo que: S_{yx} = erro-padrão da estimativa; e QM_{res} = quadrado médio do resíduo.

De acordo com o valor de F calculado, obtido na análise de variância da regressão, quanto maior o valor melhor será o ajuste do modelo (VIEIRA, 2008).

Para os modelos em que a variável dependente sofreu transformação logarítmica, foi utilizado o fator de correção de Meyer para a obtenção do erro padrão recalculado e, assim, possibilitar a comparação com os modelos aritméticos. Desse modo, multiplicou-se a altura estimada pelo fator de correção de Meyer para então recalculer o S_{yx} , de acordo com as fórmulas:

$$\text{Fator de Meyer} = e^{0,5 \cdot S_{yx}^2}$$

Sendo que: $e=2,718281828$; S_{yx} = erro padrão da estimativa (m^3)

$$S_{yx \text{ recalculado}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{(n-p)}}$$

Sendo que: $S_{yx \text{ recalculado}}$ = erro padrão da estimativa recalculado; y_i =valor real de cada observação; \hat{y}_i = valor estimado de cada observação; n = número de dados; p = número de coeficientes de cada equação, incluindo β_0 .

O coeficiente de variação expressa o quanto o experimento pode variar equilibrado pela média e permitindo assim, a comparação entre as variáveis mensuradas em distintas unidades. Quanto menor for o valor do coeficiente de variação maior será a exatidão das estimativas (VIEIRA, 2008). Este coeficiente é obtido pela fórmula:

$$CV = \frac{S_{yx}}{\bar{y}} .100$$

Sendo que: CV = coeficiente de variação; S_{yx} = erro padrão da estimativa; e \bar{y} = média aritmética da variável dependente.

Os modelos selecionados por meio dos critérios estatísticos adotados tiveram suas distribuições de resíduos em função do DAP analisadas com o objetivo de avaliar a ocorrência de tendências na estimativa da variável dependente altura.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, estão representados os valores dos coeficientes e parâmetros estatísticos obtidos com o ajuste das equações testadas para a estimativa da variável altura em função da variável diâmetro à altura de 1,30 m (DAP) para a espécie *Genipa americana* L. em plantio homogêneo no município de Vitória da Conquista, Estado da Bahia.

TABELA 1. Coeficientes e parâmetros estatísticos obtidos no ajuste dos modelos hipsométricos para a espécie *Genipa americana* L., em plantio homogêneo no município de Vitória da Conquista, Bahia.

Modelo	β_0	β_1	β_2	$R^2_{aj} \%$	S_{yx}	CV %	F	VP
1	-2,7289	4,0242	-	59,22	0,9267	15,23	275,46	18
2	1,4175	0,5599	-0,0057	60,29	0,9144	15,03	144,49	18
3	2,4060	-5,4073	-	57,28	0,9451	15,54	254,38	29
4	0,2784	0,6841	-	60,07	0,9124	14,99	285,29	9
5	0,1713	0,7181	0,2809	59,86	0,9123	14,99	141,92	15
6	1,9330	0,4475	-	60,40	0,9131	15,01	289,29	8
7	4,0546	0,0220	-	58,01	0,9403	15,46	262,09	25
8	1,4452	0,0036	-	54,24	0,9965	16,35	225,00	33
9	7,5431	-99,0944	-	43,74	1,0884	17,89	147,96	37
10	12,4355	-74,5194	157,8035	58,80	0,9315	15,31	135,84	28

Em que: β_i = coeficientes dos modelos; $R^2_{aj} \%$ = coeficiente de determinação ajustado em porcentagem; $S_{y.x}$ = erro padrão da estimativa; CV % = coeficiente de variação em porcentagem; F = valor de F da análise de variância; VP = valor ponderado dos escores.

O coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}) variou de 43,74% (modelo 9) a 60,40% (modelo 6). Essa variação sugere que os modelos avaliados não apresentaram bom ajuste para a estimativa da variável altura em função do DAP. No entanto, de acordo com SCOLFORO (1998), tratando-se de relações hipsométricas, é comum que o valor de R^2_{aj} não ultrapasse 80%, uma vez que a correlação altura/diâmetro não é tão forte quanto a altura/volume. Assim, é comum verificar

baixos valores para este parâmetro em modelos ajustados para a estimativa da altura de diferentes espécies florestais. RUFINO et al., (2010), testando modelos para estimativa de altura de um povoamento de eucalipto, obteve valores de R^2_{aj} variando entre 55% e 76 %. Esses autores concluíram que o modelo de Trorey, que apresentou R^2_{aj} igual a 61%, propiciou estatísticas de ajuste e precisão mais favoráveis que os demais modelos avaliados.

O erro padrão da estimativa (S_{yx}) pouco variou entre os modelos, apresentando valores entre 0,9 e 1,1. OLIVEIRA et al., (2011), testando modelos hipsométricos para eucalipto em Jaguaquara (BA), observaram valores de S_{yx} entre 0,04 e 1,26, com cinco de dez modelos avaliados apresentando valores acima de 1,1.

Para o coeficiente de variação (CV), foram observados menores valores nos modelos 4 e 5 (14,99%) e maior valor no modelo 9 (17,89%). Por outro lado, os resultados de F calculado indicaram melhor ajuste dos modelos 4 e 6, que apresentaram valores de 285,29 e 289,29, respectivamente.

Segundo os resultados de valor ponderado dos escores estatísticos (VP), o modelo mais satisfatório para estimativa da variável altura total foi o 6 (VP= 8), seguido dos modelos 4, 5, 2 e 1, enquanto os modelos 7, 8 e 9 foram os menos satisfatórios, pois apresentaram os maiores resultados de VP.

Assim, com base no VP, foram selecionados quatro modelos para a análise gráfica da distribuição dos resíduos: 2, 4, 5 e 6. Como os modelos 1 e 2 apresentaram o mesmo resultado de VP (18), adotou-se como critério de desempate o valor de R^2_{aj} , que foi maior no modelo 2.

A Figura 1 apresenta a distribuição gráfica dos resíduos em função do DAP para os quatro modelos selecionados (Parabólico, Stofel, SILVA (1980) e Linha reta).

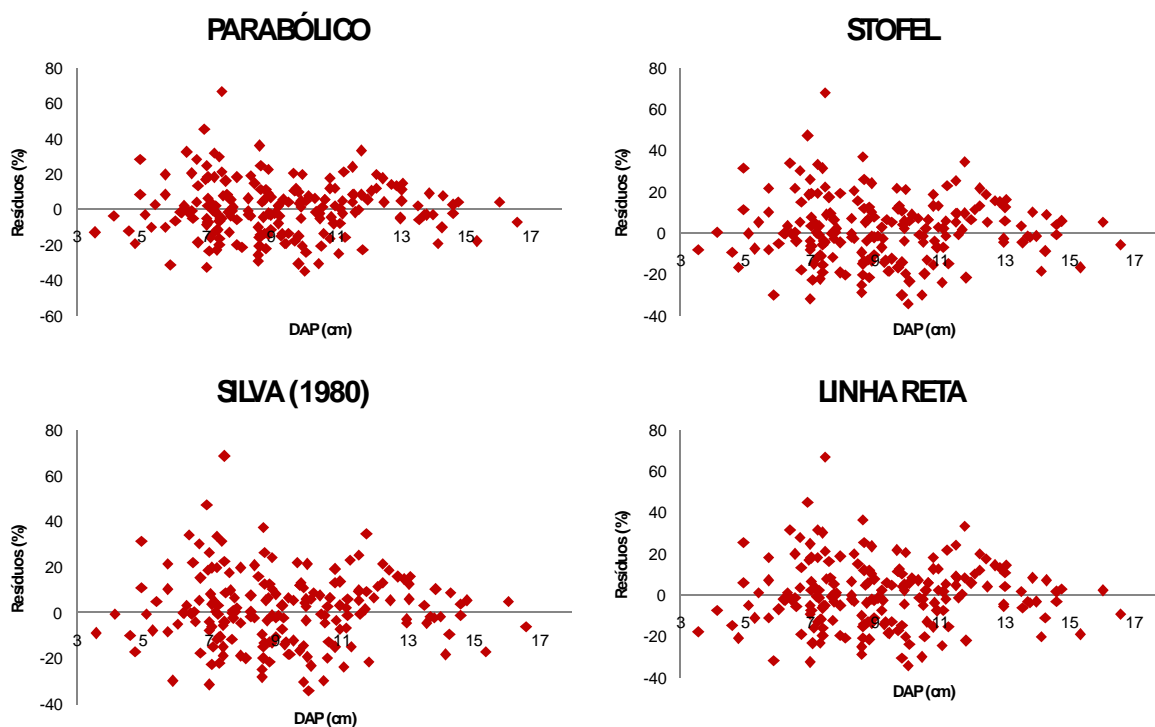


FIGURA 1. Distribuição dos resíduos em função do DAP para os modelos selecionados para a espécie *Genipa americana* L., em plantio homogêneo no município de Vitória da Conquista, Bahia

A distribuição gráfica dos resíduos não demonstrou a ocorrência de tendências, com dispersão uniforme em torno da média e semelhante para todos os modelos selecionados. Apesar disso, dentre os modelos selecionados, o modelo da Linha reta, por apresentar valores superiores de R^2_{aj} e de F e menores de $S_{y,x}$ e CV, mostra-se mais satisfatório para a estimativa da altura total da espécie estudada.

CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que o modelo da Linha reta, dentre os modelos testados, é o mais recomendado para a estimativa da altura total de *Genipa americana* L. nas condições estudadas, todavia, os modelos Parabólico, Stofel e SILVA (1980) também apresentaram boas estimativas, sem ocorrência de tendências.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, E. J. G.; PELISSARI, A. L.; DAVID, H. C.; SCOLFORO, J. R. S.; NETTO, S. P.; MORAIS, V. A. Relação hipsométrica para candeia (*Eremanthus erythropappus*) com diferentes espaçamentos de plantio em Minas Gerais, Brasil. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 32, n. 71, p. 257-268, 2012.

AZEVEDO, C. P.; MUROYA, K.; GARCIA, L. C.; LIMA, R. M. B.; MOURA, J. B.; NEVES, E. J. M. Relação hipsométrica para quatro espécies florestais em plantio homogêneo e em diferentes idades na Amazônia ocidental. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 39, p. 5-29, 1999.

CARVALHO, P. E. R.; Jenipapeiro. Circular técnica 80. **Embrapa Florestas**. Paraná: Colombo, 2003.

CORREA, M. P. Dicionário das plantas úteis do Brasil e das exóticas cultivadas. **Rio de Janeiro: IBDF**, 1969. v.4, p.515-519.

ESTRELLA, E. Plantas medicinales amazonicas: realidad y perspectivas. **Manaus: TCA**, 1995. 268p.

FAO. Food and fruit-bearing forest species 3: examples from Latin America. **Rome: FAO**, 1986. 308p. (FAO Forestry Paper, 44/3).

IMAÑA ENCINAS, J. et al. SILVA, G. F.; TICCHETTI, I.; Variáveis dendrométricas. **Brasília: Universidade de Brasília**, Departamento de Engenharia Florestal, 2002. 102p.

MACHADO, S. A.; NASCIMENTO, R. G. M.; AUGUSTYNCZIK A. L. D.; SILVA, L. C. R.; FIGURA, M. A., PEREIRA, E. M., TÊO, S. J. Comportamento da relação hipsométrica de *Araucaria angustifolia* no capão da Engenharia Florestal da UFPR. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n.56, p.5-16. 2008.

NOGUEIRA, A. L. B.; NOVAES, A. B.; Desempenho do Jenipapeiro (*Genipa americana* L.) submetido a diferentes densidades de plantio no Planalto de Conquista. **Bahia: Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia**, 2010. 9 p. Monografia.

NOVAES, A. B. DE; LONGUINHOS, M. A. A.; RODRIGUES, J.; SANTOS, I. F. DOS; GUSMÃO, J. C. Caracterização e demanda florestal da Região Sudoeste da Bahia. In: Santos, A. F. dos; Novaes, A. B. de; Santos, I. F. dos; Longuinhos, M. A. A. (Org.). Memórias do II Simpósio sobre Reflorestamento na Região Sudoeste da Bahia. 1ª ed. Colombo: **Embrapa Florestas**, 2008, v. 1, p. 25-43.

OLIVEIRA, F. G. R. B.; SOUSA, G. T. O.; AZEVEDO, G. B.; BARRETO, P. A. B. Desempenho de modelos hipsométricos para um povoamento de *Eucalyptus urophylla* no município de Jaguaquara, Bahia. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer – Goiânia, vol. 7, n. 13, 2011.

RUFINO, R. F.; MIGUEL, E. P.; SANTOS, G. A.; SANTOS, T. E. B.; SOUZA, F.; Ajuste de modelos hipsométricos para um povoamento de eucaliptos conduzido sobre o sistema de rebrota. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer – Goiânia, vol.6, n.10, 2010.

SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK, L. F.; CÔRTE, A. P. D.; FERNANDES, L. de A. V.; SIQUEIRA, J. D. P. **Inventários Florestais: planejamento e execução**. 2. ed. Curitiba, 2009. 316 p.

SCOLFORO, J. R. S. **Modelagem do crescimento e da produção de florestas plantadas e nativas**. LAVRAS: UFLA/FAEPE, 1998. v. 1. 443 p.

SOARES, C. P. B.; NETO, F. P.; SOUZA, A. L. **Dendrometria e Inventário Florestal**. Viçosa, MG. Ed. UFV, 2006, 276p.

VIEIRA, A. H.; ROCHA, R. B.; BENTES-GAMA, M. M.; LOCATELLI, M. Desempenho de teca (*Tectona grandis*) em plantio adensado no Estado de Rondônia. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**. Porto Velho, RO: Embrapa Rondônia, 2008. 14 p.