

Relação hipsométrica para *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus tecunumanii* em povoamento homogêneo no Estado de Rondônia

Hypsometric relation to *Pinus caribaea* var. *hondurensis* and *Pinus tecunumanii* in pure stand in Rondônia State

Alex Xavier Donadoni^I Allan Libanio Pelissari^{II} Ronaldo Drescher^{III} Gideon Danni da Rosa^I

RESUMO

Os plantios comerciais de *Pinus* foram estabelecidos no Brasil há mais de 30 anos, inicialmente nas regiões Sul e Sudeste. No entanto, com a introdução de espécies tropicais, tornou-se viável em todo o país. Considerando a importância da obtenção de parâmetros que permitam avaliar o crescimento e o potencial da produção de povoamentos de *Pinus*, o presente trabalho visa ajustar modelos tradicionais de relação hipsométrica para as espécies *Pinus caribaea* Morrelet var. *hondurensis* Barret & Golfari e *Pinus tecunumanii* Eguluz & Perry, em povoamento homogêneo, no município de Vilhena, Estado de Rondônia. Foram ajustados dez modelos, e o critério de seleção obedeceu ao menor erro padrão de estimativa (S_{yx} %), maior coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), valor de F e coeficientes de regressão significativos e a análise gráfica dos resíduos. O modelo

$$\frac{d}{\sqrt{h}} = \beta_0 + \beta_1 \cdot d + \varepsilon_i \text{ apresentou melhor ajuste, com}$$

R^2_{aj} de 0,896 e S_{yx} % de 3,941% para o *P. caribaea* var. *hondurensis* e R^2_{aj} de 0,973 e S_{yx} % de 6,319% para o *P. tecunumanii*.

Palavras-chave: modelos hipsométricos, relação altura/diâmetro, curva altura/diâmetro.

ABSTRACT

The commercial plantings of *Pinus* were established in Brazil for over 30 years, initially in the South and Southeast. However, with the introduction of tropical species, became feasible in the whole country. Considering the importance of

obtaining parameters to assess growth and the potential production of *Pinus*, the present work aims to adjust traditional models of hypsometric relation to species *Pinus caribaea* Morrelet var. *hondurensis* Barret & Golfari and *Pinus tecunumanii* Eguluz & Perry, in pure stand, in the municipality of Vilhena, Rondônia State. Ten models were adjusted and the selection criteria followed the lower standard error of estimate (S_{yx} %), higher adjusted coefficient of determination (R^2_{aj}), F value and regression coefficients significant and graphical

analysis of the residues. The model $\frac{d}{\sqrt{h}} = \beta_0 + \beta_1 \cdot d + \varepsilon_i$ showed the better fit, with R^2_{aj} of 0,896 and S_{yx} % of 3,941% for *P. caribaea* var. *hondurensis* and R^2_{aj} of 0,973 and S_{yx} % of 6,319% for *P. tecunumanii*.

Key words: hypsometric models, height/diameter relationship, height/diameter curve.

INTRODUÇÃO

As espécies de *Pinus* são plantadas em escala comercial no Brasil há mais de 30 anos. Inicialmente, os plantios mais extensos foram estabelecidos nas regiões Sul e Sudeste com as espécies *Pinus taeda* L. e *Pinus elliottii* Engelm (SHIMIZU & MEDRADO, 2005). Atualmente, ABRAF (2010) estima que, no Brasil, os plantios de *Pinus* ocupam uma área de aproximadamente 1,8 milhões de

^ICurso de Engenharia Florestal, Faculdade de Engenharia Florestal (FENF), Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Cuiabá, MT, Brasil.

^{II}Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais e Ambientais, FENF, UFMT, Cuiabá, MT, Brasil.

^{III}Departamento de Engenharia Florestal, FENF, UFMT, Av. Fernando Corrêa da Costa, 2367, Boa Esperança, 78125-070, Cuiabá, MT, Brasil. E-mail: ronaldodrescher@gmail.com. *Autor para correspondência.

hectares, distribuídos nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste. Com a introdução de diversas espécies, principalmente das regiões tropicais, como os *Pinus caribaea* Morrelet e *Pinus tecunumanii* Eguiluz & Perry, a produção de madeira desse gênero tornou-se viável em todo o país.

A espécie *Pinus caribaea* compreende três variedades: *caribaea*, *bahamensis* e *hondurensis*. O *P. caribaea* var. *hondurensis* ocorre na América Central, em locais livres de geada, em altitudes de até 700m, onde ocorrem precipitações médias anuais de 2.000mm a 3.000mm. O *P. tecunumanii* ocorre naturalmente desde o Sul do México até a Nicarágua, em locais de precipitação média anual de 1.200mm a 2.000mm e com solos férteis, profundos e bem drenados (SHIMIZU & MEDRADO, 2005).

A determinação das alturas das árvores por meio de instrumentos é uma operação onerosa, sendo comum medir-se a altura de algumas árvores em parcelas de amostragem e, empregando-se modelos de relação hipsométrica, estimar a altura das demais (IMAÑA ENCINAS et al., 2002).

A relação hipsométrica sofre influência de fatores, como o sítio, a idade, a densidade, o tamanho da copa, a espécie e a posição sociológica (FINGER, 1992; PRODAN et al., 1997; SCOLFORO, 1997). No entanto, BARTOSZECK et al. (2002) ressaltam que os modelos hipsométricos que consideram esses fatores são de difícil obtenção quando não se tem disponíveis dados como estes, o que justifica o estudo da viabilidade da aplicação de equações tradicionais disponíveis na literatura florestal.

Para a obtenção de parâmetros que permitam avaliar o crescimento e o potencial da produção de florestas de *Pinus*, o objetivo do presente trabalho visa ajustar modelos tradicionais de relação hipsométrica para as espécies *Pinus caribaea* Morrelet var. *hondurensis* Barret & Golfari e *Pinus tecunumanii* Eguiluz & Perry, em povoamento homogêneo, no município de Vilhena, Estado de Rondônia.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no Sítio Verde Vale, localizado no município de Vilhena, Estado de Rondônia, a 630 km da capital Porto Velho, sob as coordenadas geográficas 12°47'23,57" S e 60°07'48,64" W, em povoamentos equiâneos e homogêneos, com 14,2565 ha de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e 2,1025ha de *Pinus tecunumanii*, ambos no espaçamento 2 x 2 m, com 12 anos de idade. O povoamento de *P. caribaea* foi submetido ao desbaste

sistemático no décimo ano, com a retirada de uma árvore a cada seis por linha.

A vegetação existente na região é do tipo Savana Arbórea Densa e/ou Aberta com ou sem floresta de galeria. O clima é classificado como Aw (Köppen), com uma estação seca bem definida e prolongada. As temperaturas mínimas e máximas são em média de 18 e 35°C, respectivamente. O regime hidrológico é caracterizado por um período de estação chuvosa nos meses de outubro a abril e de seca nos meses de maio a setembro. A geomorfologia é classificada como Planalto dos Parecis. O solo é caracterizado como Latossolo Vermelho-escuro distrófico, com elevados teores de óxido de ferro, textura média a muito argilosa, moderadamente a bem drenado (BRASIL, 1979).

Para a coleta de dados, foram instaladas parcelas de 40x40m, sendo 20 parcelas para a espécie *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e três para o *Pinus tecunumanii*, e a análise de tronco com o abate de 20 árvores de *P. caribaea*, sendo dez árvores dominantes e dez intermediárias, e dez de *P. tecunumanii*, com cinco árvores dominantes e cinco intermediárias. Os discos foram coletados nas posições 0,20; 0,70; 1,30m e em distâncias de um metro ao longo do fuste.

Foram ajustados dez modelos de relação hipsométrica (Tabela 1), através do pacote estatístico PSPP 0.7.2 (GNU PSPP, 2005), e o critério de seleção obedeceu, inicialmente, ao menor erro padrão da estimativa em porcentagem ($S_{yx}\%$) e o maior coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}).

Para os modelos logarítmicos 5 e 6, a correção da discrepância na estimativa da variável dependente, ao se efetuar a operação inversa, foi realizada multiplicando-se a altura estimada pelo fator de correção de Meyer: $Meyer = e^{0,5 \cdot (S_{yx})^2}$, em que: e = exponencial; e S_{yx} = erro padrão de estimativa.

O $S_{yx}\%$ informa o quanto o modelo erra, relativamente, ao estimar a variável dependente, e o coeficiente de determinação (R^2) expressa o quanto a variação total é explicada pela regressão (MACHADO et al., 2008). Quando a variável dependente sofre alguma transformação, é necessário corrigir o S_{yx} e o R^2 . Essa operação foi efetuada nos modelos 5 a 10 pelas expressões:

$$S_{yx_{corrigido}} = \sqrt{\frac{\sum(h_o - h_e)^2}{n - p}};$$

$$R^2_{corrigido} = 1 - \left(\frac{SQ_{res}}{SQ_t} \right) \left(\frac{n-1}{n-p} \right),$$

Tabela 1 - Modelos de relação hipsométrica ajustados para as espécies *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus tecunumanii*.

Nº	Modelo	Denominação	Fonte
1	[REDACTED]	Linear simples	MACHADO et al. (2008)
2	[REDACTED]	Curtis	MACHADO et al. (2008)
3	[REDACTED]	Henricksen	MACHADO et al. (2008)
4	[REDACTED]	Trorey	MACHADO et al. (2008)
5	[REDACTED]	Stoffels	MACHADO et al. (2008)
6	[REDACTED]	Curtis	MACHADO et al. (2008)
7	[REDACTED]		SCHNEIDER et al. (1988)
8	[REDACTED]	Petterson	KOEHLER et al. (2010)
9	[REDACTED]	Prodan	MACHADO et al. (2008)
10	[REDACTED]		AZEVEDO et al. (1999)

ln = logaritmo neperiano; h = altura total (m); d = diâmetro, com casca, a 1,30m do solo (cm); ϵ_i = erro associado; e β_0 , β_1 e β_2 = coeficientes de regressão.

em que: h_o = altura observada (m); h_e = altura estimada (m); n = número de dados observados; p = número de coeficientes do modelo; SQres = soma dos quadrados dos resíduos; e SQt = soma total dos quadrados.

Avaliaram-se, também, o teste F, a significância dos coeficientes de regressão (β_0 , β_1 e β_2) e a análise gráfica dos resíduos. Neste, plotaram-se os resíduos ($Y_{\text{observado}} - Y_{\text{estimado}}$) em função da variável dependente, verificando a dimensão de tendências e, a partir do modelo selecionado, geraram-se as curvas da relação altura/diâmetro para cada espécie e cada idade, recalculando o intercepto (β_0), conforme FINGER (1992).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os modelos 9 e 10 apresentaram valores de coeficientes de determinação ajustados ($R^2_{aj.}$) de 0,897 e 0,896, para o *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, e 0,976 e 0,973, para o *Pinus tecunumanii* (Tabela 2).

Para os demais modelos, os $R^2_{aj.}$ apresentaram valores inferiores a 0,20 para o *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e a 0,50 para o *Pinus tecunumanii*. Comportamento semelhante foi verificado por CARDOSO et al. (1989), MACHADO et al. (1994) e BARROS et al. (2002) em povoamentos homogêneos de *Pinus taeda*, *Pinus elliotti* e *Pinus oocarpa* Schiede, respectivamente, os quais associaram a influência de fatores, como idade e desbaste, na maior homogeneização das alturas das árvores, o que afeta diretamente a relação hipsométrica.

Todos os modelos apresentaram erros padrão de estimativa (S_{yx} %) inferiores a 9%, sendo que, para o *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, o modelo 2 apresentou o maior, com 8,544%, e, para o *Pinus tecunumanii*, o modelo 1 apresentou 6,804%. Já os menores S_{yx} % foram observados no modelo 8, com 3,891% para o *P. caribaea*, e no modelo 10, para o *P. tecunumanii*, com 6,319%. Isso indica que estas

Tabela 2 - Parâmetros estatísticos dos modelos de relação hipsométrica ajustados para as espécies *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus tecunumanii*.

Modelo	β_0	β_1	β_2	$R^2_{aj.}$	$S_{yx}\%$	F
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>						
1	15,440*	0,315*		0,198	8,537	931,874*
2	27,530*	-113,420*		0,197	8,544	923,663*
3	3,535*	6,099*		0,199	8,530	938,632*
4	13,354*	0,530*	-0,005*	0,199	8,532	468,774*
5	2,211*	0,289*		0,192	4,082	897,222*
6	2,777*	0,014*		0,190	4,043	882,864*
7	14,14*	0,315*		0,198	4,092	931,874*
8	0,034*	0,296*		0,182	3,891	841,246*
9	-2,105 ^{ns}	0,4862*	0,027*	0,897	3,909	16269,740*
10	0,608*	0,184*		0,896	3,941	32309,282*
<i>Pinus tecunumanii</i>						
1	15,860*	0,334*		0,446	6,804	547,039*
2	27,785*	-100,874*		0,473	6,638	609,043*
3	4,391*	6,103*		0,471	6,650	604,437*
4	10,454*	0,939*	-0,016*	0,475	6,629	309,986*
5	2,249*	0,290*		0,470	6,373	597,210*
6	3,363*	-4,829*		0,479	6,320	619,230*
7	14,560*	0,334*		0,448	6,487	547,039*
8	0,034*	0,267*		0,479	6,328	618,661*
9	0,690 ^{ns}	0,147*	0,035*	0,976	6,329	12211,427*
10	0,524*	0,183*		0,973	6,319	23376,384*

^{ns} = não significativo; e * = significância a 5%.

equações apresentaram menor dispersão entre os valores observados e estimados.

Em geral, foi verificado que os menores $R^2_{aj.}$ e $S_{yx}\%$ foram obtidos no povoamento de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, onde ocorreu um desbaste no décimo ano de plantio. BARROS et al. (2002) afirmam que este comportamento ocorre devido à baixa correlação entre o diâmetro e a altura das árvores remanescentes. Isso pode ser comprovado pelo coeficiente de correlação linear de Pearson (r), que, no povoamento de *Pinus caribaea*, foi

de 0,445, inferior ao obtido para o *Pinus tecunumanii*, com r igual a 0,669.

Quanto aos valores de F, estes foram significativos para todas as equações, sendo os maiores obtidos nos modelos 9 e 10, para as duas espécies. No entanto, o modelo 9 apresentou coeficientes de regressão (β) não significativos, sendo, portanto, descartado.

Com base nos parâmetros estatísticos avaliados, selecionou-se o modelo 10, representado

pelas equações $\frac{d}{\sqrt{h}} = 0,608211 + 0,184087 \cdot d$ e

$$\frac{d}{\sqrt{h}} = 0,524871 + 0,183809 \cdot d \text{ , respectivamente,}$$

para o *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus tecunumanii*, sendo a análise gráfica dos resíduos e a curva da relação altura/diâmetro representadas na figura 1, em que verificou-se a ausência de tendências nas estimativas das alturas, com uma amplitude de erro de $\pm 6,0$ m.

Por meio dos dados obtidos pela análise de tronco e pelas equações ajustadas,

foram confeccionadas as curvas de relação hipsométrica por idade e para cada espécie (Figura 2). Estas mostraram um comportamento crescente, com redução no espaçamento entre curvas nas idades de 10 a 12 anos, o que sugere uma redução do incremento em altura a partir do décimo ano.

CONCLUSÃO

$$\text{O modelo } \frac{d}{\sqrt{h}} = \beta_0 + \beta_1 \cdot d + \varepsilon_i$$

apresenta o melhor ajuste para estimar a altura nos povoamentos de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus tecunumanii*, no município de Vilhena, Estado de Rondônia.

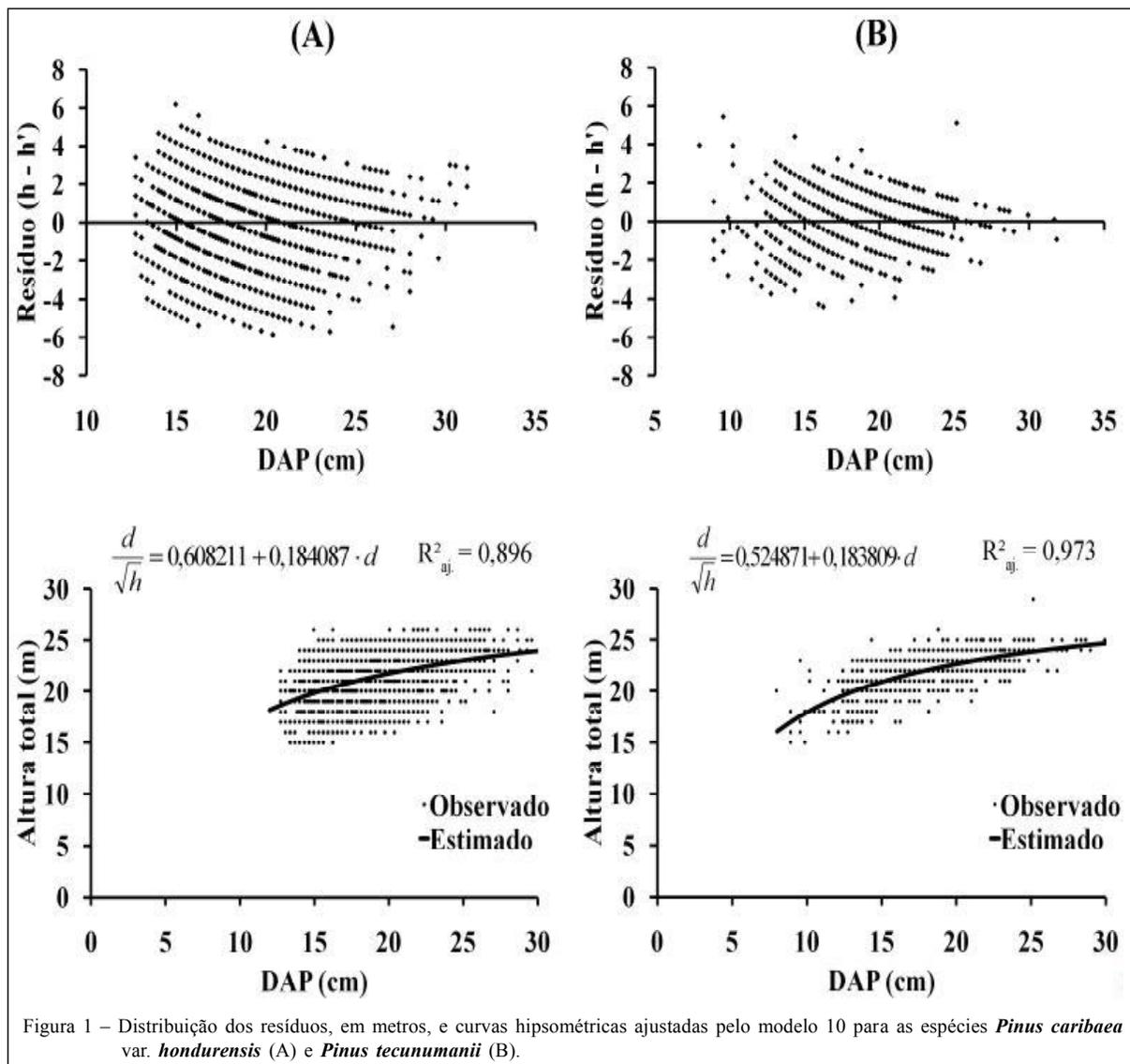


Figura 1 – Distribuição dos resíduos, em metros, e curvas hipsométricas ajustadas pelo modelo 10 para as espécies *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (A) e *Pinus tecunumanii* (B).

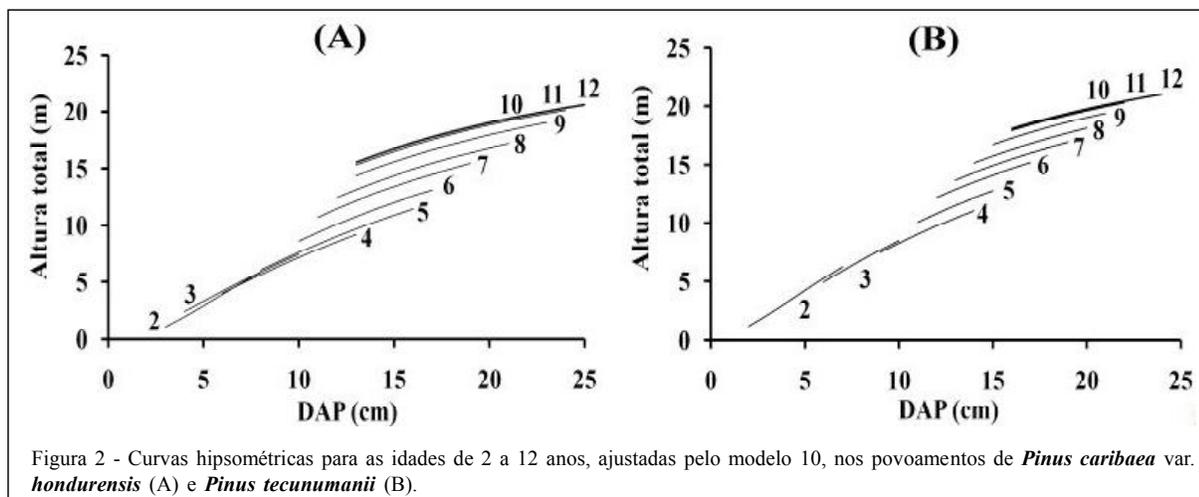


Figura 2 - Curvas hipsométricas para as idades de 2 a 12 anos, ajustadas pelo modelo 10, nos povoamentos de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (A) e *Pinus tecunumanii* (B).

REFERÊNCIAS

ABRAF – Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. **Anuário estatístico da ABRAF 2010 ano base 2009**. Brasília, 2010. 140p.

AZEVEDO, C.P. et al. Relação hipsométrica para quatro espécies florestais em plantio homogêneo e em diferentes idades na Amazônia ocidental. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n.39, p.05-29, 1999. Disponível em: <http://www.cnpf.embrapa.br/publica/boletim/boletarqv/boletim39/azevedo.pdf>. Acesso em: 19 jul. 2010.

BARROS, D.A. et al. Comportamento de modelos hipsométricos tradicionais e genéricos para plantações de *Pinus oocarpa* em diferentes tratamentos. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n.45, 2002, p.03-28. Disponível em: <http://www.cnpf.embrapa.br/publica/boletim/boletarqv/bolet45/pag3-28.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2010.

BARTOSZECK, A.C.P.S. et al. Modelagem da relação hipsométrica para bracatingais da região metropolitana de Curitiba-PR. **Floresta**, v.32, n.2, p.189-204, 2002. Disponível em: <http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/floresta/article/download/2285/1908>. Acesso em: 21 jul. 2010.

BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL. **Folha SD. 20 Guaporé; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra**. Rio de Janeiro: Ministério das Minas e Energia, 1979. 368p.

CARDOSO, D.J. et al. Avaliação da influência dos fatores idade e sítio na relação hipsométrica para *Pinus taeda* nas regiões central e sudoeste do Estado do Paraná. **Floresta**, v.19, n.19, p.96-115, 1989. <http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/floresta/article/download/6413/4605>. Acesso em: 18 jul. 2010.

FINGER, C.A.G. **Fundamentos de biometria florestal**. Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC, 1992. 269p.

GNU PSPP. **PSPP statistical analysis software: user guide**. Boston, 2005. 157p.

IMAÑA ENCINAS, J. et al. **Variáveis dendrométricas**. Brasília: Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Florestal, 2002. 102p.

KOEHLER, A.B. et al. Crescimento, tendências de distribuição das variáveis biométricas e relação hipsométrica em plantios jovens de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Ktze., em Tijucas do Sul, PR. **Scientia Forestalis**, v.38, n.85, p.53-62, 2010. Disponível em: http://www.dcf.ufla.br/cerne/artigos/16-02-20095285v1_n1_artigo%2001.pdf. Acesso em: 18 jul. 2010.

MACHADO, S.A. et al. Análise do comportamento da relação hipsométrica com respeito a idade para plantações de *Pinus elliotii* no Estado do Paraná. **Cerne**, v.1, n.1, p.05-12, 1994. Disponível em: http://www.dcf.ufla.br/cerne/artigos/16-02-20095285v1_n1_artigo%2001.pdf. Acesso em: 18 jul. 2010.

MACHADO, S.A. et al. Comportamento da relação hipsométrica de *Araucaria angustifolia* no capão da Engenharia Florestal da UFPR. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n.56, p.5-16, 2008. Disponível em: [http://www.cnpf.embrapa.br/publica/pfb-revista-antiga/pfb_56/1_S_A_Machado\(2\).pdf](http://www.cnpf.embrapa.br/publica/pfb-revista-antiga/pfb_56/1_S_A_Machado(2).pdf). Acesso em: 18 jul. 2010.

PRODAN, M. et al. **Mensura florestal**. San José: IICA, 1997. 586p.

SCHNEIDER, P.R. et al. **Fundamentos de planejamento da produção para o manejo florestal de *Eucalyptus grandis* (Hill.) Maiden e *Eucalyptus saligna* Smith**. Santa Maria: CEPEF/FATEC, 1988. 179p.

SCOLFORO, J.R.S. **Biometria florestal: técnicas de regressão aplicada para estimar: volume, biomassa, relação hipsométrica e múltiplos produtos da madeira**. Lavras: UFLA/FAEPE/DCF, 1997. 298p.

SHIMIZU, J.Y.; MEDRADO, M.J.S. Cultivo do *Pinus*. **Sistemas de Produção Embrapa Florestas**, n.5, p.1-18, 2005. Acessado em: 19 jul. 2010. Online. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Pinus/CultivodoPinus>.