

RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA PARA QUATRO ESPÉCIES FLORESTAIS EM PLANTIO HOMOGÊNEO E EM DIFERENTES IDADES NA AMAZÔNIA OCIDENTAL

Celso Paulo de Azevedo*
Kikue Muroya**
Lucinda Carneiro Garcia***
Roberval Monteiro Bezerra de Lima****
José Brandão de Moura*****
Edinelson José Maciel Neves

RESUMO

Este estudo foi conduzido utilizando dados de parcelas experimentais de dois ensaios de competição de espécies, pleno sol I e pleno sol II, instalados, em janeiro de 1992 e março de 1993, respectivamente, no Campo Experimental do Centro de Pesquisa Agroflorestal da Amazônia Ocidental - CCAA, localizado no km 29 da Rodovia AM-010, em Manaus-AM. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente ao acaso, com parcelas de 25 plantas, espaçadas de 3m x 3m, com quatro repetições. Estudou-se quatro espécies: andiroba - *Carapa guianensis* (pleno sol I); sumaúma - *Ceiba pentandra*; ucuúba - *Virola surinamensis* e ipê-rosa - *Tabebuia heptaphylla* (pleno sol II). Objetivando selecionar o melhor modelo de relação hipsométrica por espécie e por idade, foram testados 11 modelos matemáticos e, posteriormente, através da técnica de identidade de modelos, verificou-se a possibilidade de utilização de uma única equação, para todas as idades por espécie. Concluiu-se que: a) dos modelos testados, o modelo

$\frac{D}{\sqrt{H}} = b_0 + b_1 \cdot D$ é o mais indicado para representar a relação altura/diâmetro para

todas as espécies e idades; b) a relação altura/diâmetro varia de acordo com a idade do povoamento; c) não foi possível selecionar uma equação comum por espécie para todas as idades, para o modelo selecionado; e, d) as melhores observações conclusivas, para seleção dos modelos, foram possibilitadas pela significância dos coeficientes de regressão e pela análise gráfica da distribuição dos resíduos.

PALAVRAS-CHAVE: Relação hipsométrica, altura, diâmetro, espécies nativas e idade.

* Eng. Florestais, Mestres, CREA nºs 2388-D e 2428-D, respectivamente, Pesquisadores da *Embrapa Amazônia Ocidental*.

** Eng. Florestal, Bacharel, CREA nº 6865-D, Bolsista CNPq/*Embrapa Amazônia Ocidental*.

*** Eng.-Agrônomo, Mestre, CREA nº 2529-D, Pesquisadora da *Embrapa Amazônia Ocidental*.

**** Eng. Florestal, Mestre, CREA nº 2188-D, Professor do Depto. de Engenharia Florestal do UTAM.

***** Eng. Florestal, Mestres, CREA nº 3996-D, Pesquisador da *Embrapa Florestas*.

HYPSONOMETRICAL RELATION FOR FOUR FOREST TREE SPECIES IN MONOCULTURAL SYSTEM AND IN DIFFERENT AGES IN WESTERN AMAZONIA

ABSTRACT

This study is based on data obtained in two trials originally established for the comparative evaluation of the growing performance of several native species of the Amazon region. These trials, identified as "Pleno Sol I" and "Pleno Sol II", were established in January, 1992, and March, 1993, respectively, in the experimental station of the Western Amazon Agroforestry Research Center (CPAA), located in the highway AM-010, km 29, close to Manaus, State of Amazonas, Brazil. For both trials, a completely randomised block design was chosen, with plots of 25 trees spaced of 3.0 x 3.0 m, and four replicates. Four species were considered in the present study: a) "andiroba" (*Carapa guianensis*) Pleno Sol I; b) "sumaúma" (*Ceiba pentandra*); c) "ucuúba" (*Virola surinamensis*); and d) "ipê-rosa" (*Tabebuia heptaphylla*) Pleno Sol II. Initially, the best model to represent the height-dbh relationship for all species and ages was selected by testing 11 mathematical equations. Secondly, the possibility of using only one equation for all ages and species was examined. Results indicated that, among all models analysed, the best fit, for all species and ages, was obtained

with the model $\frac{D}{\sqrt{H}} = b_0 + b_1.D$. The height/dbh ratio changes with age so that it

was not possible to develop, for a single species, a common equation for all ages. Conclusions were based on results of statistical significance tests applied to the regression coefficients as well as through the visual analysis of the distribution of residuals.

KEY WORDS: hypsometric relation, height, diameter, native tree species and age.

1. INTRODUÇÃO

Em inventários florestais são comumente medidos os diâmetros de todas as árvores da parcela e a altura de parte delas. O conjunto desses dados é então utilizado para estabelecer uma relação de regressão da altura em função do diâmetro, a qual será usada para estimar as alturas das demais árvores da parcela em função dos diâmetros já medidos. O uso de equações hipsométricas no inventário tem sido cada vez mais frequente, tornando-o mais econômico e, na maioria das vezes, tão preciso quanto ao realizado medindo-se a altura de todas as árvores da parcela (Machado et al., 1993).

Nos inventários de florestas tropicais, o tempo despendido em medir a altura das árvores representa parcela significativa no custo total de medição, dada a grande dificuldade em realizar tal operação. A dificuldade de medição direta das alturas das árvores em florestas tropicais se deve ao entrelaçamento das copas. Desde que seja estabelecida uma relação hipsométrica, as alturas das árvores de uma determinada área ou povoamento florestal podem ser estimadas a partir do DAP, variável esta de fácil medição (Silva, 1980).

Relação hipsométrica é a regressão de altura sobre diâmetro em um povoamento em uma determinada data (Schmidt, 1977). Segundo o autor, as

relações hipsométricas têm sido muito estudadas por diversos autores, através da utilização de um grande número de modelos matemáticos, os quais mostram-se ser mais ou menos eficientes conforme a composição do povoamento e qualidade do sítio.

Chapman & Meyer (1949), afirmaram que a relação entre altura e diâmetro não apresenta um relacionamento biológico bem definido, tal como altura e idade ou diâmetro e idade, havendo grande variabilidade em altura para um mesmo diâmetro em sítio e idades diferentes.

Brunig & Klinge (1976), para 14 famílias de plantas, de acordo com o número de espécies e indivíduos.

Loetsch et al. (1973), relataram que a relação entre altura e diâmetro depende fundamentalmente da posição sociológica da árvore no povoamento, e que difere da posição sociológica da árvore dentro das classes. Esta curva mostra-se mais inclinada em povoamentos jovens equiâneos de sítios bons, porém, em sítios pobres, torna-se mais plana. Nota-se também que a inclinação da curva de altura é característica para cada espécie.

Garcia (1974), comparando 38 equações de regressão para a relação hipsométrica em *Pinus radiata*, obteve um melhor resultado com a equação, sendo H a altura em metros, D diâmetro à altura do peito em centímetros e β_0 e β_1 coeficientes da regressão.

Silva (1980), testou seis modelos matemáticos através da aplicação de regressão linear com o objetivo de determinar a relação DAP - altura comercial para as espécies mais importantes da Floresta Nacional do Tapajós. Os modelos testados foram:

$$(1) H = \beta_0 + \beta_1 \log D$$

$$(2) H = \beta_0 + \beta_1 \cdot D$$

$$(3) H = \beta_0 + \beta_1 \cdot D + \beta_2 \cdot D^2$$

$$(4) H = \beta_0 + \beta_1 \cdot \frac{1}{D}$$

$$(5) \ln H = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln D$$

$$(6) \ln H = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln D + \beta_2 \cdot \frac{1}{D}$$

Onde:

H = altura total

D = diâmetro à altura do peito (DAP)

\ln = logaritmo neperiano

β_0 , β_1 e β_2 = coeficientes de regressão

Os melhores resultados foram obtidos através das equações (5) e (6).

Jardim (1985), concluiu que a utilização da relação hipsométrica foi bastante eficiente para a estratificação da floresta tropical úmida, diante da dificuldade de medição direta das árvores devido ao entrelaçamento das copas. Este autor afirmou

que a estratificação baseada no DAP reflete perfeitamente o valor sociológico de cada estrato, que é maior para o estrato inferior, decaindo até o superior, e recomenda a utilização da equação . Onde H_t é a altura total, D é o diâmetro à altura do peito e \log é o logaritmo na base 10.

Machado et al. (1993), testaram dez modelos matemáticos para ajustar curvas de altura sobre diâmetro, bem como estudar os efeitos do sítio em diferentes idades sobre esta relação para *Pinus elliotti* Engelm no Estado do Paraná. Os modelos testados foram:

$$(1) \ln H = \beta_0 + \beta_1 \cdot \frac{1}{D}$$

$$(2) \ln H = \beta_0 + \beta_1 \cdot D^2$$

$$(3) \ln H = \beta_0 + \beta_1 \cdot \frac{1}{D} + \beta_2 \cdot \frac{1}{D^2}$$

$$(4) \ln H = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln D$$

$$(5) H = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln D$$

$$(6) H = \beta_0 + \beta_1 \cdot \frac{1}{D}$$

$$(7) H = \beta_0 + \beta_1 \cdot D^2$$

$$(8) H = \beta_0 + \beta_1 \cdot \frac{1}{D} + \beta_2 \cdot D^2$$

$$(9) H = \beta_0 + \beta_1 \cdot D + \beta_2 \cdot D^2$$

$$(10) \frac{D^2}{H} = \beta_0 + \beta_1 \cdot D + \beta_2 \cdot D^2$$

Onde H , D , \ln , β_0 , β_1 e β_2 como definidos anteriormente.

Os melhores resultados foram obtidos através do modelo (10), o qual apresentou maiores valores de R^2 para todos os casos. Esse modelo foi seguido pelo modelo parabólico (9), o de Henricksen (5) e o de Stofells (4).

Muitas vezes um modelo é ajustado a dados de diferentes estratos (idades, espaçamentos e locais). Uma pergunta que sempre surge é se realmente seria necessário uma equação independente para cada um desses estratos. O fato é que em muitos casos, uma única equação, obtida de dados agrupados, pode ser utilizada como estimativa comum para todos os extratos. Assim, uma vez escolhido o melhor modelo para representar os dados, deve-se verificar ainda, se uma equação gerada por um conjunto de dados "A", pode ser usada em detrimento de uma outra, obtida de um conjunto de dados "B", ou ainda, se será melhor usar uma terceira equação, comum, obtida com os dados "A" e "B".

Elian (1988), apresentou uma metodologia para obter a igualdade de equações de regressão, com base no teste t de Student.

Com base no teste F, Graybill (1976), apresentou uma metodologia para testar a hipótese de igualdade de um conjunto de modelos lineares. De acordo com esse mesmo autor, o teste estatístico para a hipótese $H_0 = \hat{a}_1 = \hat{a}_2 = \dots = \hat{a}_H$ (As H

equações são idênticas), é baseado na diferença entre a soma de quadrado de parâmetros do modelo completo e a soma do quadrado de parâmetros do modelo reduzido, ou seja, na redução que H_0 provoca na soma do quadrado de parâmetros do modelo completo. Portanto, rejeita-se H_0 se, e somente se, $F_{cal} > F_{obs}$. A não rejeição de H_0 permite concluir que, a um nível de significância as H equações são idênticas. Assim, a equação ajustada com a estimativa dos parâmetros comuns pode ser usada como uma estimativa das H equações envolvidas.

Leite et al. (1991), utilizaram o teste de identidade de modelos proposto por Graybill (1976), descrito anteriormente, para verificar a necessidade ou não de utilizar equações independentes, por regime de corte. Com base no resultado do teste, decidiram pela utilização de uma equação para cada regime.

Azevedo (1993), obteve, com base no teste de identidade de modelos e com o uso de uma equação de ingresso comum, em detrimento do uso de equações de ingresso por tratamento, estimativas mais precisas dos ingressos.

Neste trabalho foram testados onze modelos matemáticos para o ajuste de curvas de alturas sobre diâmetro de quatro espécies florestais: andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.) sumaúma (*Ceiba pentandra* (L.) Gaertn), ucuúba (*Virola surinamensis* (Rol.) Warb.) e ipê-rosa (*Tabebuia heptaphylla* (Vell.) Tol.), em plantio homogêneo, em quatro diferentes idades, situado na Amazônia Ocidental. Os objetivos principais foram selecionar o melhor modelo de relação hipsométrica por espécie e por idade e verificar a possibilidade de utilização de um único modelo para todas as idades, por espécie.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi constituído de dois ensaios: Pleno Sol I, instalado em janeiro de 1992 e Pleno Sol II, instalado em junho de 1992 e março de 1993, (Quadro 1), no Campo Experimental do Centro de Pesquisa Agroflorestral da Amazônia Ocidental - CPAA, localizado no km 29 da Rodovia AM-010, próximo a Manaus, AM. A área está compreendida entre as coordenadas 59°52'40" e 59°58'00" de longitude oeste e 03°00'00" e 03°08'00" de latitude sul (Ribeiro, 1976). Cada ensaio continha 10 espécies, perfazendo um total de 20. O delineamento foi inteiramente ao acaso com parcelas de 25 plantas, espaçadas de 3,0 x 3,0 metros, com quatro repetições. Foram avaliadas anualmente as nove plantas centrais das parcelas quanto ao índice de sobrevivência, aspectos fitossanitários, altura e diâmetro.

Segundo Ribeiro (1976), o clima local, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo Afi, tropical praticamente sem inverno. A temperatura para o mês mais frio nunca é inferior a 18°C; chuvas durante todo o ano, indicando isotermia, uma vez que as oscilações anuais de temperatura média não ultrapassam a 5°C; não há propriamente verão nem inverno. A distribuição das chuvas é durante todo o ano, com pluviosidade em torno de 2000 mm.

O relevo da região varia de plano a suave ondulado. O solo é do tipo latossolo amarelo distrófico, textura muito argilosa, com as seguintes características químicas: pH em torno de 4,5; N = 0,17%, P = 1 e K = 20 ppm; Ca = 0,26, Mg = 0,11 e Al = 1,7meq/100g.

Para este estudo, foram selecionadas quatro espécies: andiroba (pleno sol I), sumaúma, ucuúba e ipê-rosa (pleno sol II). Com base nas medições de diâmetro e altura realizadas anualmente, durante cinco e quatro anos, respectivamente, foram ajustados pela técnica de regressão linear, modelos de relações hipsométricas

visando indicar a melhor equação por espécie e por idade e estudada a possível utilização de um único modelo por espécie, para todas as idades.

TABELA 1. Relação das espécies florestais estabelecidas nos experimentos Pleno Sol I e II.

Experimento	Nome Comum	Nome Científico	Data do Plantio	Idade
PLENO SOL I	andiroba(*)	<i>Carapa guianensis</i>	janeiro/92	6 anos
	breu sucuruba	<i>Trattinickia burserifolia</i>	janeiro/92	5 anos
	castanha do brasil	<i>Bertholletia excelsa</i>	janeiro/92	5 anos
	cedro	<i>Cedrela odorata</i>	janeiro/92	5 anos
	copaíba	<i>Copaifera multijuga</i>	janeiro/92	5 anos
	cumaru	<i>Dypterix odorata</i>	janeiro/92	5 anos
	jatobá	<i>Hymenaea courbaril</i>	janeiro/92	5 anos
	mogno	<i>Swietenia macrophylla</i>	janeiro/92	5 anos
	taxi branco	<i>Sclerolobium paniculatum</i>	janeiro/92	5 anos
	acácia mangium	<i>Acacia mangium</i>	janeiro/92	5 anos
PLENO SOL II	ucuuba(*)	<i>Viroia surinamensis</i>	junho/92	4 anos
	ipê-rosa(*)	<i>Tabebuia heptaphylla</i>	junho/92	4 anos
	sumaúma(*)	<i>Ceiba pentandra</i>	junho/92	4 anos
	jarana	<i>Holopyxidium latifolium</i>	junho/92	4 anos
	mata pasto	<i>Senna reticulata</i>	março/93	3 anos
	cassia f. amarela	<i>Senna siamea</i>	março/93	3 anos
	erithryna	<i>Erythrina costaricense</i>	março/93	3 anos
	gliricidia	<i>Gliricidia sepium</i>	março/93	3 anos
	angustissima	<i>Acacia angustissima</i>	março/93	3 anos
	auriculiformes	<i>Acacia auriculiformis</i>	março/93	3 anos

* = espécies utilizadas neste trabalho

Os seguintes modelos matemáticos, foram ajustados por espécie e por idade:

$$(1) \ln H = \beta_0 + \beta_1 \cdot \frac{1}{D}$$

$$(2) \ln H = \beta_0 + \beta_1 \cdot D^2$$

$$(3) \ln H = \beta_0 + \beta_1 \cdot \frac{1}{D} + \beta_2 \cdot \frac{1}{D^2}$$

$$(4) \ln H = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln D$$

$$(5) H = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln D$$

$$(6) H = \beta_0 + \beta_1 \cdot \frac{1}{D}$$

$$(7) H = \beta_0 + \beta_1 \cdot D^2$$

$$(8) H = \beta_0 + \beta_1 \cdot \frac{1}{D} + \beta_2 \cdot D^2$$

$$(9) H = \beta_0 + \beta_1 \cdot D + \beta_2 \cdot D^2$$

$$(1) \frac{D^2}{H} = \beta_0 + \beta_1 \cdot D + \beta_2 \cdot D^2$$

$$(2) \frac{D}{\sqrt{H}} = \beta_0 + \beta_1 \cdot D$$

Onde:

H = altura total em metros

D = diâmetro à altura do peito em centímetros (DAP)

\ln = logaritmo neperiano

β_0 , β_1 e β_2 = coeficientes de regressão

A partir do ajustamento dos modelos, a escolha da melhor equação foi feita com base nos seguintes critérios:

- A) coeficiente de determinação ajustado, em porcentagem ((%));
- B) erro padrão da estimativa (S_{yx});
- C) coeficiente de variação em porcentagem (CV(%));
- D) teste de significância para os coeficientes;
- E) significância do F calculado; e
- F) Análise gráfica dos resíduos em porcentagem.

De acordo com os critérios apresentados, a melhor equação deverá apresentar, simultaneamente, o maior coeficiente de determinação ajustado em porcentagem ((%)), o menor coeficiente de variação em porcentagem (CV(%)), coeficientes significativos ($t_1 \dots t_n$) e distribuição gráfica dos resíduos em porcentagem, não tendenciosa.

Swani & Mehta (1979), citados por Regazzi (1991), demonstraram que, pela combinação de informações de duas equações de regressão, é possível obter

estimadores mais eficientes do que as estimativas que se baseiam em cada equação isoladamente.

Aplicou-se então o teste de identidade de modelos, segundo metodologia desenvolvida por Graybill (1976).

De acordo com Graybill (1976), sob a hipótese de nulidade, a estatística () apresenta distribuição F central com (H-1)p e (N-Hp) graus de liberdade.

O teste pode ser facilmente visualizado a partir do esquema da análise de variância apresentado na Tabela 2.

TABELA 2. Esquema da análise de variância com o teste da hipótese

$$H_0: \hat{b}_1 = \hat{b}_2 = \dots = \hat{b}_H \quad (\text{As equações são idênticas}).$$

Fontes de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Parâmetros (C)	(Hp)	$Q1 = \hat{\beta}' X' Y$		
Parâmetros (r)	P	$Q2 = \hat{\theta}' \sum_{i=1}^H X' t_i Y_i$		
Redução (H ₀)	(H-1)p	$Q3 = Q1 - Q2$	$V1 = \frac{Q3}{(H-1)p}$	$\frac{V1}{V2}$
Resíduo	N-Hp	$Q4 = Q5 - Q1$	$V2 = \frac{Q4}{N-Hp}$	
TOTAL	N	$Q5 = Y' Y$		

Assim, rejeita-se H_0 se, e somente se, F calculado \geq F tabelado.

A não rejeição da hipótese H_0 permite concluir que a um nível de significância, as H equações são idênticas. Assim, a equação ajustada com as estimativas dos parâmetros comuns, pode ser usada como uma estimativa das H equações desenvolvidas para cada idade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Sumaúma (*Ceiba pentandra*)

Os resultados provenientes dos ajustes dos modelos hipsométricos são resumidos na Tabela 3.

TABELA 3. Melhores modelos por idade, coeficientes e principais estatísticas para sumaúma (*Coiba pentandra*).

IDADE	MODELO	COEFICIENTES		QUALIDADE DO AJUSTE			F		
		β_0	β_1	\bar{R}^2 (%)	S_{yy}	CV(%)			
1	11	0,867042	0,431535	**	89,90	0,15697	5,03	303,5787	**
2	11	0,457586	0,381358	**	95,23	0,329341	6,46	671,7409	**
3	11	2,11323	0,218349	**	61,71	0,5086	9,35	55,81215	**
4	11	2,09489	0,219657	**	81,92	0,416144	7,10	155,0386	**
Todas	11	1,80404	0,247132	**	88,30	0,498297	10,23	1049,65	**

* = significativo ao nível de 5%.

** = significativo ao nível de 1%.

ns = não significativo

Baseado nos critérios de seleção do melhor modelo, verificou-se que o melhor ajuste para sumaúma, para todas as idades, foi obtido com o modelo 11. Esse modelo apresentou um \bar{R}^2 (%) que variou de 61,71% a 95,23%, para as idades três e dois anos, respectivamente. Além disso, as equações apresentaram coeficientes de variação, relativamente baixos, bem como, o coeficiente β_1 significativos ao nível de 1%. Fishwick (1976), obteve resultados muito bons para a relação hipsométrica com a mesma equação em parcelas de *Pinus elliotti* e *Araucaria angustifolia*.

Observando as Figuras 1, 2, 3 e 4, onde estão plotados os resíduos contra a variável independente (DAP), evidencia-se que não houve tendenciosidade nas estimativas da altura para todas as idades.

3.2. ANDIROBA (*Carapa guianensis*)

Na Tabela 4 são apresentadas as equações que atenderam os critérios pré-estabelecidos para seleção dos modelos por idade, no qual se observa as semelhanças dos maiores valores para a medida de precisão \bar{R}^2 (%), para as idades um, três e dois anos, respectivamente, seguido dos valores para as idades quatro e cinco anos. Apesar do valor encontrado para o CV (24,78%), todas as equações são consideradas indicadas para estimar a altura das árvores.

TABELA 4. Melhores modelos por idade, coeficientes e principais estatísticas para andiroba (*Carapa guianensis*).

IDADE	MODELO	COEFICIENTES		QUALIDADE DO AJUSTE			F		
		β_0	β_1	\bar{R}^2 (%)	S_{yx}	CV(%)			
1	11	0,902458	0,503668	**	86,45	0,1040	3,99	211,5363	**
2	11	-1,04941	0,405459	**	84,95	0,9240	24,78	198,5792	**
3	11	1,12348	0,377537	**	86,33	0,1971	4,74	221,9671	**
4	11	0,725654	0,375924	**	77,26	0,2857	6,46	119,9058	**
5	11	1,31577	0,285466	**	71,30	0,2970	6,53	85,4312	**
Todas	11	1,810824	0,288012	**	86,77	0,3093	7,92	1156,41	**

* = significativo ao nível de 5%.

** = significativo ao nível de 1%.

ns = não significativo

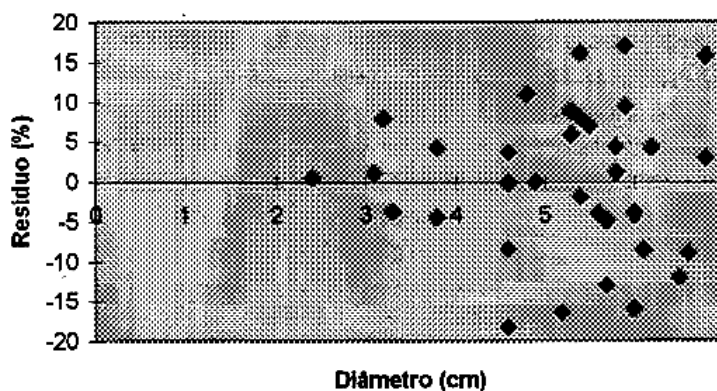


FIGURA 1. Distribuição dos resíduos em porcentagem para o modelo 11 para sumaúma (*Ceiba pentandra*) com um ano de idade.

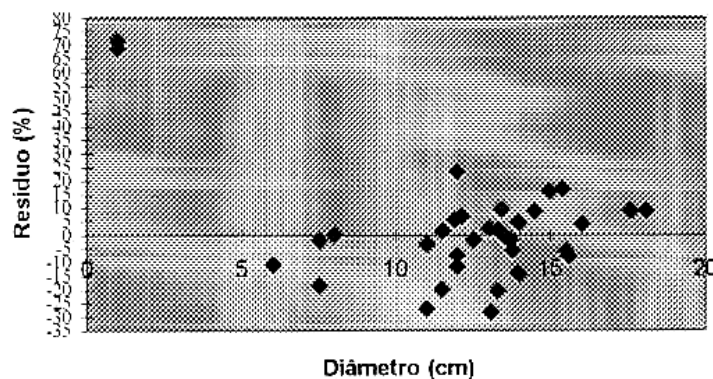


FIGURA 2. Distribuição dos resíduos em porcentagem para o modelo 11 para sumaúma (*Ceiba pentandra*) com dois anos de idade.

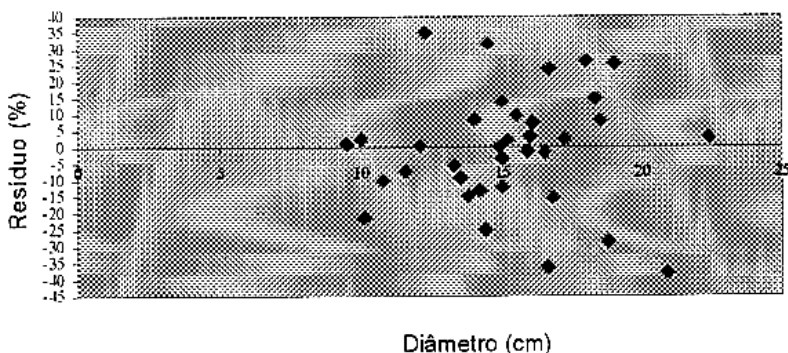


FIGURA 3. Distribuição dos resíduos em porcentagem para o modelo 11 para sumaúma (*Ceiba pentandra*) com três anos de idade.

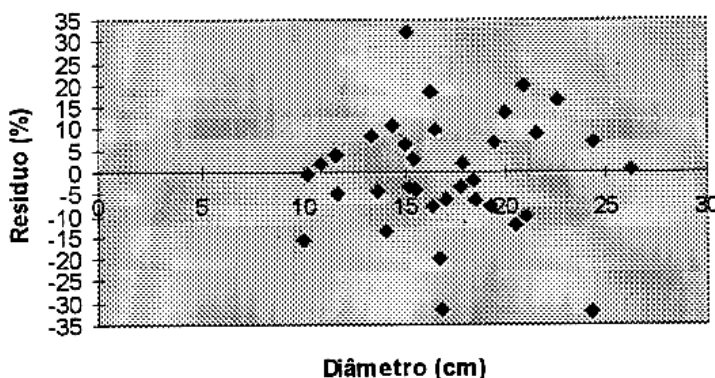


FIGURA 4. Distribuição dos resíduos em porcentagem para o modelo 11 para sumaúma (*Ceiba pentandra*) com quatro anos de idade.

As Figuras 5, 6, 7, 8 e 9 ilustram a distribuição dos resíduos para o modelo. Observa-se que os resíduos apresentam uma distribuição mais uniforme em relação a linha zero.

3.3. Ucuúba (*Virola surinamensis*)

Com um ano de idade as plantas não apresentavam alturas mínimas de 1,30 m, para que fossem realizadas as medições do DAP.

Na Tabela 14, estão apresentadas as equações ajustadas, selecionadas por idade - de acordo com os critérios preestabelecidos, para estimar a altura das árvores, no qual se observa que as equações apresentam medidas de precisão muito próximas. Observa-se, também, um decréscimo do R^2 (%) com aumento da idade. A mesma tendência é observada para o erro padrão da estimativa (S_{yx})

TABELA 5. Melhores modelos por idade, coeficientes e principais estatísticas para ucuúba (*Virola surinamensis*).

IDADE	MODELO	COEFICIENTES		QUALIDADE DO AJUSTE			F
		β_0	β_1	R^2 (%)	S_{yx}	CV(%)	
2	11	0,162281	0,616643	** 96,88	0,0580778	4,29	311,0894 **
3	11	0,548035	0,439806	** 95,15	0,158258	7,01	549,9766 **
4	11	1,11186	0,291888	** 91,32	0,187143	6,15	316,65426 **
Todas	11	0,80978	0,344700	** 93,33	0,227209	9,27	982,63100 **

* = significativo ao nível de 5%.

** = significativo ao nível de 1%.

ns = não significativo

Observa-se que os resíduos apresentam uma distribuição mais uniforme em relação a medida que aumenta a idade (Figuras 10, 11 e 12).

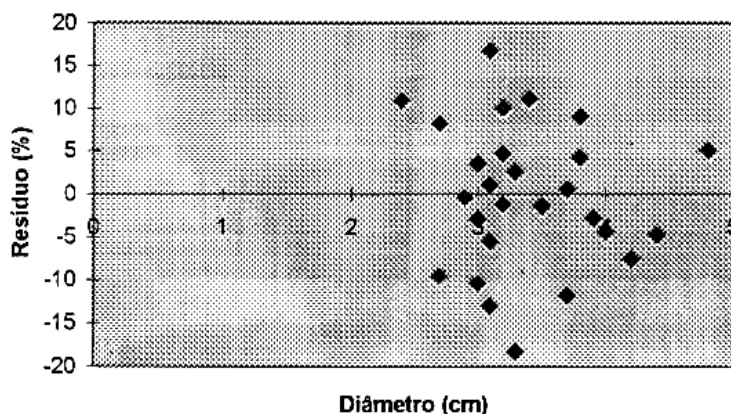


FIGURA 5. Distribuição dos resíduos em porcentagem para o modelo 11 para andiroba (*Carapa guianensis*) com um ano de idade.

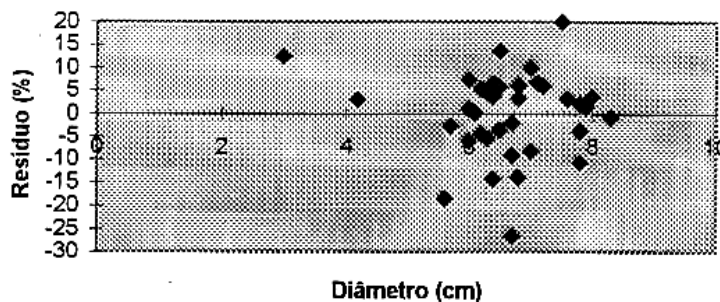


FIGURA 6. Distribuição dos resíduos em porcentagem para o modelo 11 para andiroba (*Carapa guianensis*) com dois anos de idade.

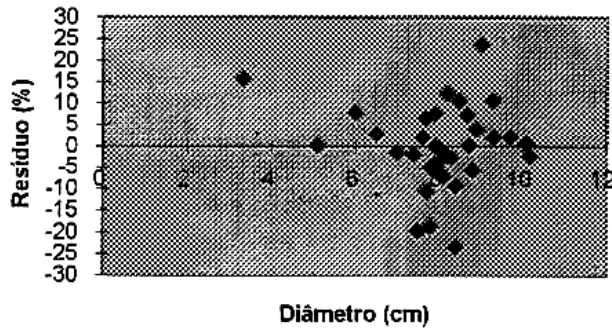


FIGURA 7. Distribuição dos resíduos em porcentagem para o modelo 11 para andiroba (*Carapa guianensis*) com três anos de idade.

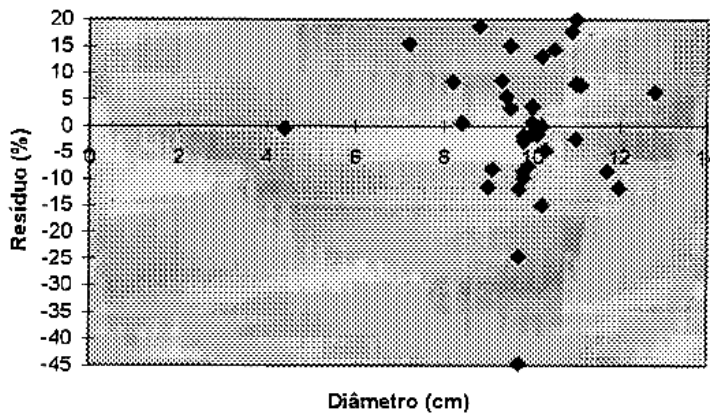


FIGURA 8. Distribuição dos resíduos em porcentagem para o modelo 11 para andiroba (*Carapa guianensis*) com quatro anos de idade.

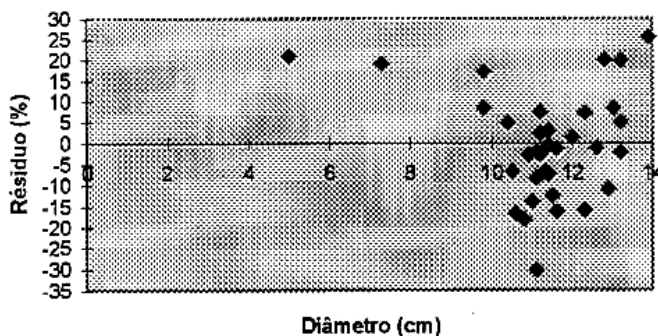


FIGURA 9. Distribuição dos resíduos em porcentagem para o modelo 11 para andiroba (*Carapa guianensis*) com cinco anos de idade.

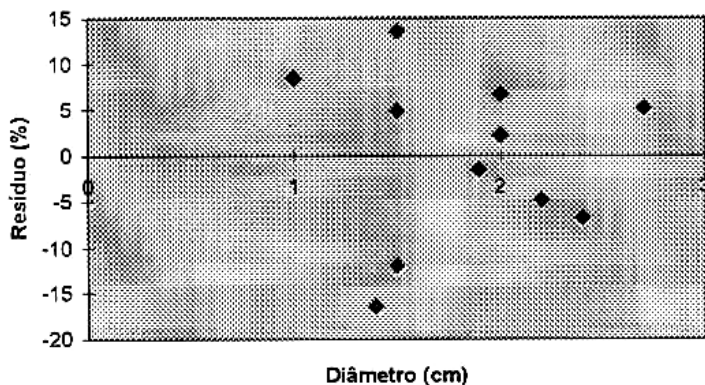


FIGURA 10. Distribuição dos resíduos em porcentagem para o modelo 11 para ucuúba (*Virola surinamensis*) com dois anos de idade.

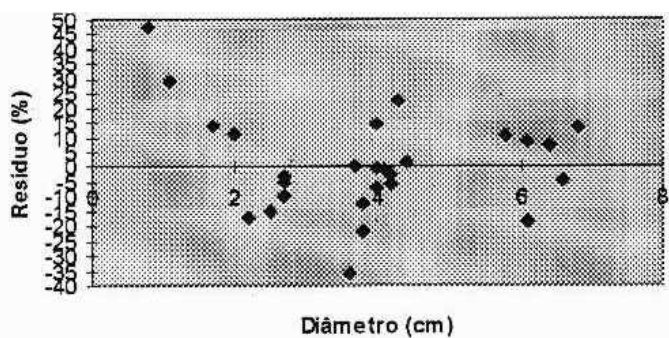


FIGURA 11. Distribuição dos resíduos em porcentagem para o modelo 11 para ucuúba (*Virola surinamensis*) com três anos de idade.

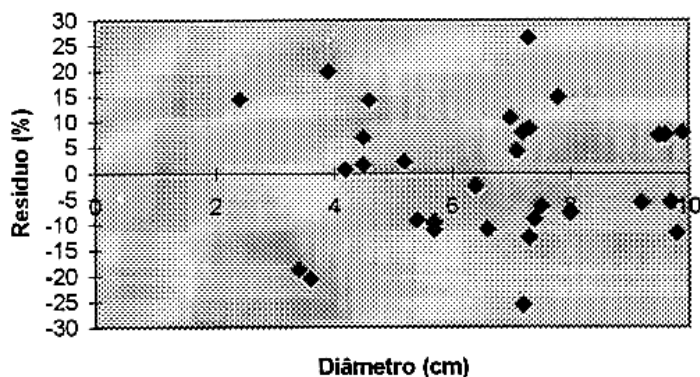


FIGURA 12. Distribuição dos resíduos em porcentagem para o modelo 11 para ucuúba (*Virola surinamensis*) com quatro anos de idade.

3.4. Ipê-rosa (*Tabebuia heptaphylla*)

As melhores equações por idade, para estimar as alturas das árvores, são apresentadas na Tabela 6, para o ipê-rosa (*Tabebuia heptaphylla*), com suas respectivas medidas de precisão, nota-se que a equação para um ano idade apresentou valor em sua medida de precisão R^2 (%) abaixo das demais. Todas as outras apresentaram similaridades em suas medidas. O modelo que apresentou um melhor ajuste foi o 11. As figuras 13, 14, 15 e 16, mostram as distribuições de resíduos para estas equações. Verifica-se que a distribuição residual correspondente a equação para idade de um ano (Figura 13), apresenta maior uniformidade.

TABELA 6. Melhores modelos por idade, coeficientes e principais estatísticas para ipê-rosa (*Tabebuia heptaphylla*).

IDADE	MODELO	COEFICIENTES		QUALIDADE DO AJUSTE			F	
		β_0	β_1	\bar{R}^2 (%)	S_{yx}	CV(%)		
1	11	0,979335	0,381851	** 77,36	0,162763	7,51	69,3399	**
2	11	0,675003	0,374121	** 98,57	0,120305	5,10	2199,484	**
3	11	0,78984	0,349337	** 98,53	0,158964	5,58	2200,388	**
4	11	0,913481	0,317433	** 94,02	0,338216	11,10	519,2602	**
Todas	11	0,920846	0,328975	** 95,48	0,250677	9,45	2560,4900	**

* = significativo ao nível de 5%.

** = significativo ao nível de 1%.

ns = não significativo

A distribuição residual para as demais equações (Figuras 14, 15 e 16), ao ser comparada com a primeira (Figura 13), apresentaram seus resíduos mais distantes da linha de nulidade, para DAP, menores que 5,0 cm, caracterizando uma subestimação das alturas das árvores nesta faixa de diâmetros, ou seja, uma equação menos precisa.

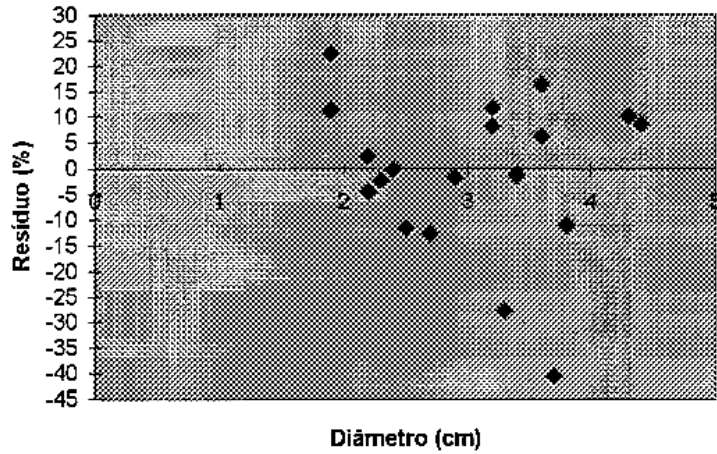


FIGURA 13. Distribuição dos resíduos em porcentagem para o modelo 11 para Ipê-rosa (*Tabebuia heptaphylla*) com um ano de idade.

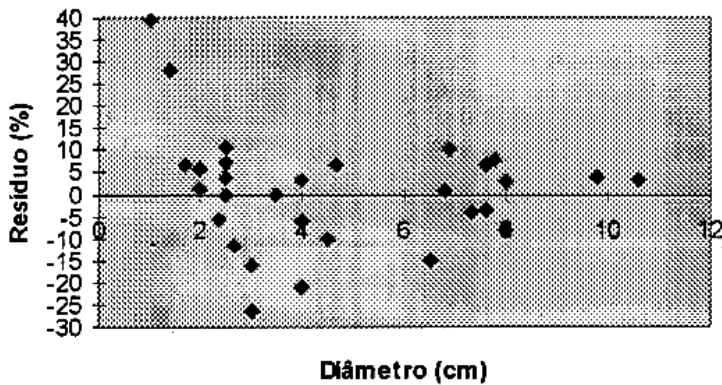


FIGURA 14. Distribuição dos resíduos em porcentagem para o modelo 11 para Ipê-rosa (*Tabebuia heptaphylla*) com dois anos de idade.

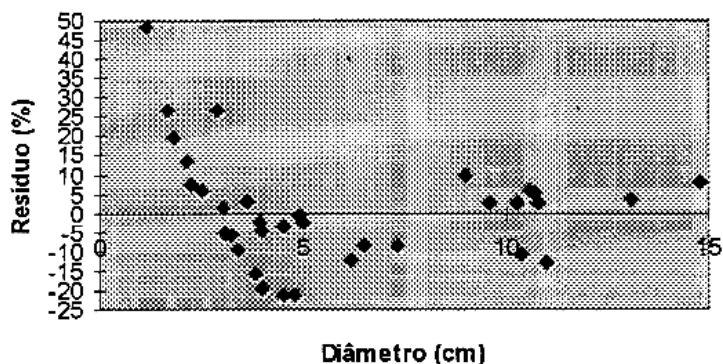


FIGURA 15. Distribuição dos resíduos em porcentagem para o modelo 11 para Ipê-rosa (*Tabebuia heptaphylla*) com três anos de idade.

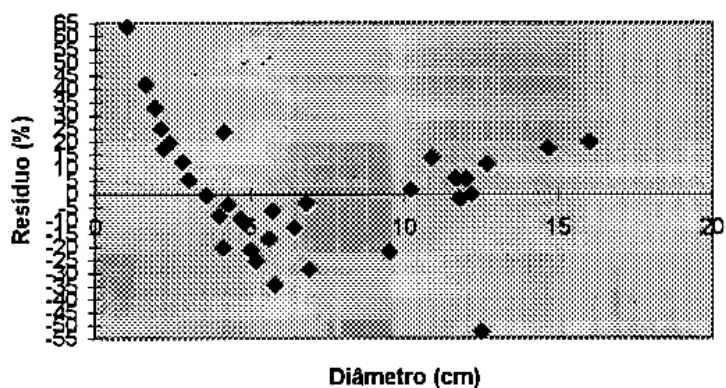


FIGURA 16. Distribuição dos resíduos em porcentagem para o modelo 11 para Ipê-rosa (*Tabebuia heptaphylla*) com quatro anos de idade.

3.5. Possibilidade de utilização de uma única equação de regressão (equação comum) para todas as idades

Uma vez que, o modelo 11 foi que melhor se ajustou para todas as idades, para todas as espécies, procedeu-se ao teste para identidade de modelos (Tabelas 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 e 14), conforme metodologia desenvolvida por Graybill (1976), para verificar se o conjunto de equações hipsométricas, por idade, para cada espécie, poderiam ser representada pela equação comum, todas as idades (Tabelas 3, 4, 5 e 6).

Pela observação dos resultados das Tabelas 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 e 14, nota-se que a hipótese da nulidade foi rejeitada, concluindo-se pela não utilização da equação comum, neste caso, a equação ajustada com os parâmetros comuns não

pode ser usada como uma estimativa das equações por idade. Assim, as equações individuais por idade, serão utilizadas nas estimativas das alturas.

3.6. Considerações gerais

Para fazer a análise do melhor modelo, temos que levar em consideração não apenas os valores do coeficiente de determinação ajustado, em porcentagem ($R^2(\%)$) e o coeficiente de variação em porcentagem (CV(%)). Um critério que foi bastante importante na escolha do modelo que melhor se ajustasse às espécies em suas respectivas idades, foi a significância dos coeficientes dos modelos de regressão testados (b_0, b_1 e b_2). Por vezes, um modelo pode apresentar altos valores para R^2 (%) e F, e baixo erro, porém, se possuir coeficientes do modelo de regressão não significativos, será imediatamente descartado de ser escolhido.

Sumaúma

TABELA 7. Análise de variância para o modelo completo.

Causas de Variação	GL	SQ	QM	F
Parâmetro (C)	8	3586,6240		
Resíduo	132	33,9060	0,2569	
Total	140	3620,5300		

TABELA 8. Resumo da análise de variância com o teste da hipótese H_0 (as quatro equações são idênticas), em que: C = modelo completo; e R = modelo reduzido.

Causas de Variação	GL	SQ	QM	F
Parâmetro (C)	8	3586,6240		
Parâmetro (R)	2	3511,1000		
Redução (H_0)	6	75,5240	12,5873	49,0040**
Resíduo	132	33,9060	0,2569	
Total	140	3620,5300		

** = significativo a um nível de 1% de probabilidade

Andiroba

TABELA 9. Análise de variância para o modelo completo.

Causas de Variação	GL	SQ	QM	F
Parâmetro (C)	10	2812,1590		
Resíduo	167	12,6410	0,075695	
Total	177	2824,8000		

TABELA 10. Resumo da análise de variância com o teste da hipótese H_0 (as cinco equações são idênticas), em que: C = modelo completo; e R = modelo reduzido.

Causas de Variação	GL	SQ	QM	F
Parâmetro (C)	10	2812,1590		
Parâmetro (R)	2	2735,5400		
Redução (H_0)	8	76,6190	9,5774	126,5265**
Resíduo	167	12,6410	0,0757	
Total	177	2824,8000		

** = significativo a um nível de 1% de probabilidade

Ucuúba

TABELA 11. Análise de variância para o modelo completo.

Causas de Variação	GL	SQ	QM	F
Parâmetro (C)	6	473,6497		
Resíduo	65	6,3183	0,0972	
Total	71	479,9680		

TABELA 12. Resumo da análise de variância com o teste da hipótese H_0 (as três equações são idênticas), em que: C = modelo completo; e R = modelo reduzido.

Causas de Variação	GL	SQ	QM	F
Parâmetro (C)	6	473,6497		
Parâmetro (R)	2	466,6230		
Redução (H_0)	4	7,0267	1,7567	18,0728**
Resíduo	65	6,3183	0,0972	
Total	71	479,9680		

** = significativo a um nível de 1% de probabilidade

Ipê

TABELA 13. Análise de variância para o modelo completo3.

Causas de Variação	GL	SQ	QM	F
Parâmetro (C)	8	1002,2085		
Resíduo	114	24,2215	0,2125	
Total	122	1026,4300		

TABELA 14. Resumo da análise de variância com o teste da hipótese H_0 (as quatro equações são idênticas), em que: C = modelo completo; e R = modelo reduzido.

Causas de Variação	GL	SQ	QM	F
Parâmetro (C)	8	1002,2085		
Parâmetro (R)	2	987,2740		
Redução (H_0)	6	14,9345	2,4891	11,7150**
Resíduo	114	24,2215	0,2125	
Total	122	1026,4300		

** = significativo a um nível 1% de probabilidade

Ocorreram casos de uma espécie em determinada idade apresentar dois modelos com um bom ajustamento. O primeiro apresentava um coeficiente de determinação ajustado um pouco superior ao segundo, o qual apresentava, por sua vez, um erro bem menor do que o primeiro. Optou-se então pela escolha do segundo modelo, já que ele apresentava um menor erro e a diferença entre os coeficientes de determinação não era significativa. Por outro lado, quando notava-se que os modelos apresentavam medidas de precisão e distribuição de resíduos semelhantes, optou-se pelo mais simples e de fácil aplicação.

4. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos neste trabalho, pode-se concluir que:

- a) Dos modelos testados, o modelo $\frac{D}{\sqrt{H}} = \mathbf{b}_0 + \mathbf{b}_1.D$ mais indicado para representar a relação altura/diâmetro para todas as espécies, em todas as idades;
- b) A relação altura/diâmetro varia de acordo com a idade do povoamento;
- c) Não foi possível selecionar uma equação comum, em todas as idades, para ser utilizada por espécie, para o modelo selecionado;
- d) Pela análise das medidas de precisão, não foram obtidas bases conclusivas quanto à seleção dos modelos. As melhores observações conclusivas foram possibilitadas pelo exame da significância dos coeficientes de regressão e pela análise gráfica dos resíduos.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AZEVEDO, C.P. **Predição da distribuição diamétrica de povoamentos florestais inequidâneos pelo emprego da matriz de transição**. Viçosa: UFV, 1993. 118p. Tese Mestrado.
- BHATTACHARYYA, G.K.; JOHNSON, R.A. **Statistical concepts and methods**. Madisom: University of Wisconsin, 1977. 639p.
- BRUNIG, E.F.; KLINGE, H. Comparison of the phytomass structure of Equatorial "Rain-forest" in central Amazonas: Brazil, and in Sarawak, Borneo. **Garden Bulletin**, n.29, p.81-101, 1976.
- CHAPMAN, H.H.; MEYER, W.H. **Forest mensuration**. New York: McGraw-Hill, 1949. 522p.
- ELIAN, S.N. **Análise de regressão**. São Paulo: USP, 1988. 232p.
- FISHWICK, R. **Estudo comparativo dos 6 métodos para calcular altura dominante de um povoamento florestal**. Curitiba, PRODEPEF/IBDF. (Fotocopiado). 1976.
- GARCIA, V.O. Height-diameter equations for **Pinus radiata**. Chile: Instituto Florestal, 1974. 16p. (IF. Nota Técnica, 19).
- GRAYBILL, F.A. **Theory and application of the linear model**. Massachusetts: Duxbury Press, 1976. 704p.

- JARDIM, F.C. da S. **Estrutura da floresta equatorial úmida da Estação Experimental de Silvicultura Tropical**. Manaus: INPA-FUA, 1985. 198p. Tese de mestrado.
- LEITE, H.G.; CAMPOS, J.C.C.; REGAZZI, A.J. Distribuição de diâmetro e produção de carvão vegetal em povoamentos de Eucalipto. In: SOCIEDADE DE INVESTIGAÇÕES FLORESTAIS (Viçosa, MG). **Mensuração florestal**. Viçosa: SIF, 1991. p.19-77. (SIF. Boletim Técnico, 2).
- LOETSCH, F.; ZOHRER, F.; HALLER, K.E. **Forest Inventory**. Bonn: [s.n.], 1973. v.2, 469p.
- MACHADO, S.A.; BASSO, S.F.; BEVILACQUA JUNIOR, V.G. Teste de modelos matemáticos para o ajuste da relação hipsométrica em diferentes sítios e idades para plantações de *Pinus elliottii* no Estado do Paraná. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7., 1993, Curitiba. **Anais**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 1993. v.2, p.553-556.
- NUNES, M.N. **Relações hipsométricas e relações altura total e altura comercial para a floresta tropical da estação experimental de silvicultura tropical do INPA**. Manaus: [s.n.], 1986. Não paginado. Tese Mestrado.
- REGAZZI, A.J. **Teste para identidade de modelos de regressão e igualdade de alguns parâmetros num modelo polinomial ortogonal**. Viçosa: UFV, 1991. 27p. Não publicado.
- RIBEIRO, M.N.G. Aspectos climatológicos de Manaus. **Acta Amazônica**, v.6, n.2, p.229-223, jul. 1976.
- SCHIMIDT, P.B. Determinação indireta da relação hipsométrica para povoamentos de *Pinus taeda* L. Curitiba: UFPR, 1977. 102p. Tese Mestrado.
- SILVA, J.N.M. **Relação hipsométrica de espécies da Floresta Nacional do Tapajós**. Belém: EMBRAPA-CPATU, 1980. 2p. (EMBRAPA-CPATU. Pesquisa em Andamento, 36).