

Documentos

ISSN 1679-2599
Maio, 2008

165

Procedimento Prático para Elaboração de uma Tabela de Produção



Embrapa

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Florestas
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Documentos 165

Procedimento Prático para Elaboração de uma Tabela de Produção

Gerson Luiz Selle

Dalva Teresinha Pauleski

Evaldo Muñoz Braz

Embrapa Florestas

Colombo, PR

2008

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Florestas

Estrada da Ribeira, Km 111, Guraituba,

83411 000 - Colombo, PR - Brasil

Caixa Postal: 319

Fone/Fax: (41) 3675 5600

Home page: www.cnpf.embrapa.br

E-mail: sac@cnpf.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: Patrícia Póvoa de Mattos

Secretária-Executiva: Elisabete Marques Oaida

Membros: Álvaro Figueredo dos Santos, Dalva Luiz de Queiroz

Santana, Edilson Batista de Oliveira, Elenice Fritzsos, Jorge

Ribaski, José Alfredo Sturion, Maria Augusta Doetzer Rosot,

Sérgio Ahrens

Supervisão editorial: Patrícia Póvoa de Mattos

Revisão de texto: Mauro Marcelo Berté

Normalização bibliográfica: Elizabeth Denise Câmara Trevisan

Editoração eletrônica: Mauro Marcelo Berté

Foto da capa: Arquivo *Embrapa Florestas*

1ª edição

1ª impressão (2008): sob demanda

Todos os direitos reservados

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Florestas

Selle, Gerson Luiz.

Procedimento prático para elaboração de uma tabela de produção [recurso eletrônico] / Gerson Luiz Selle, Dalva Terezinha Pauleski, Evaldo Muñoz Braz. - Dados eletrônicos. - Colombo : Embrapa Florestas, 2008.

1 CD-ROM. - (Documentos / Embrapa Florestas, ISSN 1679-2599 ; 165)

1. Madeira - Estoque – Estimativa. 2. Desbaste. 3. Manejo florestal. I. Pauleski, Dalva Terezinha. II. Braz, Evaldo Muñoz. III. Título. IV. Série.

CDD 634.9285 (21. ed.)

© Embrapa 2008

Autores

Gerson Luiz Selle

Engenheiro Florestal, M.Sc.,
Doutorando pelo Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Florestal, Centro de Ciências Rurais,
Universidade Federal de Santa Maria.
hs@ccr.ufsm.br

Dalva Teresinha Pauleski

Engenheira Florestal, M.Sc.,
Doutoranda pelo Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Florestal, Centro de Ciências Rurais,
Universidade Federal de Santa Maria.
dpauleski@yahoo.com.br

Evaldo Muñoz Braz

Engenheiro Florestal, M.Sc.,
Doutorando pelo Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Florestal, Centro de Ciências Rurais,
Universidade Federal de Santa Maria,
Pesquisador da *Embrapa Florestas*.
evaldo@cnpf.embrapa.br

Apresentação

À medida que se classifique locais (sítios), de acordo com a sua capacidade de produzir, é possível avançar mais e criar uma outra ferramenta capaz de estruturar a produção de uma determinada população florestal.

Com dados coletados na floresta e com o auxílio de modelos matemáticos, pode-se estimar o desenvolvimento do povoamento e saber qual a produção que se tem estocada e, com isso, visualizar uma produção futura.

Nos planejamentos florestais, essa ferramenta é de grande valia, pois serve para fornecer informações em várias situações ao longo do tempo, facilitando as previsões com relativa precisão.

Assim, fornecendo um procedimento conciso, prático e simples, este trabalho visa divulgar ao máximo, para todos os profissionais e estudantes florestais, as técnicas necessárias para elaboração de tabelas de produção.

Ivar Wendling

Chefe de Pesquisa e Desenvolvimento

Sumário

Introdução	9
Informações Necessárias	11
Cálculo do fator de forma	15
Determinação dos Modelos Matemáticos Estimadores ...	20
Modelo para estimar a altura média (h_m)	20
Modelo para estimar o diâmetro de área basal média (d_g)	30
Modelo para estimar o número de árvores (N)	35
Modelo para estimar a área basal (G)	41
Modelo para estimar o fator de forma (f)	46
Construção da Tabela de Produção	51
Referências	59
Anexo	61

Procedimento Prático para Elaboração de uma Tabela de Produção

Gerson Luiz Selle

Dalva Teresinha Pauleski

Evaldo Muñoz Braz

Introdução

Empresas florestais estão a todo o momento colocando em questão a tendência do mercado consumidor e, conseqüentemente, realizando prognoses relacionadas ao estoque de madeira atual e futuro de suas florestas. Em vista disso, é importante que sejam utilizadas técnicas que possibilitem estimar o estoque, com precisão. Para tal, são confeccionadas “Tabelas de Produção”, a fim de estruturar a produção para um determinado regime de desbaste, estimando o estoque de madeira em cada idade e sítio no povoamento remanescente e a produção total acumulada ao longo da rotação (MAINARDI et al., 1996).

A intervenção nos povoamentos através dos desbastes, sob o ponto de vista biológico, favorece o crescimento das árvores remanescentes ao desbaste, pela liberação de mais espaço aéreo para o desenvolvimento das copas, maior superfície de produção fotossintética para um menor número de indivíduos, bem como, menor competição por nutrientes minerais e água disponíveis no mesmo sítio (ALVES, 1982). Sobre o assunto, Schneider (1993b) comenta que se tratando de povoamentos de mesma idade (equiâneos), a área basal total da floresta é função do diâmetro médio das árvores e da densidade populacional, sendo que maiores densidades acarretam valores maiores de área basal até o momento em que o

povoamento entra em competição, o que causa uma redução no incremento diamétrico e, por consequência, do incremento em área basal. A área basal sofre influência da idade e da qualidade do sítio, determinando que: em sítios mais produtivos ocorre uma rápida taxa inicial de crescimento e, em povoamentos maduros, o incremento em área basal tende a permanecer constante. O que se observa é que uma pequena melhora na qualidade de um sítio ocasiona um notável incremento no acúmulo de área basal.

Neste sentido, os desbastes permitem aumentar o espaço disponível a cada árvore, proporcionando o desenvolvimento equilibrado da copa e do sistema radicular. A aplicação de desbastes pode, em função de sua intensidade, causar a diminuição da produção total, mas possui o propósito primordial de elevar a produtividade comercial dos sortimentos, através do aumento da dimensão individual das árvores (SCHNEIDER et al., 1991).

Assmann, citado por Schneider et al. (1991), afirma que as áreas manejadas com desbastes pesados produzem menor volume total que as com desbastes leves. No mesmo sentido, Reinstorf (1970), estudando a influência da densidade populacional no crescimento de *Pinus elliottii*, constatou que a produção foi maior em povoamentos de alta densidade quando comparada com povoamentos de menor densidade, e que a qualidade do sítio também influencia a produção, pois sítios mais produtivos, para atingir todo o seu potencial produtivo, necessitam de um número maior de árvores por unidade de área do que os sítios menos produtivos.

A complexidade da determinação de regimes de desbaste levou Magin, citado por Schneider (1993a), a desenvolver um método que permite obter o volume desbastado em um período a partir do volume remanescente na floresta, permitindo ainda estruturar as tabelas em relação ao povoamento remanescente, desbaste e produção total. O volume do desbaste é definido através de um fator (K-Magin) que depende do tipo e peso do desbaste aplicado no povoamento. Esta metodologia está sendo amplamente utilizada em vários países, para diferentes espécies, destacando-se os trabalhos de Hradetzky (1972), Schneider (1984) e Aguirre (1991).

Neste sentido, objetiva-se apresentar, de maneira fácil, resumida e prática, uma forma para determinar o estoque de madeira do povoamento por idade e por índice de sítio, utilizando, para a estimativa, variáveis de fácil medição e identificação, denominada de Tabela de Produção.

Salientamos que os dados utilizados são meramente didáticos, tendo como objetivo a exemplificação dos passos seguidos, facilitando o entendimento.

Informações Necessárias

Inicialmente, para se elaborar uma tabela de produção, é necessário classificar-se os sítios da população em estudo. Além disso, será necessário levantar informações do povoamento, através de unidades amostrais, e com estas calcular as demais (Tabela 1).

Tabela 1. Dados levantados e calculados sobre o povoamento.

	Dados levantados					Dados calculados	
	u.a	t	d	h	h100	N	G
1	4	10,3	15,0	16,6	956	7,9	62,3
2	12	25,3	31,5	32,8	438	22,0	293,8
3	4	12,5	17,5	18,3	959	10,0	86,8
4	8	22,2	28,5	29,9	518	20,2	255,0
5	11	29,5	34,5	36,0	355	24,1	354,9
6	12	32,1	36,4	38,0	312	26,2	391,8
7	11	29,4	34,6	36,0	348	23,9	355,1
8	7	22,8	29,0	29,9	513	19,8	250,0
9	12	29,5	34,6	36,0	348	23,9	354,7
10	3	13,5	19,8	21,3	946	13,9	132,1
11	7	27,5	32,8	34,2	389	23,6	322,1

continua

Dados levantados					Dados calculados		
u.a	t	d	h	h100	N	G	V
12	13	36,4	39,8	42,1	263	37,9	458,3
13	5	13,0	18,9	20,3	948	12,5	115,4
14	3	12,5	17,9	19,0	949	11,0	100,0
15	12	31,8	36,2	37,8	322	26,1	388,9
16	8	23,8	30,0	31,2	470	20,9	273,1
17	5	13,1	18,8	19,9	944	11,5	99,3
18	4	14,4	20,9	22,3	948	15,9	155,9
19	9	30,0	34,9	36,6	359	24,0	348,0
20	12	39,0	42,1	43,9	250	29,1	494,1
21	3	6,6	5,1	5,8	1474	5,0	12,7
22	3	8,7	7,9	8,8	1432	8,4	32,1
23	3	8,0	7,0	7,8	1443	7,3	25,0
24	5	10,7	11,1	12,3	1406	12,6	66,8
25	7	12,5	14,3	16,5	1399	17,1	113,5
26	9	14,2	17,5	19,0	1389	21,3	159,5
27	10	14,9	18,1	20,3	1389	22,1	182,1
28	5	12,1	12,9	14,5	1399	15,5	85,2
29	6	12,6	14,3	16,1	1390	17,1	113,9
30	9	14,5	18,6	21,4	1379	23,4	201,1
31	10	15,3	19,9	23,8	1375	24,8	227,1
32	3	9,8	9,6	10,8	1415	10,7	50,1
33	5	12,9	15,2	17,1	1389	18,1	128,1
34	6	13,9	17,3	19,6	1390	22,0	179,0

continua

u.a	Dados levantados					Dados calculados	
	t	d	h	h100	N	G	V
35	9	16,2	22,3	26,3	1369	28,3	293,1
36	10	16,7	23,6	27,9	1365	30,2	329,1
37	5	12,2	13,8	15,4	1392	16,2	106,0
38	7	14,2	17,6	20,0	1381	21,5	176,5
39	9	15,4	20,5	23,7	1380	25,9	245,6
40	3	10,8	10,9	12,7	1415	12,1	59,9
41	4	12,1	13,7	15,3	1399	16,7	105,0
42	6	15,4	18,8	22,1	1379	21,9	201,0
43	8	16,3	22,5	26,3	1366	28,5	298,1
44	9	16,9	24,1	28,3	1367	30,7	342,1
45	10	18,2	27,2	32,9	1366	35,1	441,8
46	8	17,0	24,1	28,5	1356	31,6	343,1
47	7	17,1	22,2	26,0	1370	28,3	291,1
48	8	17,1	23,1	26,3	1399	28,9	305,1
49	6	15,3	19,1	21,4	1399	24,2	202,4
50	3	12,5	13,2	14,6	1418	16,4	95,6
51	7	17,8	26,0	30,1	1388	33,5	376,1
52	9	18,5	28,8	35,6	1410	37,6	506,1
53	10	19,8	30,5	38,1	1442	41,0	563,9
54	7	17,2	23,5	28,1	1421	31,2	345,1
55	3	11,3	12,2	13,6	1450	14,6	82,3
56	4	14,8	18,9	21,6	1419	25,0	208,9
57	8	20,3	31,0	38,0	1400	39,9	549,2

continua

conclusão

conclusão							
Dados levantados					Dados calculados		
u.a	t	d	h	h100	N	G	V
35	9	16,2	22,3	26,3	1369	28,3	293,1
36	10	16,7	23,6	27,9	1365	30,2	329,1
58	3	12,9	14,8	16,6	1452	18,0	123,4
59	3	11,8	13,1	14,6	1399	15,3	94,2
60	5	15,2	20,3	23,3	1380	25,6	235,0
61	6	16,9	23,1	26,9	1422	29,1	306,8
62	9	19,3	28,9	36,0	1358	38,1	503,9
63	3	10,3	15,0	16,6	955,0	7,9	61,0
64	5	10,8	14,2	16,8	988,0	8,1	63,0
65	11	27,0	32,0	33,1	396,0	22,7	302,2
66	12	25,3	31,1	32,4	436,0	21,5	293,0

Onde: u.a = unidade amostral; t = idade (anos); d = diâmetro (cm) h = altura média (m); h100 = altura dominante (m); N = nº de árvores; G = área basal (m²); V = volume (m³).

Há necessidade de se levantar também dados de cubagem, neste caso, de 60 árvores dominantes do povoamento, sendo que a metodologia completa para cubagem é apresentada por Finger (1992). A seguir é apresentado, como exemplo, a planilha dos dados da árvore 1, necessários para o cálculo do fator de forma (Tabela 2).

Tabela 2. Planilha de dados de cubagem da árvore de número 1.

Altura (m)	Diâmetro (cm)	Comprimento do torete (m)
0,1	13,0	0,1
1,3	9,9	1,3
2,3	9,5	1,0
3,3	9,0	1,0
4,3	8,5	1,0
5,3	8,2	1,0
6,3	8,0	1,0
7,3	7,2	1,0
8,3	7,0	1,0
9,3	6,8	1,0
10,3	6,0	1,0
Altura total = 17,9 m		7,6

Cálculo do fator de forma

Para o cálculo do fator de forma, são usados os dados de cubagem das 60 árvores dominantes do povoamento, conforme exemplo (árvore 1) apresentado na Tabela 2.

Os comprimentos dos toretes considerados, para fins de cálculo do volume, são: de 0,1 m até 1,3 m e, de metro em metro até 10,3 m, sendo considerado acima dessa altura como ponteira da árvore. Deve-se ressaltar que o último torrete tem a forma de um cone, enquanto os demais apresentam a forma de um cilindro, por isso o cálculo diferenciado.

O primeiro passo será calcular a área basal (G) de cada torete, cujos resultados estão apresentados na Tabela 3.

$$G = \frac{\pi \times (d)^2}{4}; \text{ onde: } \pi = 3,14159265; d = \text{diâmetro em metros.}$$

$$G_{0,1} = \frac{3,14159265 \times (0,130)^2}{4} = 0,013273$$

$$G_{1,3} = \frac{3,14159265 \times (0,099)^2}{4} = 0,007698, \text{ e assim até a altura de 10,3 m}$$

$$G_{10,3} = \frac{3,14159265 \times (0,060)^2}{4} = 0,002827$$

Tabela 3. Área basal de cada torete.

Altura (m)	Diâmetro (m)	Torrete	
		Comprimento (m)	G (m ²)
0,1	0,130	0,1	0,013273
1,3	0,099	1,3	0,007698
2,3	0,095	1,0	0,007088
3,3	0,090	1,0	0,006362
4,3	0,085	1,0	0,005675
5,3	0,082	1,0	0,005281
6,3	0,080	1,0	0,005027
7,3	0,072	1,0	0,004072
8,3	0,070	1,0	0,003848
9,3	0,068	1,0	0,003632
10,3	0,060	1,0	0,002827

Após o cálculo das áreas basais (G), deve-se calcular o volume dos toretes (Tabela 4), assim exemplificado para a árvore 1.

1º torrete = $\frac{0,013273 + 0,007698}{2} * 1,30 = 0,013631$, e assim calculamos até o último torrete (11º), que correspondente à ponta da árvore:

$$11^\circ \text{torrete} = \frac{0,002827 \times 7,6}{3} = 0,007163$$

Tabela 4. Volume dos torretes.

Comprimento	G (m ²)	V (m ³)
0,1 a 1,3 (cubo) = 1,3 m	0,013273	0,013631
1,3 a 2,3 (cubo) = 1,0 m	0,007698	0,007393
2,3 a 3,3 (cubo) = 1,0 m	0,007088	0,006725
3,3 a 4,3 (cubo) = 1,0 m	0,006362	0,006018
4,3 a 5,3 (cubo) = 1,0 m	0,005675	0,005478
5,3 a 6,3 (cubo) = 1,0 m	0,005281	0,005154
6,3 a 7,3 (cubo) = 1,0 m	0,005027	0,004549
7,3 a 8,3 (cubo) = 1,0 m	0,004072	0,003960
8,3 a 9,3 (cubo) = 1,0 m	0,003848	0,003740
9,3 a 10,3 (cubo) = 1,0 m	0,003632	0,001292
10,3 a 17,9 (cone) = 7,6 m	0,002827	0,007163
Volume total dos torretes	-	0,065102

$$\text{Volume do cilindro} = G_{h1,3} * ht = 0,007698 * 17,9 = 0,137789$$

$$\text{Fator de forma real}(ff) = \frac{\text{Volume dos torretes}}{\text{Volume do cilindro}} = \frac{0,065102}{0,137789} = 0,47248$$

Na Tabela 5 são apresentados os valores do cálculo dos fatores de forma das 60 árvores cubadas.

Tabela 5. Valores do diâmetro a altura do peito (DAP), altura total e do fator de forma calculado a partir da análise de tronco.

Árvore	Dap (cm)	Altura total (m)	f
1	9,9	17,90	0,47
2	8,9	16,3	0,43
3	8,0	16,4	0,47
4	11,9	20,40	0,47
5	11,5	20,86	0,51
6	11,0	19,50	0,51
7	13,1	23,00	0,49
8	12,0	21,60	0,48
9	12,6	22,20	0,53
10	15,0	23,70	0,45
11	15,0	23,80	0,46
12	14,5	23,80	0,45
13	16,5	25,10	0,45
14	17,0	25,00	0,44
15	16,0	24,40	0,47
16	19,4	25,70	0,44
17	20,5	26,30	0,47
18	21,0	25,20	0,43
19	20,5	26,00	0,44
20	21,0	26,40	0,43
21	21,9	27,00	0,44
22	26,0	27,50	0,4
23	24,0	25,70	0,45

continua

Árvore	Dap (cm)	Altura total (m)	f
24	22	25,00	0,44
25	25,0	25,50	0,45
26	24,0	26,95	0,42
27	22,5	26,80	0,45
28	20,0	30,00	0,46
29	20,5	29,80	0,46
30	23,0	30,30	0,43
31	21,0	30,00	0,47
32	20,5	30,10	0,46
33	20,0	28,70	0,48
34	19,0	29,70	0,47
35	20,5	29,80	0,44
36	21,0	29,70	0,38
37	21,0	30,40	0,49
38	21,0	29,70	0,46
39	25,5	29,80	0,45
40	26,0	29,00	0,46
41	23,5	28,80	0,49
42	25,5	29,00	0,44
43	24,5	31,50	0,46
44	25,0	29,20	0,46
45	28,0	30,30	0,44
46	25,0	30,20	0,43
47	21,5	31,00	0,51

continua

conclusão

Árvore	Dap (cm)	Altura total (m)	f
48	24,0	29,50	0,48
49	23,0	28,30	0,49
50	23,0	29,30	0,48
51	24,5	30,10	0,44
52	23,0	30,15	0,48
53	24,0	29,80	0,47
54	25,5	32,00	0,45
55	25,5	30,50	0,46
56	22,0	27,80	0,46
57	25,5	29,50	0,46
58	26,0	29,50	0,47
59	27,0	29,20	0,45
60	27,5	29,80	0,44

De acordo com os dados disponíveis sobre o povoamento, são definidos quais farão parte da tabela de produção. Neste caso, optou-se por: altura dominante, altura média, diâmetro médio, número de árvores, área basal, fator de forma e volume, para cada índice de sítio.

Determinação dos Modelos Matemáticos Estimadores

Modelo para estimar a altura média (h_m)

Inicialmente é determinada a equação hipsométrica que fornecerá a altura média. Podendo-se optar entre duas situações:

- 1) gerar uma função hipsométrica específica para o povoamento;

2) testar equações já elaboradas (disponíveis na literatura), como os apresentados na Tabela 6.

Para gerar equação específica, deve-se formular um modelo através do processo de regressão, fazendo com que a altura média (h_m), que é a variável dependente, seja uma função explicada pelas variáveis independentes, como: altura dominante (h_{100}), logaritmo da altura dominante ($\log h_{100}$), logaritmo da altura dominante ao quadrado ($\log h_{100}$)², logaritmo da altura dominante ao cubo ($\log h_{100}$)³ etc.

Tabela 6. Modelos de equações hipsométricas (h_m).

Equação	Modelo
1	$\log h_m = b_0 + b_1 * \log h_{100}$
2	$\log h_m = b_0 + b_1 * \log h_{100} + b_2 * \log (h_{100})^2$
3	$\log h_m = b_1 * \log h_{100} + b_2 * \log (h_{100})^2$
4	$\log h_m = b_0 + b_1 * \log h_{100} + b_2 * \log (h_{100})^2 + b_3 * \log (h_{100})^3$
5	$\log h_m = b_1 * \log h_{100} + b_2 * \log (h_{100})^2 + b_3 * \log (h_{100})^3$
6	$h_m = b_0 + b_1 * \log h_{100} + b_2 * \log (h_{100})^2$
7	$h_m = b_1 * \log h_{100} + b_2 * \log (h_{100})^2$

Os critérios para seleção de modelos elaborados por regressão são baseados em estatísticas. As mais utilizadas são: coeficiente de determinação (R^2), coeficiente de variação (CV), erro padrão da estimativa (S_{xy}), valor de F (F Value) e a significância das variáveis independentes do modelo (HAIR JUNIOR et al., 1998; FLORIANO et al., 2007).

O modelo que melhor ajusta os dados será aquele que apresentar o coeficiente de determinação mais próximo da unidade, o menor coeficiente de variação, o menor erro padrão da estimativa (que mede o desvio médio entre os valores reais e os estimados), o maior valor de F, a melhor distribuição dos resíduos (aquele onde a concentração dos pontos se situarem mais próximo do eixo das abcissas em toda sua extensão e

conseqüentemente mais próximos de zero), bem como o maior nível de significância das variáveis independentes do modelo (apresentar valores mais próximos de 0,0001 ou 99 %).

Os testes com os modelos foram feitos através do pacote estatístico SAS (1999) com o procedimento GLM, cuja programação encontra-se no Anexo 1.

O modelo mais apropriado será aquele que apresentar o maior coeficiente de determinação, o menor coeficiente de variação, o maior valor de F e a melhor análise do gráfico dos resíduos (Figuras de 1 a 7). Uma outra questão a considerar na escolha do modelo é a sua simplicidade.

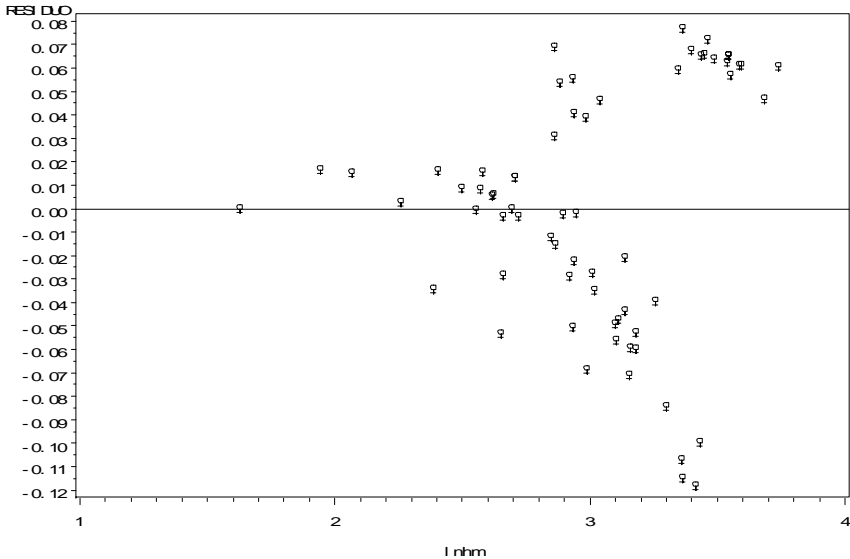


Fig. 1. Distribuição dos resíduos da função $\log h_m = b_0 + b_1 \cdot \log h_{100}$.

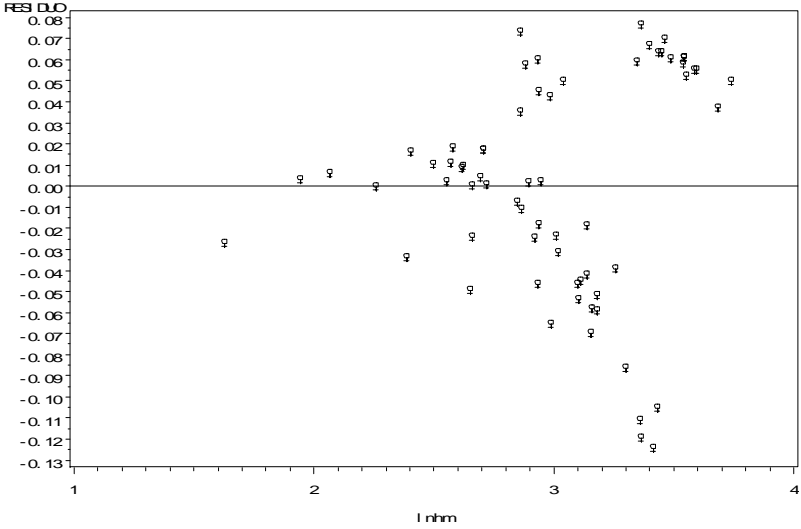


Fig. 2. Distribuição dos resíduos da função $\log h_m = b_0 + b_1 * \log h_{100} + b_2 * \log (h_{100})^2$.

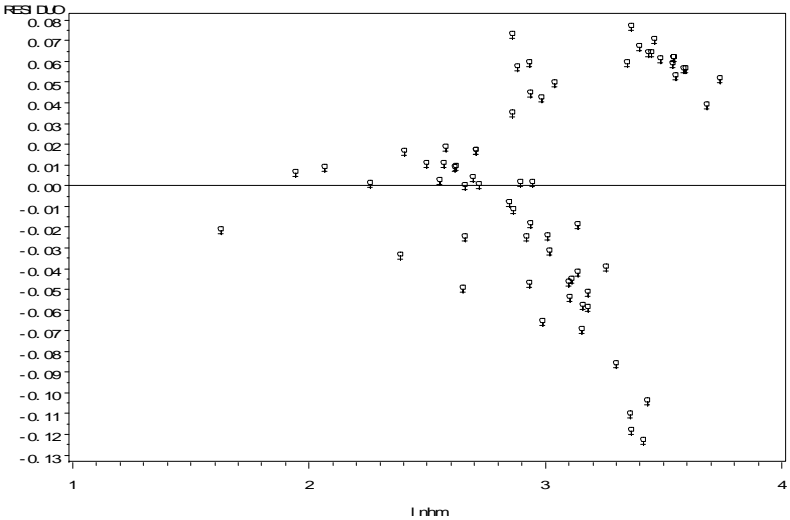


Fig. 3. Distribuição dos resíduos da função $\log h_m = b_1 * \log h_{100} + b_2 * \log (h_{100})^2$.

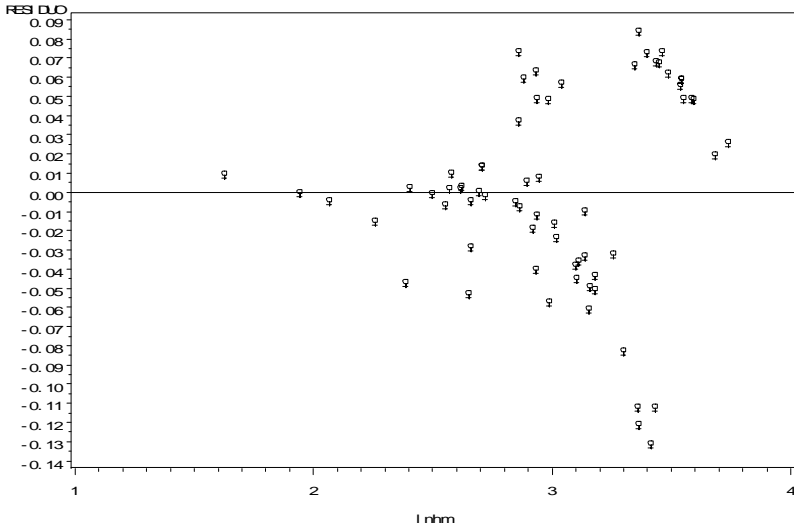


Fig. 4. Gráfico da distribuição dos resíduos da função $\ln h_m = b_0 + b_1 \ln h_{100} + b_2 (\ln h_{100})^2 + b_3 (\ln h_{100})^3$.

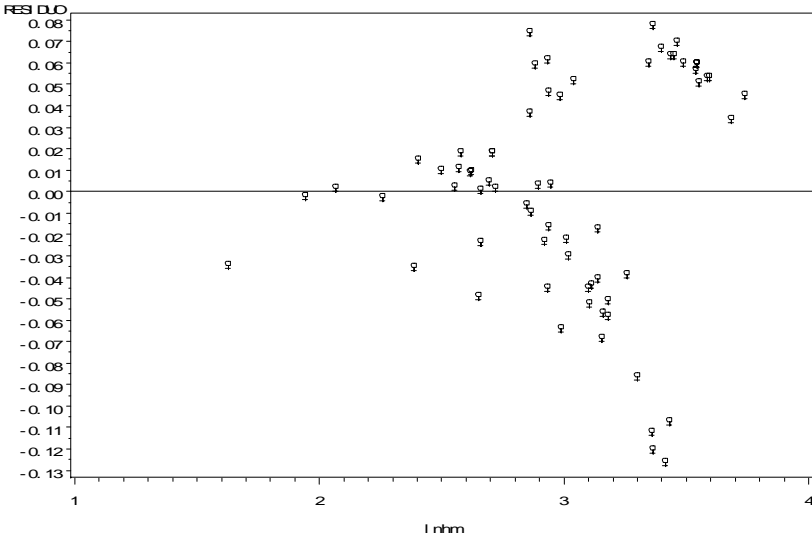


Fig. 5. Distribuição dos resíduos da função $\log h_m = b_1 * \log h_{100} + b_2 * \log (h_{100})^2 + b_3 * \log (h_{100})^3$.

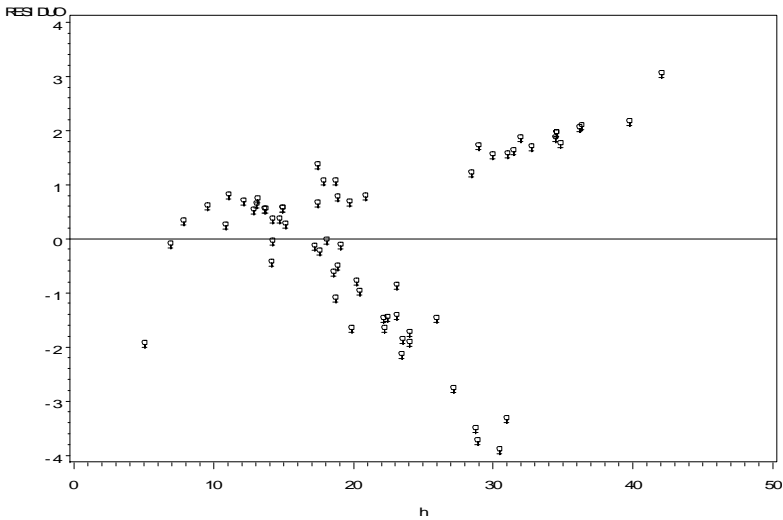


Fig. 6. Distribuição dos resíduos da função $h_m = b_0 + b_1 * \log h_{100} + b_2 * \log (h_{100})^2$.

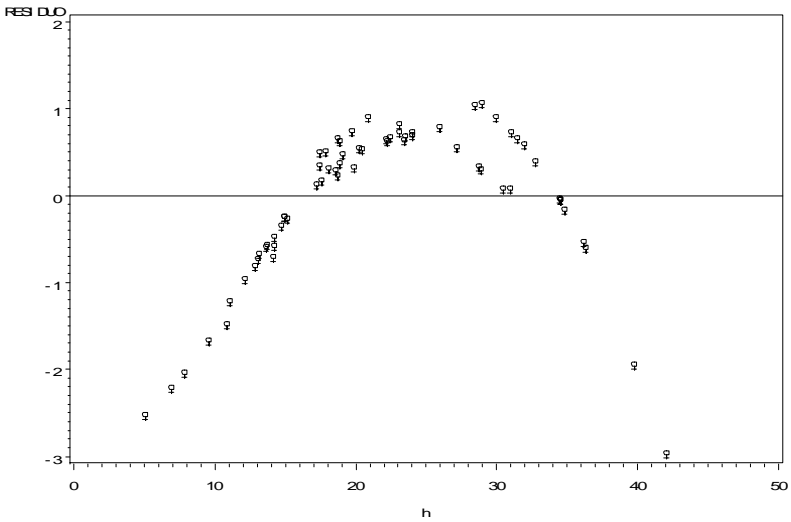


Fig. 7. Distribuição dos resíduos da função $h_m = b_1 * \log h_{100} + b_2 * \log (h_{100})^2$.

Pode-se observar, na Tabela 7, que a equação 3 ($\log h_m = b_1 * \log h_{100} + b_2 * \log (h_{100})^2$) apresenta as melhores estatísticas (R^2 , CV e F), muito embora, ao analisar os gráficos da distribuição dos resíduos (Figuras de 1 a 7), nenhuma das funções apresenta uma boa distribuição.

Tabela 7. Resumo da análise estatística dos modelos testados.

Eq.	Modelo	R^2	CV%	F
1	$\log h_m = b_0 + b_1 * \log h_{100}$	0,98	1,75	4339,00
2	$\log h_m = b_0 + b_1 * \log h_{100} + b_2 * \log (h_{100})^2$	0,98	1,76	2160,00
3	$\log h_m = b_1 * \log h_{100} + b_2 * \log (h_{100})^2$	0,99	1,74	110641,00
4	$\log h_m = b_0 + b_1 * \log h_{100} + b_2 * \log (h_{100})^2 + b_3 * \log (h_{100})^3$	0,98	1,75	1459,90
5	$\log h_m = b_1 * \log h_{100} + b_2 * \log (h_{100})^2 + b_3 * \log (h_{100})^3$	0,99	1,75	72831,40
6	$h_m = b_0 + b_1 * \log h_{100} + b_2 * \log (h_{100})^2$	0,96	7,35	891,28
7	$h_m = b_1 * \log h_{100} + b_2 * \log (h_{100})^2$	0,99	4,19	21503,50

Substituindo-se os coeficientes pelos valores, temos:

$$\log h_m = 0,9074337256 * \log h_{100} + 0,0179504724 * \log (h_{100})^2.$$

Um teste interessante de ser feito é o da comparação entre as altura reais e as alturas estimadas pelo modelo selecionado (Tabela 8 e Fig. 8).

Tabela 8. Alturas reais e alturas estimadas pelo modelo selecionado em função da idade.

t	h_{real}	h_{estimado}
3	19,8	18,98241
3	17,9	16,9033
3	5,1	5,210145
3	7,9	7,832961
3	7,0	6,956815
3	9,6	9,591912
3	10,9	11,27165
3	13,2	12,9601
3	12,2	12,07035
3	14,8	14,74679
3	13,1	12,9601
3	15,0	14,74679
4	15,0	14,74679
4	17,5	16,27293
4	20,9	19,89009
4	13,7	13,58435
4	18,9	19,25448
5	18,9	18,07698
5	18,8	17,71543
5	11,1	10,9173
5	12,9	12,87101

continua

t	h_{real}	h_{estimado}
5	15,2	15,19495
5	13,8	13,67362
5	20,3	20,79997
5	14,2	14,92598
6	14,3	14,29922
6	17,3	17,44452
6	18,8	19,70838
6	19,1	19,07308
6	23,1	24,09334
7	29,0	26,85837
7	32,8	30,85263
7	14,3	14,65723
7	17,6	17,80579
7	22,2	23,26743
7	26,0	27,04335
7	23,5	25,19716
8	28,5	26,85837
8	30,0	28,06215
8	22,5	23,54254
8	24,1	25,56575
8	23,1	23,54254
8	31,0	34,41146
9	34,9	33,09723
9	17,5	16,9033

continua

conclusão

t	h_{real}	h_{estimado}
9	18,6	19,07308
9	22,3	23,54254
9	20,5	21,16453
9	24,1	25,38141
9	28,8	32,16068
9	28,9	32,53508
10	18,1	18,07698
10	19,9	21,25573
10	23,6	25,01298
10	27,2	29,6413
10	30,5	34,50547
11	34,5	32,53508
11	34,6	32,53508
11	32,0	29,82745
12	31,5	29,54826
12	36,4	34,41146
12	34,6	32,53508
12	36,2	34,22349
12	42,1	39,98802
12	31,1	29,17627
13	39,8	38,28032

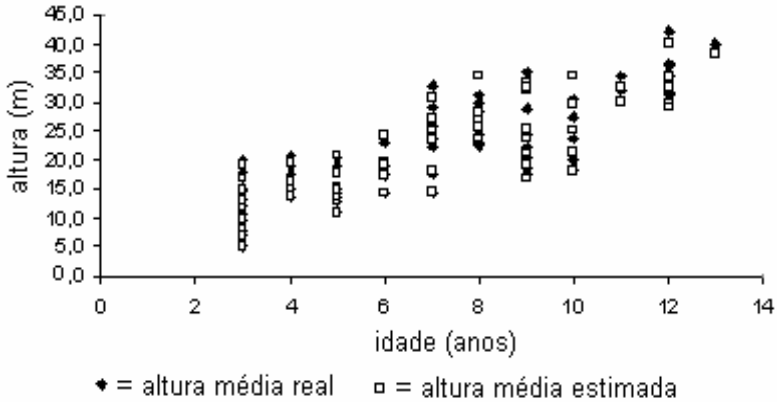


Fig. 8. Alturas reais e alturas estimadas pelo modelo selecionado em função da idade.

Ao analisar a Tabela 3 e Fig. 8, é verificado que a equação selecionada para estimar as alturas médias, quando se comparam os resultados reais com os estimados, os dados são semelhantes, reforçando que a equação é uma boa estimadora para a variável.

Modelo para estimar o diâmetro de área basal média (dg)

A estimativa do diâmetro de área basal média pode ser feita pelo método de regressão passo a passo (Stepwise), com a variável dependente (dg) normal ou logaritimizada (log dg), em função das seguintes variáveis independentes: dg ou $\log dg = f(\log h, \log^2 h, \log(h - 1,30), \log^2(h - 1,30), h^2, 1/h, 1/h^2)$.

Usou-se o pacote estatístico SAS com o procedimento (PROC) *Stepwise* para efetuar as análises. Sua programação está no Anexo 2.

Nas Figuras 9 e 10 estão apresentadas as distribuição dos resíduos das duas melhores funções obtidas para "dg" e "log dg".

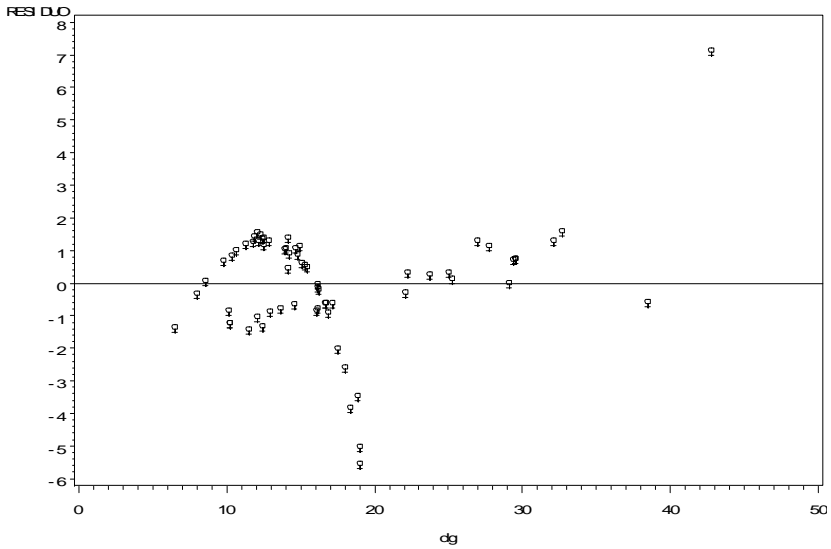


Fig. 9. Gráfico da distribuição dos resíduos da função $dg = b_0 + b_1 \cdot (h_m)^2$.

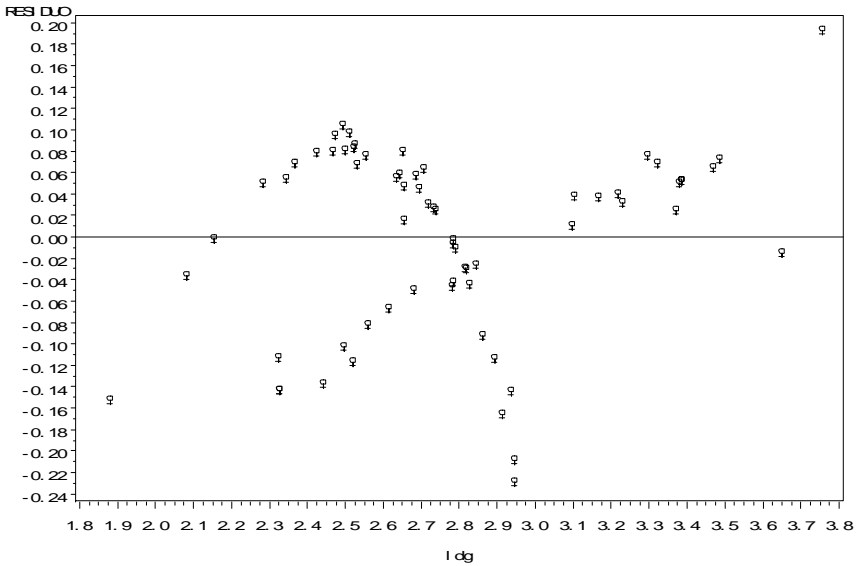


Fig. 10. Gráfico da distribuição dos resíduos da função $\log dg = b_0 + b_1 \cdot h_m$.

O melhor modelo de regressão, quando a variável dependente é “dg”, foi gerado no passo 1 (veja saída do programa no Anexo 2), apresentando um coeficiente de determinação de 0,945 e valor de F igual a 1.098,83. Porém, quando a variável dependente é “log dg”, foram executados quatro passos, sendo o melhor modelo gerado também no passo 1, com coeficiente de determinação de 0,95 e valor de F igual a 1.203,09.

Pela análise da distribuição dos resíduos, o modelo onde a variável dependente é o “dg” apresenta uma distribuição um pouco melhor que a função onde a variável dependente é “log dg”. Dessa forma, o modelo selecionado fica assim: $dg = 7,5086 + 0,01783 * h^2$.

Na Tabela 9 e Fig. 11, compararam-se os valores estimados pelo modelo com os valores de diâmetro reais, observam-se dados muito semelhantes, indicando que o modelo está estimando bem a variável dependente.

Tabela 9. Valores de diâmetros reais e estimados em função da idade.

t	d _{real}	dg _{estimado}
4	10,3	11,52035
12	25,3	25,20042
4	12,5	12,96904
8	22,2	21,99102
11	29,5	28,73076
12	32,1	31,13264
11	29,4	28,85396
7	22,8	22,50363
12	29,5	28,85396
3	13,5	14,49867
7	27,5	26,69083
13	36,4	35,75203

continua

t	d_{real}	dg_{estimado}
5	13,0	13,87765
3	12,5	13,22151
12	31,8	30,87375
8	23,8	23,5556
5	13,1	13,81044
4	14,4	15,29692
9	30,0	29,22572
12	39,0	39,11067
3	6,6	7,972358
3	8,7	8,62137
3	8,0	8,38227
5	10,7	9,705434
7	12,5	11,15466
9	14,2	12,96904
10	14,9	13,34989
5	12,1	10,47569
6	12,6	11,15466
9	14,5	13,67707
10	15,3	14,56946
3	9,8	9,151813
5	12,9	11,62804
6	13,9	12,84494
9	16,2	16,37528
10	16,7	17,4392

continua

t	d_{real}	dg_{estimado}
5	12,2	10,90415
7	14,2	13,03162
9	15,4	15,00166
3	10,8	9,626982
4	12,1	10,85511
6	15,4	13,81044
8	16,3	16,53504
9	16,9	17,86444
10	18,2	20,69995
8	17,0	17,86444
7	17,1	16,29594
8	17,1	17,02287
6	15,3	14,01316
3	12,5	10,6153
7	17,8	19,56168
9	18,5	22,29752
10	19,8	24,09496
7	17,2	17,35522
3	11,3	10,16242
4	14,8	13,87765
8	20,3	24,64323
3	12,9	11,41408
3	11,8	10,56841
5	15,2	14,85616

continua

conclusão

t	d _{real}	dg _{estimado}
6	16,9	17,02287
9	19,3	22,40039
3	10,3	11,52035
5	10,8	11,10384
11	27,0	25,76652
12	25,3	24,75395

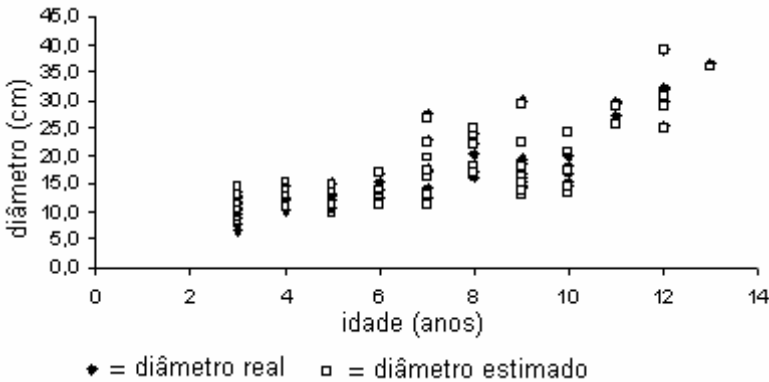


Fig. 11. Valores de diâmetros reais e estimados em função da idade.

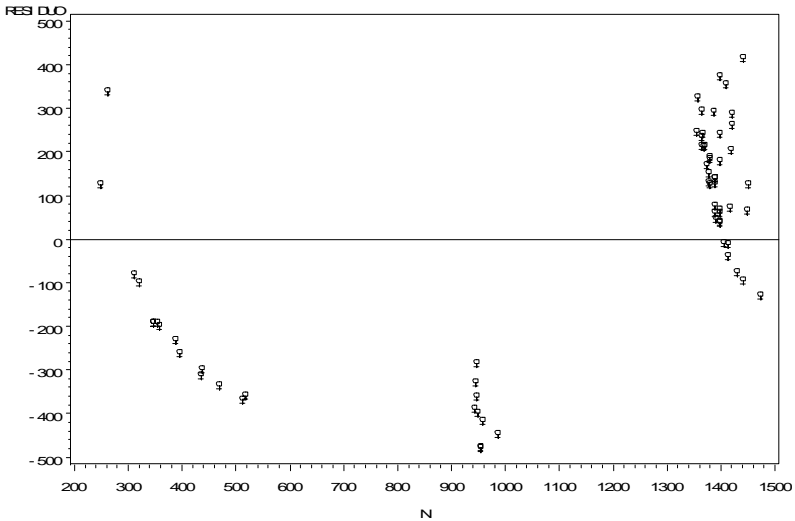
Modelo para estimar o número de árvores (N)

Na formulação do modelo para estimar o número de árvores (N), também utilizou-se o método de regressão passo a passo (Stepwise), para as variáveis dependentes “N” e “log N”, tendo como independentes: N ou log N = f(dg, 1/dg, dg², log dg, log dg²).

Através do pacote SAS com o procedimento (PROC) Stepwise, obteve-se a estatística apresentada na Tabela 10 e cujas distribuições dos resíduos dos dois melhores modelos estão nas Figuras 12 e 13. A programação utilizada está citada no Anexo 3.

Tabela 10. Resumo da estatística para escolha do modelo para estimar N.

Var. dep.	Passo	Var. indep.	R ²	F
N	1	dg	0,65	123,29
	2	dg, 1/dg	0,68	68,62
	3	dg, 1/dg, dg ²	0,71	51,27
	4	dg, 1/dg, dg ² , log dg	0,80	63,64
log N	1	dg ²	0,77	211,48

Fig. 12. Distribuição dos resíduos do modelo $N = 1908,17403 - 46,33322 * dg$ (Passo 1).

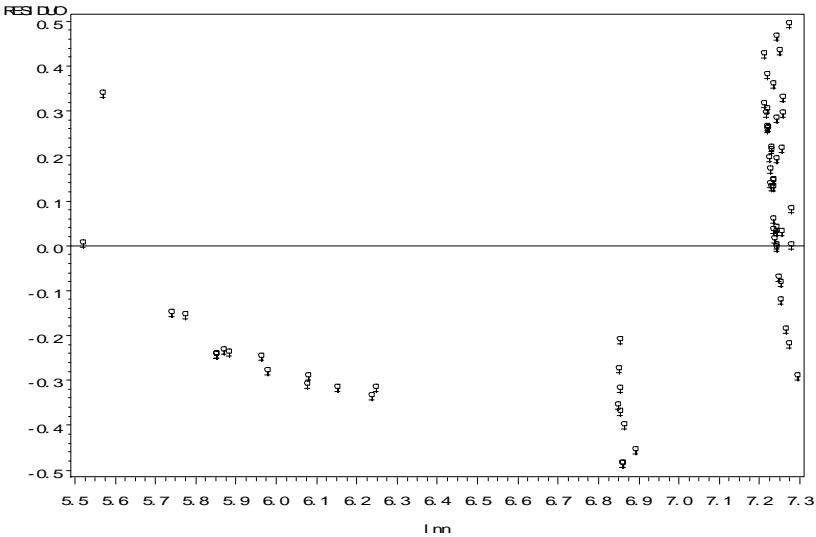


Fig. 13. Distribuição dos resíduos do modelo $\log N = 7,39492 - 0,00142 * dg^2$ (Passo 1).

Observa-se no modelo de regressão, onde a variável dependente é o “N”, que o programa executou quatro passos (*step*), sendo o melhor modelo executado no passo 1. Embora o seu coeficiente de determinação não seja o maior, o de F é muito maior. Quando a variável dependente é “log N”, é executado apenas 1 passo, onde o R teve um valor de 0,77 e o F igual a 211,48. Já a distribuição dos resíduos, em ambos os modelos, é ruim.

A definição do modelo a ser utilizado recaiu para o mais simples e que apresenta melhores estatísticas: $\log N = 7,39492 - 0,00142 * dg^2$.

Na Tabela 11 e Figura 13 são apresentados dados do número de árvores reais do povoamento e os valores estimados pela função gerada.

Tabela 11. Número de árvores reais e estimados pela função selecionada em função do dg.

t	N _{real}	N _{est.}
4	956	1.400
12	438	656
4	959	1.304
8	518	808
11	355	473
12	312	377
11	348	477
7	513	778
12	348	473
3	946	1.257
7	389	556
13	263	248
5	948	1.280
3	949	1.304
12	322	387
8	470	728
5	944	1.276
4	948	1.213
9	359	453
12	250	188
3	1474	1.530
3	1432	1.462
3	1443	1.486

continua

t	N_{real}	N_{est.}
5	1406	1.383
7	1399	1.304
9	1389	1.222
10	1389	1.188
5	1399	1.322
6	1390	1.299
9	1379	1.208
10	1375	1.167
3	1415	1.420
5	1389	1.285
6	1390	1.237
9	1369	1.121
10	1365	1.095
5	1392	1.318
7	1381	1.222
9	1380	1.162
3	1415	1.379
4	1399	1.322
6	1379	1.162
8	1366	1.116
9	1367	1.085
10	1366	1.017
8	1356	1.080
7	1370	1.075

continua

conclusão

t	N_{real}	N_{est.}
8	1399	1.075
6	1399	1.167
3	1418	1.304
7	1388	1.038
9	1410	1.001
10	1442	933
7	1421	1.069
3	1450	1.358
4	1419	1.193
8	1400	907
3	1452	1.285
3	1399	1.336
5	1380	1.172
6	1422	1.085
9	1358	959
3	955,0	1.400
5	988,0	1.379
11	396,0	578
12	436,0	656

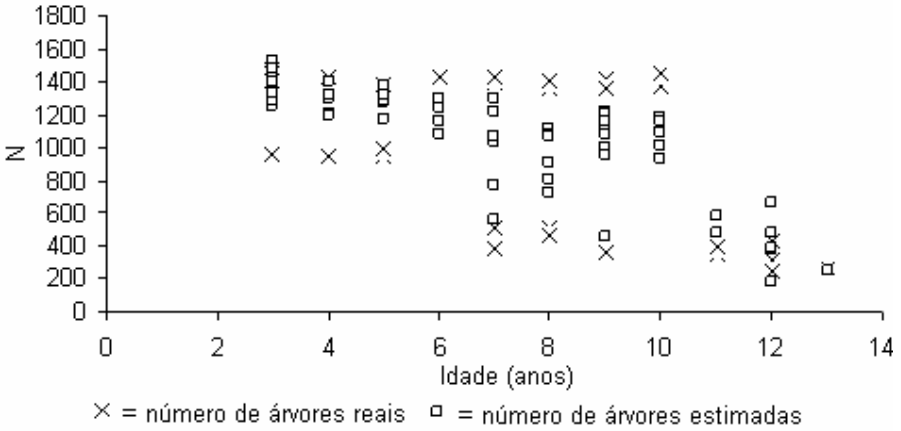


Fig. 13. Valores reais e estimados do número de árvores em função do dg.

Modelo para estimar a área basal (G)

Usando-se o programa SAS através do método de regressão passo a passo (*Stepwise*), testaram-se quatro variáveis independentes na tentativa de estimar a variável “G” ou sua transformada “log G”, conforme segue: G ou $\log G = f(h_{100}, h_{100}^2, N, 1/N)$.

A programação utilizada na análise está contida no Anexo 4 e os resultados obtidos estão resumidamente na Tabela 12, sendo o gráfico dos dois melhores modelos, nas Figuras 14 e 15:

Tabela 12. Resumo da estatística para escolha da função de G.

Função var. dep.	Passo	Var. indep.	R ²	F
G	1	h_{100}	0,62	106,52
	2	h_{100}, N	0,97	911,42
	3	$h_{100}, N, 1/N$	0,97	759,35
	4	$h_{100}, N, 1/N, h_{100}^2$	0,98	716,09
log G	1	h_{100}	0,61	100,41
	2	h_{100}, N	0,87	219,77
	3	h_{100}, N, h_{100}^2	0,90	182,10
	4	$h_{100}, N, 1/N, h_{100}^2$	0,96	382,48

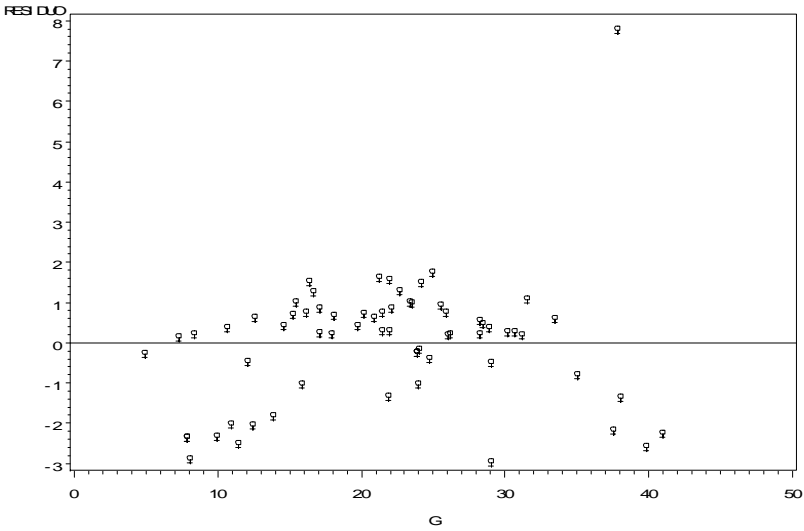


Fig. 14. Distribuição dos resíduos da função $G = -24,00151 + 1,1911 \cdot h_{100} + 0,01517 \cdot N$ (Passo 2).

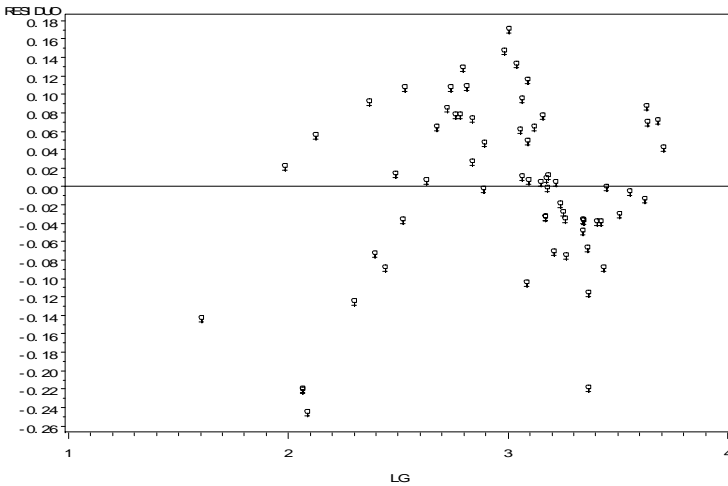


Fig. 15. Distribuição dos resíduos da função $\log G = -1,96003 + 0,15786 \cdot h_{100} + 0,00166 \cdot N + 616,93556 \cdot 1/N - 0,0022 \cdot h_{100}^2$ (Passo 4).

O melhor modelo que descreve a área basal foi obtido no passo 2 da regressão em que a variável dependente é "G". O modelo, além de simples, mostrou um R^2 de 0,97 e um F de 911,42, bem como uma razoável distribuição dos resíduos: $G = -24,00151 + 1,1911 * h_{100} + 0,01517 * N$.

Na Tabela 13 e Fig. 16, temos os dados de área basal real e área basal estimada através da equação desenvolvida.

Tabela 13. Área basal real e estimada pelo modelo selecionado, em função da idade.

t	G _{real}	G _{est.}
3	13,9	15,71974
3	11,0	13,02572
3	5,0	5,26745
3	8,4	8,20361
3	7,3	7,17938
3	10,7	10,32792
3	12,1	12,59101
3	16,4	14,89961
3	14,6	14,19395
3	18,0	17,79759
3	15,3	14,61138
3	7,9	10,2581
4	7,9	10,27327
4	10,0	12,34365
4	15,9	16,94118
4	16,7	15,44515
4	25,0	23,25248
5	12,5	14,55898

continua

t	G_{real}	G_{gest.}
5	11,5	14,02186
5	12,6	11,97804
5	15,5	14,49227
5	18,1	17,43743
5	16,2	15,45807
5	25,6	24,68572
5	8,1	10,99693
6	17,1	16,2615
6	22,0	20,43035
6	21,9	23,24123
6	24,2	22,71086
6	29,1	29,61082
7	19,8	19,39459
7	23,6	22,63524
7	17,1	16,87447
7	21,5	20,77026
7	28,3	27,74999
7	33,5	32,90656
7	31,2	31,02497
8	20,2	19,47044
8	20,9	20,29071
8	28,5	28,04664
8	31,6	30,51536
8	28,9	28,54725

continua

conclusão

t	G _{real}	G _{est.}
8	39,9	42,49829
9	24,0	25,03878
9	21,3	19,70052
9	23,4	22,40746
9	28,3	28,09215
9	25,9	25,16216
9	30,7	30,44401
9	37,6	39,79135
9	38,1	39,47895
10	22,1	21,24895
10	24,8	25,20542
10	30,2	29,93723
10	35,1	35,9079
10	41,0	43,25454
11	24,1	24,26344
11	23,9	24,15725
11	22,7	21,43122
12	22,0	21,71103
12	26,2	25,99333
12	23,9	24,15725
12	26,1	25,90681
12	29,1	32,08028
12	21,5	21,20425
13	37,9	30,13351

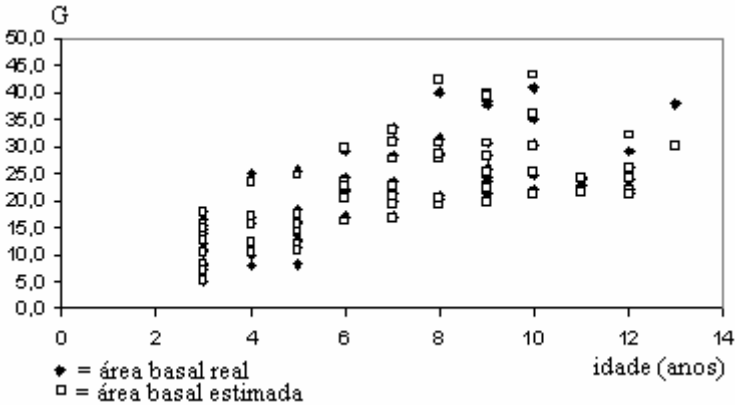


Fig. 16. Dados reais e estimados de área basal em função da idade.

Modelo para estimar o fator de forma (f)

O modelo para estimar o fator de forma foi obtido, também, através do método de regressão passo a passo (*Stepwise*) para a variável dependente normal "f" e sua modificada "log f". Para isso, usaram-se como variáveis independentes: f ou $\log f = f(d, d^2, 1/d, 1/d^2, h, h^2, 1/h, 1/h^2, \log h, \log d, d \cdot h, \log(d \cdot h))$.

Com o uso do pacote SAS, através do procedimento (PROC) *Stepwise*, gerou-se a análise cujo resumo encontra-se na Tabela 14 e os respectivos gráficos dos resíduos dos dois melhores modelos estão nas Figuras 17 e 18.

Salientamos que a programação utilizada encontra-se em detalhes no Anexo 5.

Tabela 14. Resumo da estatística para escolha do modelo para o fator de forma.

Função var. dep.	Passo	Var. indep.	R ²	F
f	1	d	0,12	7,88
	2	d, dh	0,18	6,44
log f	1	d	0,11	7,43
	2	d, dh	0,18	6,13

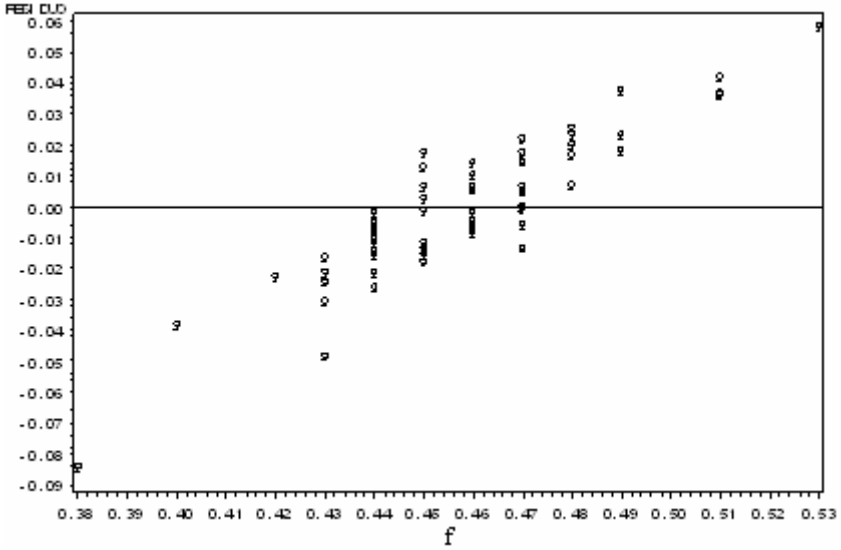


Fig. 17. Distribuição dos resíduos da função $f = 0,52769 - 0,00859*d + 0,00018767*d*h$.

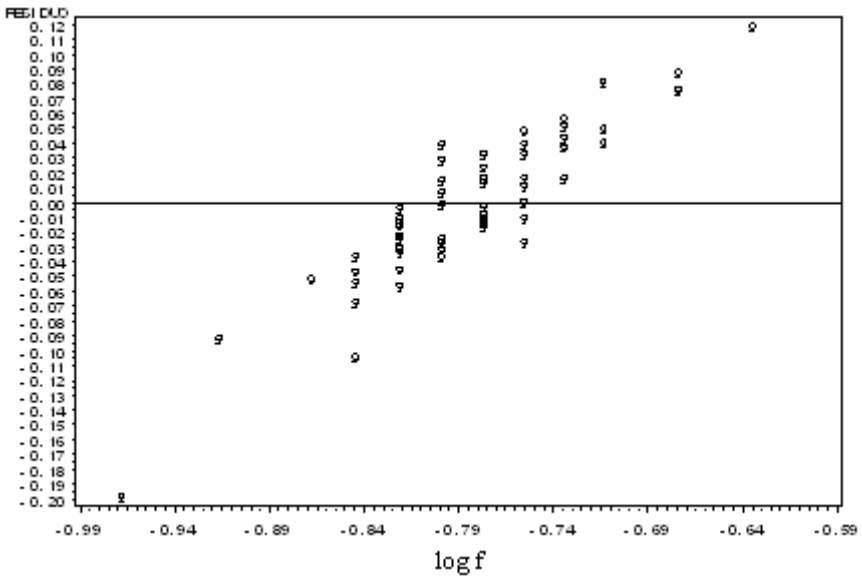


Fig. 18. Distribuição dos resíduos da função $\log f = -0,63248 - 0,01857*d + 0,00040729*d*h$.

O modelo que melhor descreve a variável fator de forma (f) é representada no passo 2 da regressão, onde as variáveis independentes são d e $d*h$.

Ambos os modelos não apresentam boa estatística e distribuição dos resíduos, porém isso pode ser justificado pelo uso de dados irreais na elaboração do trabalho. Na escolha optamos pelo mais simples e o que apresentou o melhor coeficiente de determinação: $f = 0,52769 - 0,00859*d + 0,00018767*d*h$.

Na Tabela 15 e Fig. 19 são apresentados dados do fator de forma real e estimados pelo modelo.

Tabela 15. Dados reais e estimados do fator de forma.

Árvore	DAP (cm)	Altura total (m)	f_{real}	$f_{est.}$
1	9,9	17,90	0,47	0,48
2	8,9	16,3	0,43	0,48
3	8,0	16,4	0,47	0,48
4	11,9	20,40	0,47	0,47
5	11,5	20,86	0,51	0,47
6	11,0	19,50	0,51	0,47
7	13,1	23,00	0,49	0,47
8	12,0	21,60	0,48	0,47
9	12,6	22,20	0,53	0,47
10	15,0	23,70	0,45	0,47
11	15,0	23,80	0,46	0,47
12	14,5	23,80	0,45	0,47
13	16,5	25,10	0,45	0,46
14	17,0	25,00	0,44	0,46
15	16,0	24,40	0,47	0,46
16	19,4	25,70	0,44	0,46

continua

Árvore	DAP (cm)	Altura total (m)	f _{real}	f _{est.}
17	20,5	26,30	0,47	0,45
18	21,0	25,20	0,43	0,45
19	20,5	26,00	0,44	0,45
20	21,0	26,40	0,43	0,45
21	21,9	27,00	0,44	0,45
22	26,0	27,50	0,4	0,44
23	24,0	25,70	0,45	0,44
24	22,0	25,00	0,44	0,44
25	25,0	25,50	0,45	0,43
26	24,0	26,95	0,42	0,44
27	22,5	26,80	0,45	0,45
28	20,0	30,00	0,46	0,47
29	20,5	29,80	0,46	0,47
30	23,0	30,30	0,43	0,46
31	21,0	30,00	0,47	0,47
32	20,5	30,10	0,46	0,47
33	20,0	28,70	0,48	0,46
34	19,0	29,70	0,47	0,47
35	20,5	29,80	0,44	0,47
36	21,0	29,70	0,38	0,47
37	21,0	30,40	0,49	0,47
38	21,0	29,70	0,46	0,47
39	25,5	29,80	0,45	0,45
40	26,0	29,00	0,46	0,45

continua

conclusão

Árvore	DAP (cm)	Altura total (m)	f_{real}	$f_{\text{est.}}$
41	23,5	28,80	0,49	0,45
42	25,5	29,00	0,44	0,45
43	24,5	31,50	0,46	0,46
44	25,0	29,20	0,46	0,45
45	28,0	30,30	0,44	0,45
46	25,0	30,20	0,43	0,46
47	21,5	31,00	0,51	0,47
48	24,0	29,50	0,48	0,46
49	23,0	28,30	0,49	0,45
50	23,0	29,30	0,48	0,46
51	24,5	30,10	0,44	0,46
52	23,0	30,15	0,48	0,46
53	24,0	29,80	0,47	0,46
54	25,5	32,00	0,45	0,46
55	25,5	30,50	0,46	0,46
56	22,0	27,80	0,46	0,45
57	25,5	29,50	0,46	0,45
58	26,0	29,50	0,47	0,45
59	27,0	29,20	0,45	0,45
60	27,5	29,80	0,44	0,45

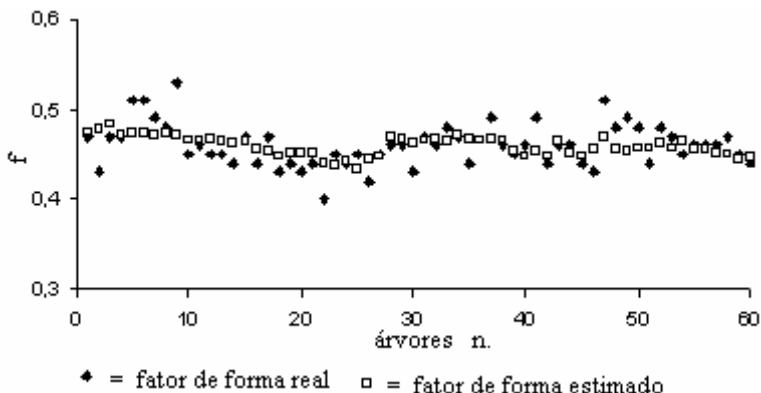


Figura 19: Gráfico dos dados reais e estimados de forma para cada árvore.

Construção da Tabela de Produção

Na confecção da tabela de produção para um povoamento, necessita-se, inicialmente, da classificação de sítios do local (SELLE, 1993). Nesta aplicação prática, partiu-se de uma classificação já existente para o local e cuja idade de referência é 10 anos, conforme Tabela 16.

Tabela 16. Classificação de sítios.

Idade	IS 12	IS 14	IS 16	IS 18	IS 20	IS 22	IS 24	IS 26	IS 28
4	7,028	8,199	9,370	10,541	11,713	12,884	14,055	15,226	16,398
5	8,205	9,572	10,940	12,307	13,675	15,042	16,410	17,777	19,145
6	9,214	10,750	12,285	13,821	15,357	16,892	18,428	19,963	21,499
7	10,079	11,759	13,438	15,118	16,798	18,478	20,158	21,837	23,517
8	10,820	12,623	14,427	16,230	18,033	19,837	21,640	23,444	25,247
9	11,455	13,365	15,274	17,183	19,092	21,002	22,911	24,820	26,729
10	12,000	14,000	16,000	18,000	20,000	22,000	24,000	26,000	28,000
11	12,467	14,545	16,622	18,700	20,778	22,856	24,933	27,011	29,089
12	12,867	15,011	17,156	19,300	21,445	23,589	25,734	27,878	30,023
13	13,210	15,411	17,613	19,815	22,016	24,218	26,419	28,621	30,823
14	13,504	15,754	18,005	20,255	22,506	24,757	27,007	29,258	31,508

Modelos empregados:

$h_{100} = 34,4821 * (1 - e^{(-0,1542 * t)})$ – modelo utilizado na classificação de sítios

$\log h_m = 0,90743372568 * \log h_{100} + 0,0179504724 * \log (h_{100})^2$

$dg = 7,50860 + 0,01783 * (h_m)^2$

$\log N = 7,39492 - 0,00142 * (dg)^2$

$G = -24,00151 + 1,19110 * h_{100} + 0,01517 * N$

$f = 0,52769 - 0,00859 * d + 0,00018767 * d * h$

De posse da classificação de sítios e dos modelos matemáticos gerados, através da simples substituição das variáveis independentes nos modelos, calculam-se as variáveis dependentes da tabela de produção, conforme exemplificação, a seguir, feita para o IS = 10 com t = 3:

$h_{100} = 34,4821 * (1 - e^{(-0,1542 * 3)}) = 4,7$

$\log h_m = 0,90743372568 * \log 4,7 + 0,0179504724 * \log (4,7)^2 = 4,3$

$dg = 7,50860 + 0,01783 * (4,3)^2 = 7,83$

$\log N = 7,39492 - 0,00142 * (7,83)^2 = 1492$

$G = -24,00151 + 1,19110 * 4,7 + 0,01517 * 1492 = 4,243$

$f = 0,52769 - 0,00859 * 7,83 + 0,00018767 * 7,83 * 4,3 = 0,4655$

Salienta-se que no caso do h_m e N, depois do cálculo, deve-se extrair o logaritmo para ambas as variáveis por seus modelos serem logaritimizados.

E finalmente o volume, a variável mais importante da tabela de produção, é calculado multiplicando-se a área basal (G) pela altura média (h_m) e o fator de forma (f).

Tabela 17. Tabela de produção para o povoamento.

IS= 10

t	h_{100}	h_m	d	N	G	f	V
3	4,7	4,3	7,83	1492	4,243	0,4655	8,42
4	5,9	5,3	8,00	1486	5,520	0,4657	13,52
5	6,8	6,1	8,18	1480	6,599	0,4657	18,79
6	7,7	6,9	8,35	1474	7,511	0,4656	23,96
7	8,4	7,5	8,51	1469	8,283	0,4655	28,85
8	9,0	8,0	8,66	1463	8,938	0,4653	33,37
9	9,5	8,5	8,79	1458	9,494	0,4651	37,48
10	10,0	8,9	8,92	1454	9,965	0,4649	41,17
11	10,4	9,2	9,03	1450	10,367	0,4647	44,47
12	10,7	9,5	9,13	1446	10,708	0,4646	47,38
13	11,0	9,8	9,21	1443	10,999	0,4644	49,93
14	11,3	10,0	9,29	1440	11,247	0,4643	52,17

continua

IS = 12

t	h ₁₀₀	h _m	d	N	G	f	V
3	5,7	5,1	7,97	1487	5,192	0,4657	12,29
4	7,0	6,3	8,21	1479	6,703	0,4657	19,61
5	8,2	7,3	8,46	1470	7,973	0,4655	27,14
6	9,2	8,2	8,71	1462	9,043	0,4652	34,48
7	10,1	9,0	8,94	1453	9,945	0,4649	41,41
8	10,8	9,6	9,16	1445	10,707	0,4645	47,79
9	11,5	10,2	9,35	1438	11,350	0,4642	53,58
10	12,0	10,7	9,53	1431	11,895	0,4639	58,77
11	12,5	11,1	9,69	1424	12,357	0,4636	63,38
12	12,9	11,4	9,83	1419	12,749	0,4633	67,45
13	13,2	11,7	9,96	1414	13,082	0,4631	71,02
14	13,5	12,0	10,07	1409	13,365	0,4629	74,14

IS = 14

3	6,6	5,9	8,13	1482	6,231	0,4657	17,14
4	8,2	7,3	8,46	1470	7,967	0,4655	27,10
5	9,6	8,5	8,80	1458	9,419	0,4651	37,28
6	10,7	9,5	9,13	1446	10,635	0,4646	47,17
7	11,8	10,4	9,45	1434	11,654	0,4640	56,45
8	12,6	11,2	9,75	1422	12,511	0,4635	64,96
9	13,4	11,9	10,02	1412	13,231	0,4630	72,66
10	14,0	12,4	10,26	1402	13,839	0,4625	79,53
11	14,5	12,9	10,48	1393	14,351	0,4621	85,62
12	15,0	13,3	10,68	1385	14,784	0,4618	90,98
13	15,4	13,7	10,85	1377	15,151	0,4615	95,67
14	15,8	14,0	11,00	1371	15,462	0,4612	99,76

continua

IS= 16

t	h₁₀₀	h_m	d	N	G	f	V
3	7,5	6,7	8,32	1475	7,257	0,4657	22,74
4	9,4	8,3	8,75	1460	9,207	0,4652	35,69
5	10,9	9,7	9,19	1444	10,829	0,4645	48,86
6	12,3	10,9	9,63	1427	12,178	0,4637	61,57
7	13,4	11,9	10,04	1410	13,302	0,4629	73,44
8	14,4	12,8	10,43	1395	14,241	0,4622	84,29
9	15,3	13,6	10,79	1380	15,026	0,4616	94,05
10	16,0	14,2	11,11	1366	15,684	0,4610	102,74
11	16,6	14,8	11,40	1354	16,236	0,4605	110,41
12	17,2	15,2	11,65	1342	16,701	0,4601	117,14
13	17,6	15,7	11,88	1332	17,093	0,4597	123,02
14	18,0	16,0	12,08	1323	17,424	0,4594	128,13

IS= 18

3	8,5	7,6	8,53	1468	8,268	0,4654	29,07
4	10,5	9,4	9,07	1448	10,422	0,4647	45,34
5	12,3	10,9	9,64	1427	12,200	0,4637	61,79
6	13,8	12,3	10,19	1404	13,668	0,4626	77,57
7	15,1	13,4	10,72	1383	14,883	0,4617	92,22
8	16,2	14,4	11,21	1362	15,889	0,4608	105,55
9	17,2	15,3	11,67	1342	16,725	0,4601	117,49
10	18,0	16,0	12,07	1323	17,420	0,4594	128,07
11	18,7	16,6	12,44	1307	18,001	0,4589	137,38
12	19,3	17,2	12,77	1291	18,486	0,4584	145,53
13	19,8	17,6	13,06	1278	18,894	0,4580	152,63
14	20,3	18,0	13,31	1266	19,237	0,4577	158,80

continua

IS= 20

t	h₁₀₀	h_m	d	N	G	f	V
3	9,4	8,4	8,76	1460	9,263	0,4651	36,11
4	11,7	10,4	9,44	1434	11,608	0,4640	56,01
5	13,7	12,1	10,13	1407	13,529	0,4627	75,98
6	15,4	13,6	10,82	1378	15,101	0,4615	95,02
7	16,8	14,9	11,48	1350	16,390	0,4604	112,61
8	18,0	16,0	12,09	1323	17,448	0,4594	128,51
9	19,1	17,0	12,65	1297	18,319	0,4586	142,69
10	20,0	17,8	13,16	1273	19,039	0,4579	155,22
11	20,8	18,5	13,62	1251	19,636	0,4573	166,21
12	21,4	19,1	14,02	1231	20,132	0,4569	175,79
13	22,0	19,6	14,38	1213	20,546	0,4565	184,13
14	22,5	20,1	14,70	1198	20,892	0,4562	191,36

IS= 22

3	10,4	9,2	9,02	1450	10,241	0,4647	43,83
4	12,9	11,4	9,84	1419	12,765	0,4633	67,63
5	15,0	13,4	10,69	1384	14,813	0,4617	91,34
6	16,9	15,0	11,52	1348	16,472	0,4603	113,79
7	18,5	16,4	12,32	1312	17,818	0,4590	134,40
8	19,8	17,7	13,07	1277	18,912	0,4580	152,94
9	21,0	18,7	13,75	1244	19,804	0,4572	169,41
10	22,0	19,6	14,37	1214	20,534	0,4565	183,89
11	22,9	20,4	14,93	1186	21,135	0,4560	196,56
12	23,6	21,1	15,42	1161	21,631	0,4556	207,59
13	24,2	21,6	15,86	1139	22,043	0,4553	217,17
14	24,8	22,1	16,24	1119	22,387	0,4551	225,47

continua

IS = 24

t	h ₁₀₀	h _m	d	N	G	f	V
3	11,3	10,0	9,31	1439	11,202	0,4643	52,21
4	14,1	12,5	10,28	1401	13,891	0,4625	80,14
5	16,4	14,6	11,30	1358	16,048	0,4607	107,76
6	18,4	16,4	12,30	1313	17,777	0,4591	133,74
7	20,2	17,9	13,25	1268	19,161	0,4578	157,43
8	21,6	19,3	14,14	1225	20,274	0,4567	178,63
9	22,9	20,4	14,96	1184	21,173	0,4560	197,39
10	24,0	21,4	15,70	1147	21,902	0,4554	213,84
11	24,9	22,3	16,37	1113	22,498	0,4551	228,21
12	25,7	23,0	16,96	1082	22,987	0,4548	240,71
13	26,4	23,7	17,48	1055	23,391	0,4547	251,56
14	27,0	24,2	17,94	1030	23,726	0,4547	260,96

IS = 26

3	12,3	10,9	9,62	1427	12,143	0,4637	61,23
4	15,2	13,5	10,77	1381	14,982	0,4616	93,49
5	17,8	15,8	11,96	1328	17,232	0,4596	125,15
6	20,0	17,8	13,14	1274	19,011	0,4579	154,71
7	21,8	19,5	14,27	1219	20,417	0,4566	181,51
8	23,4	20,9	15,32	1166	21,534	0,4557	205,39
9	24,8	22,2	16,29	1117	22,427	0,4551	226,45
10	26,0	23,3	17,16	1071	23,145	0,4548	244,91
11	27,0	24,2	17,95	1030	23,728	0,4547	261,03
12	27,9	25,0	18,65	993	24,206	0,4547	275,06
13	28,6	25,7	19,26	961	24,599	0,4548	287,26
14	29,3	26,3	19,81	932	24,926	0,4550	297,86

continua

conclusão

IS = 28

t	h₁₀₀	h_m	d	N	G	f	V
3	13,2	11,7	9,95	1414	13,065	0,4631	70,84
4	16,4	14,6	11,29	1358	16,038	0,4607	107,61
5	19,1	17,0	12,68	1295	18,362	0,4585	143,41
6	21,5	19,2	14,06	1230	20,172	0,4568	176,58
7	23,5	21,0	15,37	1164	21,583	0,4557	206,51
8	25,2	22,6	16,60	1101	22,691	0,4550	233,09
9	26,7	23,9	17,72	1042	23,569	0,4547	256,51
10	28,0	25,1	18,75	988	24,271	0,4547	277,05
11	29,1	26,1	19,66	940	24,841	0,4549	295,04
12	30,0	27,0	20,48	897	25,307	0,4553	310,76
13	30,8	27,7	21,20	860	25,693	0,4557	324,49
14	31,5	28,3	21,84	827	26,015	0,4562	336,48

Onde: IS = índice de sítio, t = idade (anos), h_{100} = altura dominante (m), h_m = altura média (m), d = diâmetro (cm), N = número de árvores/ha, G = área basal/ha, f = fator de forma e V = volume (m³/ha).

Referências

- AGUIRRE, O. A. Compilation of yield tables based on temporary sample plots. **Investigacion Agraria, Sistemas y Recursos Forestales**, Linares, n. 10, p. 61-67, 1991.
- ALVES, A. A. M. **Técnicas de produção florestal: fundamentos, tipificação e métodos**. Lisboa: Instituto Nacional de Investigação Científica, 1982. 331 p.
- FINGER, C. A. G. **Fundamentos de biometria florestal**. Santa Maria: UFSM, FATEC, CEPEF, 1992. 269 p.
- FLORIANO, E. P.; MÜLLER, I.; SCHNEIDER, P. R.; LOPES, L. F. D. **SAS: o essencial da linguagem**. 2. ed. Santa Maria: UFSM, 2007. 211 p.
- HAIR JUNIOR, J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. **Multivariate data analysis**. Upper Sanddle River: Prentice Hall, 1998. 742 p.
- HRADETZKY, J. A model of an integrated yield-table system in modular form. **Mitteilungen der Baden Wurttembergischen Forstlichen Versuchs und Forschungsanstalt**, n. 45, p. 172, 1972.
- MAINARDI, G. L.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. Produção de *Pinus taeda* L. na região de Cambará do Sul, RS. **Ciência Florestal**, v. 6, n. 1, p. 39-52, 1996.
- REINSTORF, L. O. **The influence of stand density on growth of *Pinus elliottii***. Stellenbosch: Forestry University of Stellenbosch, 1970. 62 p. Dissertação de Mestrado.
- SAS (Statistical Analysis System). Cary: SAS Institute, 1999. v. 8, 1242 p.
- SCHNEIDER, P. R. **Betriebswirtschaftliche und ertragskundliche Grundlagen der Forsteinrichtung in Suedbrasilien ein Beispiel von *Pinus elliottii***. Freiburg: Albert-Ludwigs-Universität, 1984. 192 p. Tese de Doutorado.
- SCHNEIDER, P. R. Efeito da intensidade do desbaste sobre o fator K-Magin em povoamentos de *Pinus elliottii* E. In: CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1.; CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7., 1993, Curitiba. **Floresta para o desenvolvimento: política, ambiente, tecnologia e mercado: anais**. São Paulo: SBS; [S.l.]: SBEF, 1993a. v. 2, p. 504-507.
- SCHNEIDER, P. R. **Introdução ao manejo florestal**. Santa Maria: UFSM, 1993b. 348 p.
- SCHNEIDER, P. R.; OESTEN, G.; BRILL, A.; MAINARDI, G. L. Determinação da produção de casca em acácia-negra, *Acacia mearnsii* de Wild. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 1, n. 1, p. 64-75, nov. 1991.

SELLE, G. L. **Influência dos fatores ambientais na classificação de sítio para *Pinus taeda* L. na região de Cambará do Sul, RS, Brasil.** 1993. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

ANEXO

ANEXO 1

Programação para executar o procedimento GLM do SAS:

```
DATA A;
INPUT ua t d h h100 N G V;
lh100=log(h100);
hm2=h**2;
lh1002=lh100**2;
lh1003=lh100**3;
lnhm=log(h);
CARDS; (entrada dos dados na ordem: ua, t, d, h, h100, N, G, V)
PROC GLM;
MODEL lnhm = lh100;
PROC GLM;
MODEL lnhm = lh100 lh1002;
PROC GLM;
MODEL lnhm = lh100 lh1002/noint;
PROC GLM;
MODEL lnhm = lh100 lh1002 lh1003;
PROC GLM;
MODEL lnhm = lh100 lh1002 lh1003/noint;
PROC GLM;
MODEL h = lh100 lh1002;
PROC GLM;
MODEL h = lh100 hm2/noint;
RUN;
```


Saída do procedimento GLM do SAS:

Modelo 1:

Number of observations 66

The GLM Procedure

Dependent Variable: Inhm

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F value	Pr > F
Model	1	12.01431501	12.01431501	4339.88	<.0001
Error	64	0.17717443	0.00276835	-	-
Corrected Total	65	12.19148944		-	-

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Inhm Mean
0.985467	1.753688	0.052615	3.000255

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F value	Pr > F
lh100	1	12.01431501	12.01431501	4339.88	<.0001

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F value	Pr > F
lh100	1	12.01431501	12.01431501	4339.88	<.0001

Parameter	Estimate	Standard Error	T Value	Pr > t
Intercept	-0.151165377	0.04827380	-3.13	0.0026
lh100	1.012901752	0.01537547	65.88	<.0001

Modelo 2:

Number of observations 66

The GLM Procedure

Dependent Variable: Inhm

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F value	Pr > F
Model	2	12.01625220	6.00812610	2160.00	<.0001
Error	63	0.17523724	0.00278154	-	-
Corrected Total	65	12.19148944		-	-

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Inhm Mean
0.985626	1.757862	0.052740	3.000255

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F value	Pr > F
lh100	1	12.01431501	12.01431501	4319.30	<.0001
lh1002	1	0.00193718	0.00193718	0.70	0.4071

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F value	Pr > F
lh100	1	0.08926070	0.08926070	32.09	<.0001
lh1002	1	0.00193718	0.00193718	0.70	0.4071

Parameter	Estimate	Standard Error	T Value	Pr > t
Intercept	0.0355115865	0.22886472	0.16	0.8772
lh100	0.8833985279	0.15594429	5.66	<.0001
lh1002	0.0219370060	0.02628662	0.83	0.4071

Modelo 3:

Number of observations 66

The GLM Procedure

Dependent Variable: Inhm

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F value	Pr > F
Model	2	606.1173316	303.0586658	110641	<.0001
Error	64	0.1753042	0.0027391	-	-
Corrected Total	66	606.2926358		-	-

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Inhm Mean
0.999711	1.744408	0.052337	3.000255

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F value	Pr > F
lh100	1	606.0883156	606.0883156	221271	<.0001
lh1002	1	0.0290160	0.0290160	10.59	0.0018

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F value	Pr > F
lh100	1	7.06807036	7.06807036	2580.41	<.0001
lh1002	1	0.02901602	0.02901602	10.59	0.0018

Parameter	Estimate	Standard Error	T Value	Pr > t
lh100	0.9074337256	0.01786367	50.80	<.0001
lh1002	0.0179504724	0.00551522	3.25	0.0018

Modelo 4:

Number of observations 66

The GLM Procedure

Dependent Variable: Inhm

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F value	Pr > F
Model	3	12.02131339	4.00710446	1459.90	<.0001
Error	62	0.17017604	0.00274477	-	-
Corrected Total	65	12.19148944		-	-

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Inhm Mean
0.986041	1.746205	0.052391	3.000255

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F value	Pr > F
lh100	1	7.06807036	7.06807036	2580.41	<.0001
lh1002	1	0.02901602	0.00193718	0.71	0.4041
lh1003	1	0.00506120	0.00506120	1.84	0.1794

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F value	Pr > F
lh100	1	0.01207197	0.01207197	4.40	0.0401
lh1002	1	0.00466442	0.00466442	1.70	0.1972
lh1003	1	0.00506120	0.00506120	1.84	0.1794

Parameter	Estimate	Standard Error	T Value	Pr > t
Intercept	-1.375986803	1.06403012	-1.29	0.2007
lh100	2.466602744	1.17615234	2.10	0.0401
lh1002	-0.552740768	0.42401008	-1.30	0.1972
lh1003	0.067805856	0.04993371	1.36	0.1794

Modelo 5:

Number of observations 66

The GLM Procedure

Dependent Variable: Inhm

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F value	Pr > F
Model	3	606.1178696	202.0392899	72831.4	<.0001
Error	63	0.17017604	0.00274477	-	-
Corrected Total	66	606.2926358		-	-

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Inhm Mean
0.999712	1.755498	0.052669	3.000255

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F value	Pr > F
lh100	1	606.0883156	606.0883156	218484	<.0001
lh1002	1	0.0290160	0.0290160	10.46	0.0019
lh1003	1	0.0005380	0.0005380	0.19	0.6612

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F value	Pr > F
lh100	1	0.24635972	0.24635972	88.81	<.0001
lh1002	1	0.00007752	0.00007752	0.03	0.8678
lh1003	1	0.00053801	0.00053801	0.19	0.6612

Parameter	Estimate	Standard Error	T Value	Pr > t
lh100	0.9511728458	0.10093297	9.42	<.0001
lh1002	-0.0110450078	0.06607401	-0.17	0.8678
lh1003	0.0047235834	0.01072591	0.44	0.6612

Modelo 6:

Number of observations 66

The GLM Procedure

Dependent Variable: h

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F value	Pr > F
Model	2	4599.232488	2299.616244	891.28	<.0001
Error	63	162.548724	2.580138	-	-
Corrected Total	65	4761.781212	-	-	-

R-Square	Coeff Var	Root MSE	h Mean
0.965864	7.348852	1.606281	21.85758

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F value	Pr > F
lh100	1	4271.330082	4271.330082	1655.47	<.0001
lh1002	1	327.902406	327.902406	127.09	0.0001

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F value	Pr > F
lh100	1	133.6407921	133.6407921	51.80	<.0001
lh1002	1	327.9024063	327.9024063	127.09	<.0001

Parameter	Estimate	Standard Error	T Value	Pr > t
Intercept	39.23967341	6.97039550	5.63	<.0001
lh100	-34.18188855	4.74950163	-7.20	<.0001
lh1002	9.02535306	0.80059598	11.27	<.0001

Modelo 7:

Number of observations 66

The GLM Procedure

Dependent Variable: h

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F value	Pr > F
Model	2	36239.59081	18119.79540	21503.5	<.0001
Error	64	53.92919	0.84264	-	-
Corrected Total	66	36293.52000	-	-	-

R-Square	Coeff Var	Root MSE	h Mean
0.998514	4.199716	0.917956	21.85758

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F value	Pr > F
lh100	1	34126.87731	34126.87731	40499.80	<.0001
hm2	1	2112.71350	2112.71350	2507.24	0.0001

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F value	Pr > F
lh100	1	2692.327641	2692.327641	3195.10	<.0001
hm2	1	2112.713501	2112.713501	2507.24	<.0001

Parameter	Estimate	Standard Error	T Value	Pr > t
lh100	4.094660047	0.07243957	56.53	<.0001
hm2	0.016692621	0.00033337	50.07	<.0001

ANEXO 2

Programação para executar o procedimento Stepwise do SAS:

```
DATA A;
```

```
INPUT ua t d h h100 N G V dg;
```

```
lhm = log(h);
```

```
lhm2 = lhm**2;
```

```
ihm = 1/h;
```

```
ihm2 = 1/(h**2);
```

```
h130 = h - 1.30;
```

```
lhm130 = log(h130);
```

```
lhm1302 = lhm130**2;
```

```
hm2 = h**2;
```

```
ldg = log(dg);
```

```
CARDS; (entrada dos dados na ordem: ua, t, d, h, h100, N, G, V, dg)
```

```
PROC STEPWISE;
```

```
MODEL dg = lhm lhm2 lhm130 lhm1302 hm2 h ihm ihm2;
```

```
MODEL ldg = lhm lhm2 lhm130 lhm1302 hm2 h ihm ihm2;
```

```
RUN;
```


Saída do procedimento Stepwise do SAS:

Modelo 1:

Stepwise Selection: Step 1

Dependent Variable: dg

Variable hm2 Entered: R-Square = 0.9450 and C(p) = 28.9240

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	1	3420.04759	3420.04759	1098.83	<.0001
Error	64	199.19561	3.11243	-	-
Corrected Total	65	3619.24320	-	-	-

Parameter	Estimate	Standard Error	Type II SS	T Value	Pr > F
Intercept	7.50860	0.36690	1303.51768	418.81	<.0001
hm2	0.01783	0.00053780	3420.04759	1098.83	<.0001

Stepwise Selection: Step 2

Variable h Entered: R-Square = 0.9499 and C(p) = 22.7975

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	2	3437.85094	1718.92547	597.01	<.0001
Error	63	181.39226	2.87924	-	-
Corrected Total	65	3619.24320	-	-	-

Parameter	Estimate	Standard Error	Type II SS	T Value	Pr > F
Intercept	10.75074	1.35074	182.39401	63,35	<.0001
hm2	0.02418	0.00261	247.69998	86,03	<.0001
h	-0.30819	0.12394	17.80336	6,18	0,0156

Stepwise Selection: Step 3

Variable lhm130 Entered: R-Square = 0.9601 and C(p) = 7.8433

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	3	3474.99423	1158.33141	497.87	<.0001
Error	62	144.24897	2.32660	-	-
Corrected Total	65	3619.24320	-	-	-

Parameter	Estimate	Standard Error	Type II SS	T Value	Pr > F
Intercept	12.65330	1.30424	218.98501	94.12	<.0001
lhm1302	6.10428	1.52776	37.14329	15.96	<.0002
hm2	0.05695	0.00853	103.70799	44.57	<.0001
h	-3.67087	0.84894	43.50124	18.70	<.0001

Summary of Stepwise Selection

Step	Variable entered	Variable removed	Number vars in	Partial R-square	Model R-square	C.(p)	F value	Pr > F
1	hm2		1	0,9450	0,9450	28.9240	1098.83	<.0001
2	h		2	0,0049	0,9499	22.7975	6.18	0.0156
3	lhm1302		3	0,0103	0,9601	7.8433	15.96	0.0002

Modelo 2:

Stepwise Selection: Step 1

Dependent Variable: Idg

Variable h Entered: R-Square = 0.9495 and C(p) = 18.6304

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	1	9.23965	9.23965	1203.09	<.0001
Error	64	0.49152	0.00768	-	-
Corrected Total	65	9.73116	-	-	-

Parameter	Estimate	Standard Error	Type II SS	T Value	Pr > F
Intercept	1.81062	0.02978	28.38832	3696.42	<.0001
h	0.04405	0.00127	9.23965	1203.09	<.0001

Stepwise Selection: Step 2

Variable hm2 Entered: R-Square = 0.9517 and C(p) = 17.1820

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	2	9.26067	4.63033	620.01	<.0001
Error	63	0.47050	0.00747	-	-
Corrected Total	65	9.73116	-	-	-

Parameter	Estimate	Standard Error	Type II SS	T Value	Pr > F
Intercept	1.91499	0.06879	5.78718	774.91	<.0001
hm2	0.00022276	0.00013278	0.02102	2.81	0.0984
h	0.03367	0.00631	0.21251	28.45	<.0001

Stepwise Selection: Step 3

Variable ihm2 Entered: R-Square = 0.9609 and C(p) = 4.3940

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	3	9.35082	3.11694	508.09	<.0001
Error	62	0.38035	0.00613	-	-
Corrected Total	65	9.73116	-	-	-

Parameter	Estimate	Standard Error	Type II SS	T Value	Pr > F
Intercept	2.31652	0.12190	218.98501	361.14	<.0001
hm2	0.00072386	0.00017768	37.14329	16.60	<.0001
h	0.00500	0.00942	103.70799	0.28	0.5976
ihm2	-12.99516	3.39002	43.50124	14.69	0.0003

Stepwise Selection: Step 4

Variable h Entered: R-Square = 0.9607 and C(p) = 2.6773

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	2	9.34909	4.67454	770.78	<.0001
Error	63	0.38208	0.00606	-	-
Corrected Total	65	9.73116	-	-	-

Parameter	Estimate	Standard Error	Type II SS	T Value	Pr > F
Intercept	2.38007	0.02258	67.36347	11107.5	<.0001
ihm2	0.00081697	0.00002766	5.29091	872.41	<.0001
hm2	-14.42387	2.04765	0.30093	49.62	<.0001

Summary of Stepwise Selection								
Step	Variable entered	Variable removed	Number vars in	Partial R-square	Model R-square	C.(p)	F value	Pr > F
1	h		1	0,9495	0,9495	18.6304	1203.09	<.0001
2	hm2		2	0,0022	0,9517	17.1820	2. 81	0.0984
3	ihm2		3	0,0093	0,9609	4.3940	14. 69	0.0003
4		h	2	0,0002	0,9607	0.9607	0.28	0.5976

Programação para obtenção dos gráficos dos resíduos:

DATA A;

INPUT ua t d h h100 N G V dg;

lhm = log(h);

lhm2 = lhm**2;

ihm = 1/h;

ihm2 = 1/(h**2);

h130 = h - 1.30;

lhm130 = log(h130);

lhm1302 = lhm130**2;

hm2 = h**2;

ldg = log(dg);

CARDS; (entrada dos dados na ordem: ua t d h h100 N G V dg)

PROC GLM;

MODEL dg = hm2; (para o modelo onde a variável dependente é dg e
Model Indg = h, para o modelo cuja variável independente é Indg)

OUTPUT OUT=B R=RESIDUO P=EST;

PROC GPLOT;

PLOT RESIDUO*dg= '*' /VREF=0; (para o modelo dg e Plot
residuo*Indg= '*' /vref=0, quando o modelo for Indg)

RUN;

ANEXO 3

Programa para executar o procedimento Stepwise do SAS:

```
DATA A;
```

```
INPUT ua t d h h100 N G V dg;
```

```
ldg = 1/dg;
```

```
dg2 = dg**2;
```

```
ldg = log(dg);
```

```
ldg2 = ldg**2;
```

```
lnN = log(N);
```

```
CARDS; (entrada dos dados na ordem: ua, t, d, h, h100, N, G, V, dg)
```

```
PROC STEPWISE;
```

```
MODEL N = dg ldg dg2 ldg ldg2;
```

```
MODEL lnN = dg ldg dg2 ldg ldg2;
```

```
RUN;
```

Saída do procedimento Stepwise do SAS:

Modelo 1:

Stepwise Selection: Step 1

Dependent Variable: N

Variable dg Entered: R-Square = 0.6583 and C(p) = 44.0335

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	1	7769671	7769671	123.29	<.0001
Error	64	4033255	63020	-	-
Corrected Total	65	11802926	-	-	-

Parameter	Estimate	Standard Error	Type II SS	T Value	Pr > F
Intercept	1908.79403	78.57044	37194221	590.20	<.0001
dg	-46.33322	4.17281	7769671	123.29	<.0001

Stepwise Selection: Step 2

Variable idg Entered: R-Square = 0.6854 and C(p) = 37.6242

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	2	8089540	4044770	68.62	<.0001
Error	63	3713386	58943	-	-
Corrected Total	65	11802926	-	-	-

Parameter	Estimate	Standard Error	Type II SS	T Value	Pr > F
Intercept	2627.07354	317.55957	4033886	68.44	<.0001
dg	-64.09385	8.62626	3253996	55.21	<.0001
idg	-6137.93874	2634.82113	319869	5.43	0.0230

Stepwise Selection: Step 3

Variable dg2 Entered: R-Square = 0.7127 and C(p) = 31.1481

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	3	8411950	2803983	51.27	<.0001
Error	62	3390976	54693	-	-
Corrected Total	65	11802926	-	-	-

Parameter	Estimate	Standard Error	Type II SS	T Value	Pr > F
Intercept	4648.61314	887.03074	1502113	27.46	<.0001
dg	-180.53246	48.67240	752451	13.76	0.0004
idg	-16465	4953.07848	604365	11.05	0.0015
dg2	1.93324	0.79625	322410	5.89	0.0181

Stepwise Selection: Step 4

Variable Idg Entered: R-Square = 0.8042 and C(p) = 4.7551

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	9491949	2372987	62.64	<.0001
Error	61	2310977	37885	-	-
Corrected Total	65	11802926	-	-	-

Parameter	Estimate	Standard Error	Type II SS	T Value	Pr > F
Intercept	-65297	13121	938236	24.77	<.0001
dg	-1829.71614	311.52529	1306913	34.50	<.0001
idg	143876	30312	853502	22.53	<.0001
dg2	15.44075	2.61522	1320648	34.86	<.0001
Idg	29918	5603.42469	1079999	28.51	<.0001

Summary of Stepwise Selection								
Step	Variable entered	Variable removed	Number vars in	Partial R-square	Model R-square	C.(p)	F value	Pr > F
1	dg		1	0.6583	0.6583	44.0335	123.29	<.0001
2	idg		2	0.0271	0.6854	37.6242	5.43	0.0230
3	dg 2		3	0.0273	0.7127	31.1481	5.89	0.0181
4	1 dg		4	0.0915	0.8042	4.7551	28.51	<.0001

Modelo 2:

Stepwise Selection: Step 1

Dependent Variable: Inn

Variable dg2 Entered: R-Square = 0.7677 and C(p) = 74.2036

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	1	15.35258	15.35258	211.48	<.0001
Error	64	4.64611	0.07260	-	-
Corrected Total	65	19.99869	-	-	-

Parameter	Estimate	Standard Error	Type II SS	T Value	Pr > F
Intercept	7.39492	0.04799	1723.66451	23743.4	<.0001
dg2	-0.00142	0.00009784	15.35258	211.48	<.0001

Summary of Stepwise Selection								
Step	Variable entered	Variable removed	Number vars in	Partial R-square	Model R-square	C.(p)	F value	Pr > F
1	dg2		1	0.7677	0.7677	74.2036	211.48	<.0001

ANEXO 4

Programação para a execução do procedimento Stepwise do SAS:

DATA A;

INPUT ua t d h h100 N G V dg;

LG = LOG(G);

IG = 1/G;

LG2 = LG**2;

IN = 1/N;

N2 = N**2;

H2 = H100**2;

LH = LOG(H100);

CARDS; (entrada dos dados na ordem: ua, t, d, h, h100, N, G, V, dg)

PROC STEPWISE;

MODEL G = H100 N IN H2;

MODEL LG = H100 N IN H2;

RUN;

Saída do procedimento Stepwise do SAS:

Modelo 1:

Stepwise Selection: Step 1

Dependent Variable: G

Variable h100 Entered: R-Square = 0.6247 and C(p) = 1035.973

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	1	3072.75520	3072.75520	106.52	<.0001
Error	64	1846.22965	28.84734	-	-
Corrected Total	65	4918.98485	-	-	-

Parameter	Estimate	Standard Error	Type II SS	T Value	Pr > F
Intercept	3.41401	1.89550	93.58129	3.24	0.0764
h100	0.75394	0.07305	3072.75520	106.52	<.0001

Stepwise Selection: Step 2

Variable N Entered: R-Square = 0.9666 and C(p) = 37.7280

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	2	4754.65620	2377.32810	911.42	<.0001
Error	63	164.32865	2.60839	-	-
Corrected Total	65	4918.98485	-	-	-

Parameter	Estimate	Standard Error	Type II SS	T Value	Pr > F
Intercept	-24.00151	1.22087	1008.12237	386.49	<.0001
h100	1.19110	0.02791	4750.98895	1821.42	<.0001
N	0.01517	0.00059728	1681.90100	644.80	<.0001

Stepwise Selection: Step 3

Variable IN Entered: R-Square = 0.9735 and C(p) = 19.5081

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	3	4788.65583	1596.21861	759.35	<.0001
Error	62	130.32902	2.10208	-	-
Corrected Total	65	4918.98485	-	-	-

Parameter	Estimate	Standard Error	Type II SS	T Value	Pr > F
Intercept	-31.67340	2.20004	435.69006	207.27	<.0001
h100	1.15086	0.02698	3825.37954	1819.81	<.0001
N	0.01998	0.00131	487.56593	231.94	<.0001
IN	2718.40780	675.93079	33.99963	16.17	0.0002

Stepwise Selection: Step 4

Variable H2Entered: R-Square = 0.9791 and C(p) = 5.0000

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	4816.41399	1204.10350	716.09	<.0001
Error	61	102.57085	1.68149	-	-
Corrected Total	65	4918.98485	-	-	-

Parameter	Estimate	Standard Error	Type II SS	T Value	Pr > F
Intercept	-43.12706	3.43781	264.62477	157.38	<.0001
h100	1.63965	0.12270	300.27544	178.58	<.0001
N	0.02356	0.00147	433.85848	258.02	<.0001
IN	5125.05481	846.35882	61.65696	36.67	<.0001
H2	-0.01088	0.00268	27.75816	16.51	0.0001

Summary of Stepwise Selection								
Step	Variable entered	Variable removed	Number vars in	Partial R-square	Model R-square	C.(p)	F value	Pr > F
1	h100		1	0.6247	0.6247	1035.97	106.52	<.0001
2	N		2	0.3419	0.9666	37.7280	644.80	<.0001
3	IN		3	0.0069	0.9735	19.5081	16.17	0.0002
4	H2		4	0.0056	0.9791	5.0000	16.51	0.0001

Modelo 2:

Stepwise Selection: Step 1

Dependent Variable: LG

Variable h100 Entered: R-Square = 0.6107 and C(p) = 557.3082

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	1	8.58220	8.58220	100.41	<.0001
Error	64	5.47033	0.08547	-	-
Corrected Total	65	14.05253	-	-	-

Parameter	Estimate	Standard Error	Type II SS	T Value	Pr > F
Intercept	2.01651	0.10318	32.64806	381.97	<.0001
h100	0.03984	0.00398	8.58220	100.41	<.0001

Stepwise Selection: Step 2

Variable N Entered: R-Square = 0.8746 and C(p) = 139.4460

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	2	12.29083	6.14541	219.77	<.0001
Error	63	1.76170	0.02796	-	-
Corrected Total	65	14.05253	-	-	-

Parameter	Estimate	Standard Error	Type II SS	T Value	Pr > F
Intercept	0.72914	0.12641	0.93037	33.27	<.0001
h100	0.06037	0.00289	12.20593	436.50	<.0001
N	0.00071219	0.00006184	3.70863	132.62	<.0001

Stepwise Selection: Step 3

Variable H2 Entered: R-Square = 0.8981 and C(p) = 104.1482

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	3	12.62028	4.20676	182.10	<.0001
Error	62	1.43225	0.02310	-	-
Corrected Total	65	14.05253	-	-	-

Parameter	Estimate	Standard Error	Type II SS	T Value	Pr > F
Intercept	0.36639	0.14976	0.13827	5.99	0.0173
h100	0.10118	0.01112	1.91236	82.78	<.0001
N	0.00065845	0.00005798	2.97908	128.96	<.0001
H2	-0.00084683	0.00022424	0.32945	14.26	0.0004

Stepwise Selection: Step 4

Variable IN Entered: R-Square = 0.9617 and C(p) = 5.0000

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	13.51372	3.37843	382.48	<.0001
Error	61	0.53881	0.00883	-	-
Corrected Total	65	14.05253	-	-	-

Parameter	Estimate	Standard Error	Type II SS	T Value	Pr > F
Intercept	-1.96003	0.24917	0.54658	61.88	<.0001
h100	0.15789	0.00889	2.78448	315.24	<.0001
N	0.00166	0.00010629	2.16692	245.32	<.0001
IN	616.93556	61.34238	0.89344	101.15	<.0001
H2	-0.00221	0.00019413	1.14811	129.98	<.0001

Summary of Stepwise Selection

Step	Variable entered	Variable removed	Number vars in	Partial R-square	Model R-square	C.(p)	F value	Pr > F
1	h100		1	0.6107	0.6107	557.308	100.41	<.0001
2	N		2	0.2639	0.8746	139.446	132.62	<.0001
3	H2		3	0.0234	0.8981	104.148	14.26	0.0004
4	IN		4	0.0636	0.9617	5.0000	101.15	0.0001

ANEXO 5

Programação para executar o procedimento Stepwise do SAS:

DATA A;

INPUT NA FF D H;

D2 = D**2;

ID= 1/D;

ID2= 1/D2;

H2= H**2;

IH= 1/H;

IH2= 1/H2;

LH = LOG(H);

LD = LOG(D);

DH = D*H;

LDH = LOG(DH);

LFF = LOG(FF);

CARDS; (Local de inserção dos dados na ordem: na, ff, d, h)

PROC STEPWISE;

MODEL FF = D D2 ID ID2 H H2 IH IH2 LH LD DH LDH;

MODEL LFF = D D2 ID ID2 H H2 IH IH2 LH LD DH LDH;

RUN;

Saída do procedimento Stepwise do SAS:

Modelo 1:

Stepwise Selection: Step 1

Dependent Variable: FF

Variable D Entered: R-Square = 0.1196 and C(p) = 11.7870

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	1	0.00476	0.00476	7.88	0.0068
Error	58	0.03501	0.00060359	-	-
Corrected Total	59	0.03976	-	-	-

Parameter	Estimate	Standard Error	Type II SS	T Value	Pr > F
Intercept	0.49464	0.01326	0.84010	1391.82	<.0001
D	-0.00176	0.00062635	0.00476	7.88	0.0068

Stepwise Selection: Step 2

Variable DH Entered: R-Square = 0.1844 and C(p) = 8.7988

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	2	0.00733	0.00367	6.44	0.0030
Error	57	0.03243	0.00056899	-	-
Corrected Total	59	0.03976	-	-	-

Parameter	Estimate	Standard Error	Type II SS	T Value	Pr > F
Intercept	0.52769	0.02017	0.38927	684.14	<.0001
D	-0.00859	0.00327	0.00393	6.91	0.0110
DH	0.00018767	0.00008820	0.00258	4.53	0.0377

Summary of Stepwise Selection								
Step	Variable entered	Variable removed	Number vars in	Partial R-square	Model R-square	C.(p)	F value	Pr > F
1	D		1	0.1196	0.1196	11.7870	7.88	0.0068
2	DH		2	0.0648	0.1844	8.7988	4.53	0.0377

Modelo 2:

Stepwise Selection: Step 1

Dependent Variable: LFF

Variable D Entered: R-Square = 0.1136 and C(p) = 10.8788

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	1	0.02168	0.02168	7.43	0.0085
Error	58	0.16925	0.00292	-	-
Corrected Total	59	0.19094	-	-	-

Parameter	Estimate	Standard Error	Type II SS	T Value	Pr > F
Intercept	-0.70422	0.02915	1.70281	583.52	<.0001
D	-0.00375	0.00138	0.02168	7.43	0.0085

Stepwise Selection: Step 2

Variable DH Entered: R-Square = 0.1771 and C(p) = 8.0842

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	2	0.03382	0.01691	6.13	0.0039
Error	57	0.15712	0.00276	-	-
Corrected Total	59	0.19094	-	-	-

Parameter	Estimate	Standard Error	Type II SS	T Value	Pr > F
Intercept	-0.63248	0.04441	0.55922	202.87	<.0001
D	-0.01857	0.00719	0.01840	6.68	0.0124
DH	0.00040729	0.00019413	0.01213	4.40	0.0403

Summary of Stepwise Selection

Step	Variable entered	Variable removed	Number vars in	Partial R-square	Model R-square	C.(p)	F value	Pr > F
1	D		1	0.1136	0.1136	10.8788	7.43	0.0085
2	DH		2	0.0635	0.1771	8.0842	4.40	0.0403