

# **COMPARAÇÃO DE MODELOS DESCRIPTIVOS DA DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA EM UMA FLORESTA TROPICAL**

**Paulo Luiz Contente de Barros\***  
**Sebastião do Amaral Machado\*\***  
**Dietrich Burger\*\***  
**Joésio Deoclécio Pierin Siqueira\*\***

## **SUMMARY**

*The objectives of this research were to test several mathematical models which express the diameter distribution, as well as to verify the influence of the diameter class interval in the fitness of the tested models. The models were applied individually for all species in the area, for the most frequent species and for the commercial species.*

*The data for this research came from the National Forest of Tapajós, located in the county of Santarém, state of Pará, Brazil. A total number of 11.173 trees with diameter o'reast height above 15 centimeters, and totalling 167 species were measured.*

*The following mathematical models were tested to describe the diameter distribution of the area:*

*Two negative exponential equations having the diameter and the square of the diameter as the independent variable, constituting respectively the models 1 and 2; other tested models were: Potential of Mervart, hyperbolic of Pierlot, Polynomial of Goff West, Weibull function and Beta function.*

*The sum of squares of residual was used as a criterium to select the equations by group of species, and by class intervals. The probability associated with the number of runs of residuals, which gives the probability that the observed number of signs changes in the plot of residuals occurred randomly, was also used.*

*Following these criteria, among the seven tested models, to represent the relationship of the number of trees by 100 ha on diameter classes, the Beta function, the polynomial and the exponential models presented the best results in fitting such relationship.*

*The Weibull function also seems to estimate very well the percentages of the number of trees smaller or equal to a specified diameter of the stand.*

*In comparing class intervals the models in general presented the best results for the 10 cm class interval. The precision of the equations decreased with the decreasing of the class intervals.*

## **1. INTRODUÇÃO**

A Amazônia devido sua grande extensão apresentando um grande número de espécies por unidade de área com diferentes tamanhos e idades, constitui uma área polêmica, e muito pouco se sabe sobre a estrutura diamétrica que representa o resultado do desenvolvimento dessas florestas, impossibilitando assim, um planejamento adequado para manejo.

Desde o fim do último século, quando em 1898 o francês FRANÇOIS DE LIO-COURT\* estabeleceu o conceito original sobre distribuições de diâmetros em florestas multianas, uma série de modelos matemáticos capazes de descrever a es-

trutura dos povoamentos foram desenvolvidos.

O objetivo principal deste trabalho, é testar equações que descrevam a estrutura diamétrica atual da floresta estudada, bem como selecionar entre os modelos testados aqueles mais adequados para serem utilizados em florestas tropicais pluviais da Amazônia, utilizando-se um intervalo de classe apropriado que proporcione ganho de precisão nos ajustes pelos modelos, para os grupos de todas as espécies, para as espécies frequentes e para as espécies comerciais.

Este trabalho constitui de um extrato da Dissertação apresentada pelo primeiro autor junto ao Curso de Pós-Gra-

\* Engenheiro Florestal, M.Sc., Professor do Curso de Engenharia Florestal da Faculdade de Ciências Agrárias do Pará.

\*\* Engenheiros Florestais, Ph.Ds. e M.Sc, Professores do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná.

duação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná para a obtenção do título de "Mestre em Ciências". Os demais autores foram respectivamente orientador e co-orientadores do trabalho original.

## 2. MATERIAL

A área em estudo, "Floresta Nacional do Tapajós" localiza-se no Município de Santarém-PA, iniciando no Km 62 da Rodovia BR-165 e estendendo-se no sentido Norte-Sul até o Km 72. Esta área apresentou uma ocorrência absoluta de 167 espécies levantadas à partir de um diâmetro mínimo de 15 cm.

## 3. DADOS CLIMATOLÓGICOS

O clima da região, enquadra-se no grupo A, segundo a classificação de Köppen, citado por LIMA & SANTOS<sup>6</sup>. As temperaturas médias anuais atingem valores na faixa de 29°C a 34°C, enquanto que as mínimas ficam na faixa de 16°C a 24°C.

O valor médio anual da Umidade relativa do ar da Região Amazônica chega a atingir até 91%, enquanto os índices pluviométricos anuais oscilam entre 1000 mm a 36000 mm.

A caracterização e descrição das unidades de mapeamento encontrados na área do POLO XI — Tapajós pode ser encontrada em detalhes em QUEIROZ<sup>8</sup> e LIMA & SANTOS<sup>6</sup>.

A unidade genética "Latosol Amarelo", é a de maior ocorrência na área. Caracteriza-se por apresentar perfil profundo de 1,50 metros a mais de espessura, assentados sobre arenitos e argelitos. Tratam-se de solos envelhecidos, ácidos e fortemente ácidos e de boa drenagem.

Quanto ao aspecto tipológico QUEIROZ<sup>8</sup> cita que JEAN DUBOIS classificou

as matas do planalto do Baixo Tapajós segundo o aspecto fisionômico em três grandes grupos.

- 1 — MATAS ZONAIAS CLIMAX
- 2 — MATAS ZONAIAS PARACLIMAX
- 3 — MATAS TIPO ZONAIAS

## 4. MÉTODOS

Os dados de diâmetros a partir de 15 cm das 167 espécies levantadas e devidamente codificadas foram transformados para uma área de 100 ha, tomada como área base para esta pesquisa.

Grupo I : TODAS AS ESPÉCIES  
Grupo II : ESPÉCIES FREQUENTES  
Grupos III : ESPÉCIES COMERCIAIS

As relações das Espécies dos diferentes grupos, bem como a caracterização de cada grupo de espécies podem ser encontrados em BARROS<sup>2</sup>.

## 5. MODELOS PARA DESCREVER A DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA

Os modelos matemáticos utilizados para descrever a estrutura diamétrica através da relação do número de árvores por 100 ha com o diâmetro tomado a 1,30 m acima do nível do solo (DAP), de um modo geral diferem em forma, embora todos possam descrever funções decrescentes.

### 5.1. Modelos Logarítmicos

Para esses modelos utilizou-se o logaritmo decimal e em todos os modelos o símbolo  $y$ , representa o número de árvores por 100 ha. O símbolo  $d$ , representa os diâmetros à altura do peito. O símbolo  $b_i$ , variando de 0 à m, representa os coeficientes a serem estimados.

\* DE LIOCOURT, F. L'aménagement de sapinières, Bull. de la Société Forestière, Franche — Cmté à Belfort. Besançon, 1898.

\* Especialista em desenvolvimento do Trópico Úmido e Coordenador do IICA Trópico.

### 5.1.1. Modelo 1: Exponencial, Tipo I, Meyer

LOETSCH et al<sup>7</sup> citam que a função exponencial aplicada por MEYER em 1933, baseando-se na teoria de DE LIOCOURT, é representada pela função de densidade.

$$y_i = A \cdot 10^{-Bd_i} \quad (1.0)$$

logaritmizando-se a equação (1) temos:

$$\log y = \log b_0 + b_1 d \quad (1.1)$$

Os coeficientes A e B da equação (1) foram calculados pela equação (1.1).

Pela integração da equação (1) o número de árvores por classe de diâmetros não é representado por retângulos e sim por blocos, em que os limites superiores são secções da curva da distribuição, acarretando assim uma super estimativa do número de árvores por classe de diâmetro em virtude do decréscimo da freqüência dos diâmetros do limite superior para o inferior de cada bloco não ser linear. Devido a este fato, LOETSCH et al<sup>7</sup> apresenta o cálculo de um fator de correção dos coeficientes A e B da equação (1.0) que foi estimado pela seguinte equação:

$$F_c = \frac{B'(w/2)}{(W \cdot B') / (e^{-(B'(w/2))})} \quad (1.2)$$

onde  $B'$  foi obtido por

$$B' = | b_1 / \log e | \quad (1.3)$$

em que:

$$b_1 = \text{Coeficiente angular da equação} \quad (1.0)$$

$$\log e = \text{Constante (0,4342944)}$$

$$W = \text{Amplitude de classe de diâmetro}$$

$$e = \text{Base do logarítmico natural (2,7182818)}$$

Uma vez determinado o valor de F efetuou-se a correção do coeficiente A.

$$A' = 10^{\frac{(\log b_0 - \log w)}{c}} \cdot F \quad (1.4)$$

onde o valor de  $\log b_0$  é obtido da equação(1.1) e W é a amplitude de classe.

O número de árvores por 100 ha (y) por classe de diâmetro (W) foi estimado pela equação:

$$y = W \cdot A' \cdot e^{-B'd} \quad (1.5)$$

A razão de decréscimo de freqüência entre as sucessivas classes de diâmetro é estimada por:

$$q = e^{-B'w}$$

que é constante para distribuições descritas por este modelo.

$\rightarrow B'd$

A expressão A' e  $\rightarrow B'd$  se aproxima a zero na medida que aumentam os diâmetros. A influência do coeficiente "A" na expressão é maior para a classes de menores diâmetros.

O coeficiente "B" indica a taxa de crescimento da função, sendo também responsável pela inclinação da curva.

### 5.1.2. Modelo 2: Exponencial do Tipo II, Meyer

Neste modelo a variável independente é o diâmetro ao quadrado conforme equação (2)

$$y_i = A \cdot e^{-Bd_i^2} \quad (2.0)$$

linearizando-se tem-se:  $\log Y_i = \log b_0 + b_1 d^2$  (2.1)

Este modelo difere basicamente do modelo 1 no cociente entre o número de árvores por classes de diâmetros que não é constante, pois aumenta com o acréscimo dos diâmetros, resultando distribuições não lineares sobre papel semi-logarítmico.

### 5.1.3. Modelo 3: Potencial, Mervart

A equação (3.0) construída por MERVART\* citado por WADSWORTH<sup>9</sup> ajustou-se melhor às distribuições dos dados da Nigéria quando comparado com o ajuste da equação (3.2) que é basicamente a equação (1.0) de MEYER.

$$y_i = A \cdot d_i^{-B} \quad (3.0)$$

logaritmizando-se temos:

$$\log y_i = \log b_0 + b_1 \log d_i \quad (3.1)$$

$$y_i = A \cdot B^{di} \quad (3.2)$$

### 5.1.4. Modelo 4: Hiperbole, Pierlot

Este modelo utilizado por MERVART para ajustar os dados de florestas altas da Nigéria ajustou melhor às distribuições que não apresentaram um decréscimo de freqüência constante.

$$y_i = [( (d_i - d_o) / 10 )^{A+Bd_i} - 1] + y_o \quad (4.0)$$

Os coeficientes A e B foram estimados pelo processo dos mínimos quadrados pela equação.

$$\log \left( \frac{d_i - d_o}{y_i - y_o} + 1 \right) = A + B d_i \quad (4.1)$$

\* MERVART, J.O. Frequency curves of the growing stock in the Nigerian high forest. *Nigerian J.For.*, 2 (1) : 7-15, 1972.

onde:

do = Centro da classe inicial dos diâmetros

yo = Número de árvores na classe inicial dos diâmetros

di = Centro da classe i dos diâmetros

yi = Número de árvores na classe i dos diâmetros

A,B = Coeficientes a serem estimados

Este modelo força o ajuste do primeiro ponto de dados numa tentativa de ajustar os demais pontos.

### 5.1.5. Modelo 5: Polinomial, Goff & West

GOFF & WEST<sup>5</sup> sugeriram este modelo devido ao fato de as razões de crescimento e mortalidade em povoamentos naturais de estrutura uniforme não serem uniformemente distribuídas para o número de árvores por classe de diâmetros

$$\log yi = b_0 + b_1 di + b_2 di^2 + b_3 di^3 + \dots + \frac{b_m}{n} di^m \quad (5.0)$$

O critério utilizado para selecionar o grau apropriado da equação foi a correlação simples das variáveis independentes "d, d<sup>2</sup>, d<sup>3</sup>, d<sup>4</sup>, d<sup>5</sup>" com a variável dependente "log y". As variáveis independentes que apresentaram uma correlação simples maior ou igual a 0,95 com a variável dependente foram selecionadas para constituir a equação escolhida para representar a distribuição diamétrica do povoamento, nos diferentes intervalos de classes por grupo de espécies.

## 5.2. Modelos não logarítmicos

### 5.2.1. Modelo 6: Função Weibull

A função de distribuição acumulativa descrita por Weibull é representada pela equação:

$$F(d) = 1 - \exp [ - (d / b)^c ] \quad (6.0)$$

onde:

F(d) = Porcentagem do nº de árvores menor ou igual a um diâmetro "d" especificado

c,b = Coeficientes a serem estimados

BAILEY & DELL<sup>1</sup> apresentam a função Weibull como um modelo para descrever a distribuição diamétrica. Uma maior aplicação desta função é obter percentagem do povoamento até um diâmetro especificado do povoamento.

Os mesmos autores apresentam vários métodos para a estimativa dos coeficientes c e b, mostrando que a estimativa desses coeficientes utilizando a probabilidade máxima que requer um processo iterativo apresenta melhor precisão. A estimativa dos coeficientes baseada nos percentuais também apresenta bons resultados além de ser de fácil computação.

Utilizando dois percentuais r e t as estimativas dos coeficientes podem ser calculados por:

$$\hat{c} = \ln [\ln(1 - r) / \ln (1 - t)] / \ln [X_r/X_t] \quad (6.1)$$

$$\hat{b} = \exp \{[\ln(X_r) - \ln(X_t) . \ln(-\ln(1 - r)) / \ln(-\ln(1 - t))] / [1 - \ln(-\ln(1 - r))] \\ \ln(-\ln(1 - t))\} \quad (6.2)$$

onde:

$$0 < r < 1; 0 < t < 1$$

$X_r$  = Diâmetro até o qual ocorrem r porcentos das árvores.

$X_t$  = Diâmetro até o qual ocorrem t porcentos das árvores.

DUBEY citado por BAILEY & DELL<sup>1</sup> também apresentam a equação (6.3) para a estimativa de "b" utilizando o percentil 0,8 quando o coeficiente C já é conhecido.

$$\hat{b} = \exp [\ln (X_{0,8}) - \ln (-\ln (0,2)) / c] \quad (6.3)$$

Para a escolha dos percentis "r" e "t" para o cálculo do coeficiente "c", após testados vários valores verificou-se que o percentil próximo à freqüência relativa acumulada da primeira classe diamétrica para o valor "t" o percentil igual a 0,99 para "r" eram mais apropriados para a estimativa de C.

Conhecidos os valores "r" e "t" foram determinados os valores de  $X_r$  e  $X_t$  correspondentes.

O valor de "b" foi estimado pela equação (6.3) após a estimativa do valor do coeficiente "c".

### 5.2.2. Modelo 7: Função Beta

A função Beta ajustada para a freqüência observada foi definida como:

$$f(d) = c(d - a)^{\alpha} (b - d)^{\delta} \quad (7.0)$$

$f(d)$  = nº de árvores por 100 ha por classes de diâmetros

c = representa uma constante que constitui um fator de correção da escala das ordenadas de maneira que a área total sob a curva seja igual a freqüência observada.

a,b = limites superior e inferior da função Beta respectivamente que representa os limites da variável "d", e são constantes para uma distribuição particular.

$\bar{d}$  = Diâmetros médios por classe obtidas mediante correção dos centros de classes d

$\alpha, \delta$  = expoentes a serem estimados

Os diâmetros médios das classes foram obtidos pela equação.

$$\bar{d}_i = (d_i - D_i) \quad (7.1)$$

A diferença "D" foi obtida pela equação

$$D_i = \frac{1}{6} (W \cdot \Delta y_i) / y_i \quad (7.2)$$

onde:

$\Delta y_i$  foi calculado por:

$$\Delta y_i = (y_{i-1} - y_{i+1}) / 4 \quad (7.3)$$

Os valores de  $\Delta y_i$  para a primeira e última classes foram determinadas pelas equações (7.4) e (7.5) respectivamente.

$$\Delta y_1 = (y_1 - y_2) / 2 \quad (7.4)$$

$$\Delta y_k = y_k / 2 \quad (7.5)$$

Os valores dos coeficientes a e b foram determinados por:

$$a = d_1 - \frac{W}{2} \quad (7.6)$$

$$b = (d_k + \frac{W}{2}) + E \quad (7.7)$$

onde:

$y_i$  = nº de árvores por classe de diâmetro i

$y_k$  = nº de árvores na última classe de diâmetros

$d_k$  = diâmetro médio da última classe de diâmetros

W = amplitude de classe

$\Delta y_i$  = diferença entre o nº de árvores de duas classes de diâmetros adjacentes

E = extensão (aumento do valor "b")

Sendo o parâmetro  $s$  função da média e variância, estimou-se os valores relativos pelas equações (7.8) e (7.10).

$$\bar{d}_{\text{real}} = (\bar{d} - a) / (b - a) \quad (7.8)$$

$$\bar{d} = \sum_{i=1}^k \bar{d}_i \cdot y_i / \sum_{i=1}^k y_i \quad (7.9)$$

$$S^2_{\text{real}} = (S^2 / (b - a)^2)$$

$$S^2 = (\sum_{i=1}^k d_i^2 \cdot y_i - (\sum_{i=1}^k d_i \cdot y_i)^2 / \sum_{i=1}^k y_i) / \sum_{i=1}^k y_i \quad (7.11)$$

onde:

$\bar{d}$  = Média aritmética dos diâmetros médios das classes

$S^2$  = Variância dos diâmetros médios das classes.

Os expoentes da função Beta foram estimados pelas fórmulas:

$$\delta = [\bar{u}_{real} (1 - \bar{d}_{real})^2 / S^2_{real}] + [\bar{d}_{real} - 2] \quad (7.12)$$

$$\alpha = [\bar{d}_{real} / (1 - \bar{d}_{real})] . (\delta + 1) - 1 \quad (7.13)$$

LOETSCH et al.<sup>7</sup> enfatizam que as estimativas do número de árvores nas classes de maior diâmetro são sub-estimadas em virtude do estreitamento da distribuição em função do valor "b". Para isso, seis valores de "b" foram testados com diferentes extensões "E".

Os valores das extensões foram limitados para 1/4 da amplitude total ( $b - a$ ), a qual foi dividida por seis, proporcionando o ajuste de distribuições. A função Beta considerada como ótima para descrever a distribuição foi aquela que apresentou menor soma dos quadrados dos resíduos para um determinado valor de "b".

## 6. CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO DOS AJUSTES DOS MODELOS

Embora tenham sido estimados alguns valores estatísticos para os modelos logarítmicos, tais como: valor de F,  $R^2$ ,  $sy.x$  e  $sy.x\%$ , o critério final utilizado na seleção da equação foi a soma dos quadrados dos resíduos, juntamente com a probabilidade associada (PA)\*.

Para a determinação da probabilidade associada foram definidos os elementos  $N_1$ ,  $N_2$  e  $U$  segundo a metodologia apresentada por DRAPER & SMITH<sup>4</sup>, onde  $U$  é o número de sucessões de resíduos com o mesmo sinal,  $N_1$  e  $N_2$  número de elementos de sinais positivos e negativos respectivamente ou vice-versa.

Uma vez determinado os valores das probabilidades associadas através da tabela "Distribution of the total number of runs  $u$  in samples of size  $N_1$ ,  $N_2$ ", em BEYER<sup>3</sup>, rejeitou-se a hipótese de que a distribuição de mudanças de sinais dos resíduos tenha ocorrido devido ao acaso, isto é, sem tendência, se o valor encontrado para "PA" foi menor, igual ou ainda próximo a um valor crítico de 0,05.

## 7. RESULTADO E DISCUSSÃO

Os modelos apresentados na metodologia foram testados para três diferentes grupos de espécies, utilizando intervalos de classes de 10 cm, 7 cm, 5 cm para cada grupo. Os resultados foram apresentados em forma mais detalhada em tabelas e gráficos no trabalho de BARROS<sup>2</sup>. Neste artigo são apresentados apenas os resultados referentes ao grupo de todas as espécies agrupadas em intervalos de classes de 10 cm e o gráfico do modelo 5 que melhor se ajustou para esses dados, bem como um quadro resumo dos resultados das precisões dos ajustes em todos os grupos de espécies para os diferentes intervalos de classe.

No quadro 01 pode ser visto que todos os modelos apresentaram um ajuste aceitável, considerando-se que todos os

valores de F são maiores do que os valores críticos tabelados e os valores de  $R^2$  são todos acima de 0,75 considerados como alto. No entanto no quadro 03 apenas os modelos 1 e 5 apresentam uma distribuição dos grupos de resíduos ao acaso, como mostram os valores da probabilidade associada "PA" maiores do que 0,05, que é o valor crítico para este teste.

No quadro 02 são apresentados os resultados dos modelos 6 e 7 com seus respectivos valores dos percentis utilizados para a estimativa dos coeficientes  $c$  e  $b$  da função Weibull, bem como os valores dos coeficientes  $a$  e  $b$  da equação do modelo 7 que apresentou a menor soma dos quadrados dos resíduos entre os vários valores de "b", testados.

\* Entende-se por probabilidade associada a probabilidade da ocorrência de um determinado número de sucessões de resíduos com o mesmo sinal (Verifique DRAPER & SMITH<sup>4</sup>).

**QUADRO 01 — Modelos logarítmicos para estimativa do número de árvores/100 ha e por classes de diâmetros de 10 cm, para o grupo I (todas as espécies).**

Nº	Modelos	Coeficientes	G.L.	F	R <sup>2</sup>	Sxy	Xxy%
1	$\log y = \log b_0 + b_1 d$	$\log b_0 = 4,1501599$ $b_1 = -0,0229401$	1/14	2164,30	0,9930	0,0909	4,61
2	$\log y = \log b_0 + b_1 d^2$	$\log b_0 = 3,26933$ $b_1 = -0,0001164$	1/14	415,00	0,9670	0,2049	10,39
3	$\log y = \log b_0 + b_1 \log d$	$\log b_0 = 9,1965473$ $b_1 = -3,7841935$	1/14	126,80	0,9000	0,3576	18,14
4	$\log(y + 1) = b_0 + b_1 d$	$b_0 = 1,13004 \text{ E-}03$ $b_1 = -9,00311 \text{ E-}05$	1/14	3736,60	0,9960	0,0002716	3,88
5	$\log y = b_0 + b_1 d + b_2 d^2 + b_3 d^3$	$b_0 = 4,177057886$ $b_1 = -0,0274742721$ $b_2 = 8,79542 \text{ E-}05$ $b_3 = -3,94387 \text{ E-}07$	3/12	1063,20	0,9962	0,07499	3,80

**QUADRO 02 — Função de distribuição acumulativa Weibull e Função Beta para estimativa da porcentagem do número de árvores/100 ha menor ou igual a um diâmetro “d” especificado e número de árvores/100 ha e por classes de diâmetros de 10 cm respectivamente, para o grupo I (todas as espécies).**

Nº	Modelo	Coeficientes	Para os valores de:						
			t	r	X <sub>t</sub>	X <sub>r</sub>	X <sub>0,80</sub>	a	b
6	$F(d) = 1 - \exp \{ -(d/b)^c \}$	$c = 1,346$ $b = 30,2$	0,41	0,99	20,0	100,0	43,0	—	—
7	$f(d) = c(d-a)^{\alpha} (b-d)^{\gamma}$	$c = 2,09831 \text{ E-}11$ $\alpha = -0,2058104$ $\gamma = 6,3116508$	—	—	—	—	—	15	215

**QUADRO 03 — Valores das estimativas do número de árvores/100 ha por classes de diâmetros de 10 cm para o grupo I (todas as espécies) pelos modelos em estudo. Valores das somas dos quadrados dos resíduos e probabilidade associada a distribuição dos resíduos.**

Classes	Freq.Obs.	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 6	Modelo 7
15- 25	4620	4856	1670	18758	4620	4567	4881	4408
25- 35	2518	2864	1461	4044	1850	2639	2145	2511
45- 55	941	996	951	585	1095	1562	1552	1582
45- 55	941	996	951	585	741	942	1039	1021
55- 65	384	346	500	164	533	576	657	652
65- 75	384	346	500	164	397	355	396	410
75- 85	221	204	334	99	299	219	230	254
85- 95	140	120	212	63	225	135	129	151
95-105	90	71	127	42	167	82	70	88
105-115	40	42	73	30	120	49	37	49
115-125	27	25	39	21	80	29	19	25
125-135	19	15	20	16	47	17	10	12
135-145	8	9	10	12	18	9	5	6
145-155	5	5	4	9	—8	5	2	2
155-165	4	3	2	7	—31	3	1	1
> 165	1	2	1	6	—51	1	0	0
Som. Quad. Res.	189850	10027296	202547278	773782	20204	230456	62945	
P.A.	0,2308*	0,0220	0,0350	0,000979	0,7855*	—	0,047	

A equação de regressão pela qual foram estimados os coeficientes A e B do modelo 4 apesar de apresentar um dos mais altos valores de  $R^2$  e um baixa valor de  $sy.x\%$ , visto no quadro 01, apresenta a terceira maior soma dos quadrados dos resíduos e valor da "PA" menor que 0,05 demonstrando a tendenciosidade na distribuição dos grupos de resíduos, além de apresentar estimativas negativas do número de árvores nas últimas classes, conforme mostra o quadro 03. Isto presume-se que seja devido a grande amplitude de variação dos diâmetros, que em virtude do ajuste forçado pelo modelo, do primeiro ponto de dados na tentativa de ajustar os demais pontos da distribuição.

Considerando-se os valores de  $R^2$  e  $sy.x\%$  no quadro 01 e os valores da soma dos quadrados dos resíduos, bem como o valor da "PA" para o modelo 5 em comparação com os demais modelos, observa-se que este modelo é o que apresenta o melhor ajuste conforme mostram as figuras 01 e 02. A figura 02 plotado em papel semi-log apresentou uma curva de forma sigmoidal conforme sugerida por GOFF & WEST<sup>6</sup>.

Observando-se o quadro 04, verifica-se que os modelos 2, 3 e 4 apresentaram as maiores somas dos quadrados dos resíduos, ocorrendo também uma tendenciosidade na distribuição dos grupos de resíduos como mostra a "PA" com excessão do modelo 2 no grupo das espécies frequentes agrupadas em classes de 7 cm, que apresentou um valor de 0,052 maior do que o valor crítico de 0,05; mesmo assim devido à proximidade do valor da "PA" ao valor crítico, lança-se dúvida sobre a utilização deste modelo.

No grupo de Todas as Espécies apenas os modelos 1 e 5 apresentam uma distribuição dos resíduos sem tendência em todos os intervalos de classes. O modelo 7 apresentou-se muito bem apenas para o intervalo de classe de 7 cm neste grupo.

O modelo 6 (função Weibull) apresentou estimativas muito boas das porcentagens do número de árvores até um diâmetro especificado para todos os gru-

pos de espécies nos três intervalos de classes consideradas, o que justifica testar este modelo em futuras pesquisas em outras áreas de florestas tropicais.

No quadro 04, observa-se que para o grupo de todas as espécies à medida que diminuem os intervalos de classes de diâmetros, diminuem a precisão dos ajustes dos modelos como pode ser notado pelos valores do  $R^2$  e  $sy.x\%$  dos modelos logarítmicos.

## 8. CONCLUSÕES

Os modelos 1, 5 e 7 são os que de um modo geral apresentaram os melhores resultados e portanto devem sempre serem testados para estudos em florestas com características similares à floresta estudada na presente pesquisa.

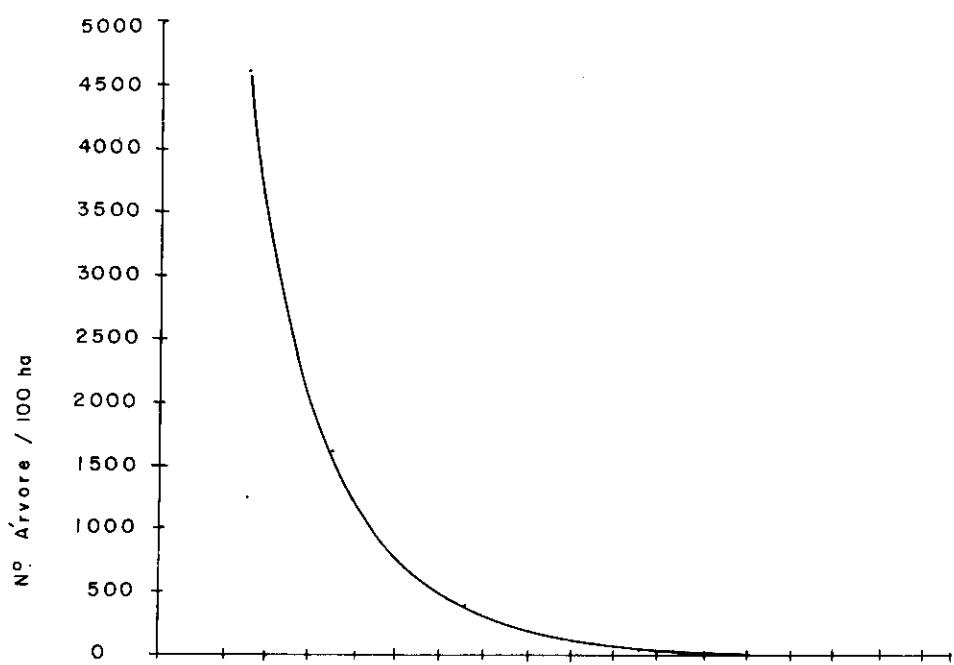
Embora os modelos 2, 3 e 4 não tenham apresentado ajustes satisfatórios nesta pesquisa, não se pode deixar de testá-los para dados provenientes de outros tipos de florestas.

Em se tratando de estimativas de porcentagens de número de árvores até um diâmetro especificado do povoamento, a função Weibull apresenta ótimas possibilidades de ser usada com sucesso devido à grande flexibilidade deste modelo.

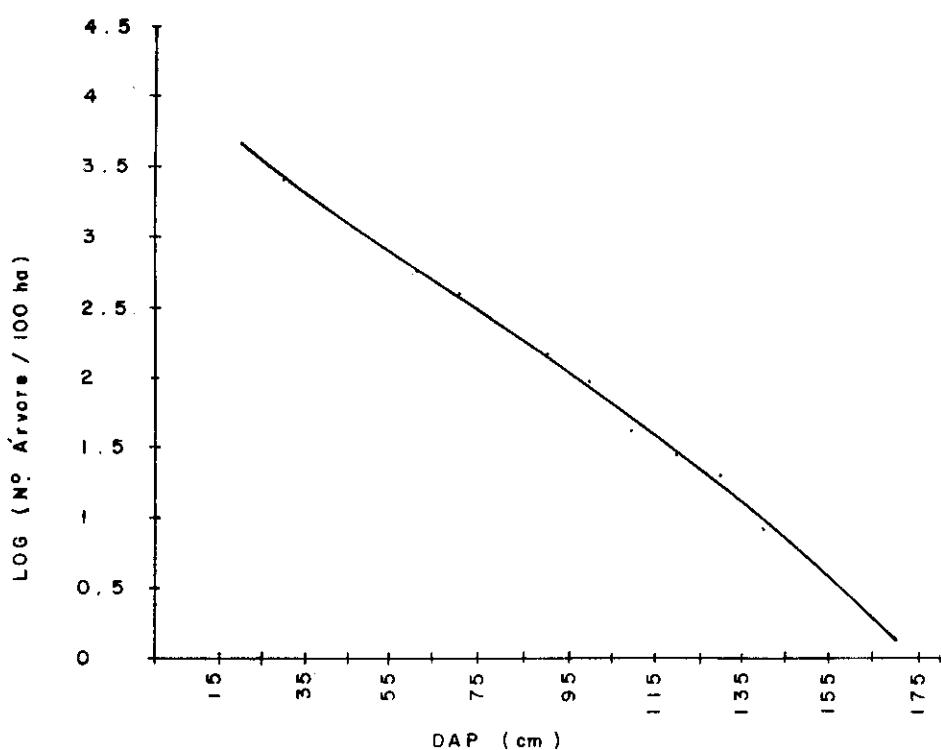
## 9. RESUMO

A presente pesquisa teve como objetivo testar vários modelos matemáticos que expressam a distribuição diamétrica, bem como verificar a influência do intervalo de classe de diâmetro no ajuste dos modelos testados. Todos os modelos foram aplicados separadamente para todas as espécies levantadas na área, para as espécies mais frequentes e para as espécies comerciais.

Os dados para essa pesquisa foram obtidos na Floresta Nacional do Tapajós, município de Santarém-PR, sendo medidas 11.173 árvores com diâmetro mínimo de 15 cm distribuídas em 167 espécies.



**Figura 01:** Distribuição Diamétrica de Todas as Espécies com intervalos de classes de 10 cm, ajustada pelo Modelo 5.



**Figura 02:** Distribuição de Todas as Espécies em papel semi-log com intervalos de classes de 10 cm, ajustada pelo Modelo 5.

**QUADRO 04: Resumo dos resultados para os diferentes grupos de espécies nos diferentes intervalos de classe diamétrica.**

**T O D A S A S E S P É C I E S**

MODELO	10 cm					7 cm					5 cm				
	R <sup>2</sup>	Sy.x%	F	SQ	PA	R <sup>2</sup>	Sy.x%	F	SQ	PA	R <sup>2</sup>	Sy.x%	F	SQ	PA
1	0,9930	4,61	*	189850	*	0,986	6,82	*	89816	*	0,083	7,97	*	95574	*
2	0,9670	10,39	*	10027296		0,955	12,06	*	7084737		0,947	14,06	*	5237677	
3	0,9000	18,14	*	202547278		0,897	17,23	*	145005337		0,989	19,54	*	123144349	
4	0,9960	3,88	*	773782		0,995	5,47	*	542017		0,985	13,06	*	402708	
5	0,9962	3,80	*	20204	*	0,987	6,74	*	177101	*	0,983	8,02	*	97586	*
6	—	—	—	230456		—	—	—	926905		—	—	—	1556372	
7	—	—	—	62945		—	—	—	74675	*	—	—	—	188954	

**E S P É C I E S F R E Q U E N T E S**

1	0,9950	4,51	*	133077	*	0,9872	7,16	*	172655	*	0,9875	7,85	*	202477	
2	0,9704	10,84	*	6556303		0,9545	13,54	*	4998239	*	0,9477	16,07	*	3810873	
3	0,9053	19,39	*	92860139		0,9059	19,45	*	67868996		0,9091	21,18	*	62910043	
4	0,9978	2,76	*	395177		0,9952	3,88	*	434177		0,9758	8,60	*	397488	
5	0,9975	3,44	*	228853	*	0,9878	7,17	*	383703	*	0,9876	7,96	*	250115	
6	—	—	—	112749		—	—	—	184482	*	—	—	—	1205814	
7	—	—	—	122476	*	—	—	—	184482	*	—	—	—	290143	*

**E S P É C I E S C O M E R C I A I S**

1	0,9800	7,92	*	101737		0,9656	10,76	*	89136		0,9815	7,74	*	47943	
2	0,9731	9,19	*	207731		0,9628	11,21	*	123589		0,9771	8,60	*	92579	
3	0,8626	20,77	*	5862915		0,8452	22,84	*	4566891		0,8630	21,06	*	2657405	
4	0,9916	5,22	*	26050		0,9919	4,95	*	15379		0,6846	28,27	*	35423	
5	0,9879	6,65	*	14413	*	0,9753	9,60	*	15434	*	0,9904	5,77	*	9816	*
6	—	—	—	11879		—	—	—	18591		—	—	—	59797	
7	—	—	—	3446	*	—	—	—	931	*	—	—	—	7396	*

\* Valores maiores do que os valores críticos.

Para descrever a distribuição diamétrica da área foram testados os seguintes modelos: Exponencial negativa tendo como variável independente o diâmetro e este ao quadrado, constituiram os modelos 1 e 2 respectivamente; os modelos Potencial, Hiperbólico, Polinomial, Funções Weibull e Beta constituiram os demais modelos.

Entre os critérios adotados para a seleção das equações por grupo de espécies e por intervalo de classe foi utilizado a menor soma dos quadrados dos resíduos, desde que não apresentasse tendenciosidade nas distribuições dos grupos de resíduos; isto foi verificado através da probabilidade associada com o número de sucessão de resíduos positivos e negativos, a qual dá a probabili-

dade que o número de mudanças de sinal observado no gráfico dos resíduos ocorreu aleatoriamente.

Entre os sete modelos testados, a relação do número de árvores por 100 ha por classe de diâmetro as funções Beta, Polinomial e Exponencial apresentaram os melhores resultados.

A função Weibull parece estimar muito bem as porcentagens do número de árvores até um diâmetro especificado do povoamento.

Para o intervalo de classe de 10 cm os modelos apresentaram os melhores ajustes, uma vez que a precisão das equações de um modo geral decresce à medida que diminui o intervalo de classe.

## 10. LITERATURA CITADA

- 1 — BAILEY & DELL, T.R. Quantifying diameter distributions with the Weibull function. *For Sei.*, 19(2) : 97-104, 1973.
- 2 — BARROS, P.L.C. Estudo das Distribuições Diamétricas da Floresta do Planalto Tapajós/Pará. Curitiba, 1980. 123 p. Tese de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, UFPR.
- 3 — BEYER, W.H. ed. *Handbook of tables for probability and statistics* 2 ed. Cleveland, The Chemical Rubber, 1974. 642 p.
- 4 — DRAPER, N.R. & SMITH, H. *Applied regression analysis* New York, John Wiley, 1966. 407 p.
- 5 — GOFF, F.G. & WEST, D. Canopy understory interactions effect on forest populations structure. *For Sei.*, (21(2): 98-108. 1975.
- 6 — LIMA, A.A. & SANTOS, P.L. *Pesquisas bibliográficas polo XI — Tapajós*. Serviço Nacional de Levantamentos de Solos e Conservação do Solo, EMBRAPA, 1976.
- 7 — LOETSCH, F.; et. al. *Forest inventory*. Munique, B.L.V., 1963. V.2, 469 p.
- 8 — QUEIROZ, W.T. *Efeitos da variação estrutural em unidades amostrais na aplicação do processo de amostragem em conglomerados nas florestas do planalto do Tapajós*. Curitiba, 1977. 109 p. Tese de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, UFPR.
- 9 — WADSWORTH, R.K. *A Study of diameter distributions of an uneven aged tropical forest by means of a transition matrix model*. Washington, 1977. 155 p. Ph.D Dissertation. University of Washington.