

PAULO LUIZ CONTENTE DE BARROS

ESTUDO DAS DISTRIBUIÇÕES DIAMÉTRICAS DA FLORESTA  
DO PLANALTO TAPAJÓS - PARÁ

Dissertação submetida à consideração da Comissão Examinadora, como requisito parcial na obtenção de Título de "Mestre em Ciências-M.Sc.", no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná.

CURITIBA

1980



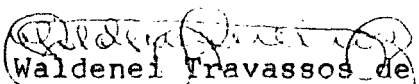
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

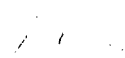
COORDENAÇÃO DO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

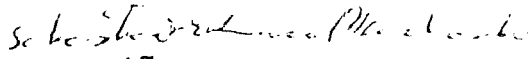
P A R E C E R

Os membros da Comissão Examinadora designada pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado apresentada pelo candidato PAULO LUIZ CONTENTE DE BARROS, sob o título "ESTUDO DAS DISTRIBUIÇÕES DIAMÉTRICAS DA FLORESTA DO PLANALTO TAPAJÓS PARÁ", para obtenção do grau de Mestre em Ciências-Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, área de concentração MANEJO FLORESTAL, após haver analisado o referido trabalho e arguido o candidato e realizada a atribuição de conceitos, são de parecer pela "APROVAÇÃO COM DISTINÇÃO" da Dissertação, completando assim os requisitos necessários para receber o grau e o Diploma de Mestre em Ciências.

Curitiba, 14 de janeiro de 1980

  
Professor Waldenei Travassos de Queiroz - M.Sc  
Primeiro Examinador

  
Professor Dietrich Burger - Ph.D  
Segundo Examinador

  
Professor Sebastião do Amaral Machado - Ph.D  
Presidente



## S U M Á R I O

	Página
Lista de Figuras .....	viii
Lista de Quadros .....	xii
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DA LITERATURA .....	3
2.1. Dinâmica da formação de povoamentos multianos.	3
2.2. Comportamento de algumas espécies amazônicas .	4
2.3. Desenvolvimento no setor da pesquisa .....	4
2.4. Descrição das funções .....	14
2.4.1. Função Exponencial .....	14
2.4.1.1. Função de densidade do Tipo I .....	14
2.4.1.2. Função de densidade do Tipo II .....	15
2.4.2. Função Hiperbólica .....	15
2.4.3. Função Potencial .....	16
2.4.4. Função Polinomial .....	16
2.4.5. Função Beta .....	18
2.4.6. Função Weibull .....	20
2.4.6.1. Função de densidade Weibull .....	20
2.4.6.2. Função acumulativa Weibull .....	22
2.4.6.3. Estimativas dos parâmetros da distri buição Weibull .....	23



	Página
3.2.3. Seleção da equação para descrever a distribuição diamétrica da área .....	44
3.2.4. Seleção do intervalo de classe .....	45
3.2.5. Computação dos dados .....	46
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	47
4.1. Todas as espécies (Grupo I) .....	52
4.1.1. Intervalo de classe de 10 cm .....	52
4.1.2. Intervalo de classe de 7 cm .....	59
4.1.3. Intervalo de classe de 5 cm .....	67
4.2. Espécies frequentes (Grupo II) .....	71
4.2.1. Intervalo de classe de 10 cm .....	71
4.2.2. Intervalo de classe de 7 cm .....	80
4.2.3. Intervalo de classe de 5 cm .....	84
4.3. Espécies comerciais (Grupo III) .....	90
4.3.1. Intervalo de classe de 10 cm .....	90
4.3.2. Intervalos de classes de 7 cm e 5 cm .....	90
5. CONCLUSÃO .....	105
6. RECOMENDAÇÕES .....	107
7. RESUMO .....	108
SUMMARY .....	110
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	112
APÊNDICE .....	115

## LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Histogramas da distribuição de algumas espécies amazônicas, segundo as classes de diâmetro .....	5
2	Três tipos de distribuição diamétrica decrescente, plotado sobre a escala das ordenadas em semi-logarítmo .....	7
3	Distribuição hipotetizada por GOFF & WEST. À forma da distribuição resultante da interação "DOSSEL - pav. inf." .....	17
4	Croqui da área em estudo na escala de 1:50.000	35
5	Distribuição diamétrica de todas as espécies com intervalos de classes de 10 cm, ajustada pelo Modelo 1 .....	57
6	Distribuição diamétrica de todas as espécies em papel semi-log com intervalos de classes de 10 cm, ajustada pelo Modelo 1 .....	57
7	Distribuição diamétrica de todas as espécies com intervalos de classes de 10 cm, ajustada pelo Modelo 5 .....	58
8	Distribuição de todas as espécies em papel semi-log com intervalos de classes de 10 cm, ajustada pelo Modelo 5 .....	58

Figura		Página
9	Distribuição diamétrica de todas as espécies com intervalos de classes de 7 cm, ajustada pelo Modelo 1 .....	64
10	Distribuição diamétrica de todas as espécies em papel semi-log com intervalos de classes de 7 cm, ajustada pelo Modelo 1 .....	64
11	Distribuição diamétrica de todas as espécies com intervalos de classes de 7 cm, ajustada pelo Modelo 5 .....	65
12	Distribuição diamétrica de todas as espécies em papel semi-log com intervalos de classes de 7 cm, ajustada pelo Modelo 5 .....	65
13	Distribuição diamétrica de todas as espécies com intervalos de classes de 7 cm, ajustada pelo Modelo 7 .....	66
14	Distribuição diamétrica de todas as espécies com intervalos de classes de 5 cm, ajustada pelo Modelo 1 .....	72
15	Distribuição diamétrica de todas as espécies em papel semi-log com intervalos de classes de 5 cm, ajustada pelo Modelo 1 .....	72
16	Distribuição diamétrica de todas as espécies com intervalos de classes de 5 cm, ajustada pelo Modelo 5 .....	73
17	Distribuição diamétrica de todas as espécies em papel semi-log com intervalos de classes de 5 cm, ajustada pelo Modelo 5 .....	73

Figura	Página
18	Distribuição diamétrica das espécies frequentes com intervalos de classes de 10 cm, ajustada pelo Modelo 1 ..... 78
19	Distribuição diamétrica das espécies frequentes com intervalos de classes de 10 cm, ajustada pelo Modelo 6 ..... 78
20	Distribuição diamétrica das espécies frequentes com intervalos de classes de 7 cm, ajustada pelo Modelo 7 ..... 85
21	Distribuição diamétrica das espécies frequentes com intervalos de classes de 5 cm, ajustada pelo Modelo 7 ..... 89
22	Distribuição diamétrica das espécies comerciais com intervalos de classes de 10 cm, ajustada pelo Modelo 6 ..... 94
23	Distribuição diamétrica das espécies comerciais com intervalos de classes de 10 cm, ajustada pelo Modelo 7 ..... 94
24	Distribuição diamétrica das espécies comerciais com intervalos de classes de 5 cm, ajustada pelo Modelo 7 ..... 102
25	Distribuição diamétrica das espécies comerciais com intervalos de classes de 7 cm, ajustada pelo Modelo 7 ..... 102
26	Distribuição diamétrica das espécies comerciais com intervalos de classes de 5 cm, ajustada pelo Modelo 5 ..... 103



27	Distribuição diamétrica das espécies comerciais em papel semi-log com intervalos de classes de 5 cm, ajustada pelo Modelo 5 .....	103
----	---	-----

## LISTA DE QUADROS

Quadro		Página
01	Valores dos coeficientes A e B da equação (1) corrigidos e valores dos fatores de correção .	49
02	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).	53
03	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) .....	54
04	Valores das estimativas do número de árvores/100 ha por classes de diâmetro 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 .....	55
05	Modelos logarítmicos para estimativa do número de árvores/100 ha e por classes de diâmetros de 7 cm, para o grupo I (todas as espécies) ..	60
06	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 7 cm respectivamente, para o grupo I (todas as espécies) .....	62
07	Valores das estimativas do número de árvores/100 ha por classes de diâmetro de 7 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 .....	63
08	Modelos logarítmicos para estimativa do número de árvores/100 ha e por classes de diâmetros de 5 cm, para o grupo I (todas as espécies) ..	68
09	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 5 cm respectivamente, para o grupo I (todas as espécies) .....	69
10	Valores das estimativas do número de árvores/100 ha por classes de diâmetro de 5 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 .....	70

11	Modelos logarítmicos para estimativa do número de árvores/100 ha e por classes de diâmetros de 10 cm, para o grupo II (espécies frequentes) .....	74
12	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 II (espécies frequentes) .....	75
13	Valores das estimativas do número de árvores/100 ha por classes de diâmetro de 10 cm para o grupo II (espécies frequentes) pelos modelos em estudo. Valores das somas dos quadrados dos resíduos e probabilidade associada a distribuição dos resíduos .....	77
14	Valores observados e estimados das porcentagens de números de árvores por 100 ha menores ou igual ao diâmetro médio das classes .....	79
15	Modelos logarítmicos para estimativa do número de árvores/100 ha e por classes de diâmetros de 7 cm, para o grupo II (espécies frequentes) .....	81
16	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 7 cm res	

Quadro	Página
pectivamente, para o grupo II(espécies frequen tes) .....	82
17 Valores das estimativas do número de árvores/ 100 ha por classes de diâmetro de 7 cm para o grupo II (espécies frequentes)pelos modelos em estudo. Valores das somas dos quadrados dos re síduos e probabilidade associada a distribui ção dos resíduos .....	83
18 Modelos logarítmicos para estimativa do número de árvores/100 ha e por classes de diâmetros de 5 cm, para o grupo II (espécies frequentes)	86
19 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 5 cm res pectivamente, para o grupo II(espécies frequen tes) .....	87
20 Valores das estimativas do número de árvores/ 100 ha por classes de diâmetro de 5 cm para o grupo II(espécies frequentes) pelos modelos em estudo. Valores das somas dos quadrados dos re síduos e probabilidade associada a distribui ção dos resíduos .....	88
21 Modelos logarítmicos para estimativa do número de árvores/100 ha e por classes de diâmetros de 10 cm, para o grupo III (espécies comer ciais) .....	91

22	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 III (espécies comerciais) .....	92
23	Valores das estimativas do número de árvores/100 ha por classes de diâmetro de 10 cm para o grupo III (espécies comerciais) pelos modelos em estudo. Valores das somas dos quadrados dos resíduos e probabilidade associada a distribuição dos resíduos .....	93
24	Modelos logarítmicos para estimativa do número de árvores/100 ha e por classes de diâmetros de 7 cm, para o grupo III(espécies comerciais)	95
25	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 7 cm respectivamente, para o grupo III (espécies comerciais) .....	96
26	Valores das estimativas do número de árvores/100 ha por classes de diâmetro de 7 cm para o grupo III (espécies comerciais) pelos modelos em estudo. Valores das somas dos quadrados dos resíduos e probabilidade associada a distribui	

Quadro	Página
ção dos resíduos .....	97
27 Modelos logarítmicos para estimativa do número de árvores/100 ha e por classes de diâmetros de 5 cm, para o grupo III (espécies comerciais) .....	99
28 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 5 cm respectivamente, para o grupo III (espécies comerciais) .....	100
29 Valores das estimativas do número de árvores/100 ha por classes de diâmetro de 5 cm para o grupo III (espécies comerciais) pelos modelos em estudo. Valores das somas dos quadrados dos resíduos e probabilidade associada a distribuição dos resíduos .....	101
30 Resumo dos resultados para os diferentes grupos de espécies nos diferentes intervalos de classe diamétrica .....	104
31 Codificação das espécies por ordem do nome científico, extraída de QUEIROZ <sup>27</sup> .....	116

## AGRADECIMENTOS

O autor deseja expressar seus agradecimentos ao Professor Dr. Sebastião do Amaral Machado, por sua orientação, dedicação e estímulos.

Aos co-orientadores, Professor Dr. Dietrich Burger pela ajuda na computação dos dados, orientação e sugestões e ao Professor Joésio Deoclécio Pierin Siqueira.

À Faculdade de Ciências Agrárias do Pará e ao PEAS pela licença e suporte financeiro concedidos durante o período de estudo na Faculdade de Florestas da UFPr.

Em especial ao Professor Francisco Barreira Pereira diretor da FCAP.

Aos colegas do Departamento Florestal da FCAP pelo encargo de trabalho a mais, durante a ausência do autor.

Ao Professor Waldenei Travassos de Queiróz - da FCAP e ao Programa Nacional de Pesquisas Florestais - PNPf - CPATU-EMBRAPA na pessoa do Pesquisador João Olegário P. Carvalho pela doação dos dados.

Ao Convênio FCAP-SUDAM na pessoa de seu coordenador Juris Jankauskis pela passagem aérea que possibilitou o recebimento dos dados.

Ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da UFPr, por possibilitar a realização deste curso e do presente trabalho.



Ao Professor Dr. Roberto Tuyoshi Hosokawa pela troca de idéias e amizade.

À minha esposa Engenheira Florestal Aliete Villacorta de Barros pela ajuda na computação e gravação dos dados.

À Srta. Marisa do Carmo Drusina do centro de computação do Departamento de Silvicultura e Manejo da UFPR.

Aos demais professores, colegas e funcionários da Faculdade de Florestas da UFPR que de uma ou outra forma contribuíram para a realização deste trabalho.

## BIOGRAFIA

PAULO LUIZ CONTENTE DE BARROS, filho de Antonio Joaquim de Barros Junior e Clélia Contente de Barros, nasceu em Cametã, Estado do Pará, no dia 19 de setembro de 1952.

Concluiu o curso primário na Escola Nossa Senhora Auxiliadora de Cametã e o secundário na Escola Técnica Federal do Pará em Belém.

Em 1972 ingressou no curso de Engenharia Florestal na FCAP, graduando-se em 1975.

Em 1976 iniciou suas atividades como professor colaborador no Departamento Florestal da FCAP, onde atualmente exerce as funções de professor auxiliar de ensino das disciplinas de Dendrometria e Inventário Florestal, trabalhando em tempo integral.

Iniciou em março de 1978, na UFPr, o curso de Mestrado em Engenharia Florestal com especialização na área de Inventário Florestal, concluindo os requisitos para o grau de M.Sc. em janeiro de 1980.

## 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 LIOCOURT\* estabeleceu o conceito original sobre distribuição de diâmetros em florestas multiantais, uma série de modelos matemáticos capazes de descrever a estrutura dos povoamentos foram desenvolvidos. Apesar de atualmente o estudo das distribuições diamétricas estar amplamente difundido e aplicado em toda a Europa e Estados Unidos, no Brasil muito pouco se tem usado como um instrumento para aplicação no manejo de florestas, pois constitui o meio mais simples e eficaz para descrever as propriedades de um povoamento.

A teoria de De LIOCOURT, sugere que a distribuição diamétrica em florestas heterogêneas tende para uma distribuição em forma de "J" invertido, a qual poderá ser mantida através de manejo dessas florestas de modo a aproximar-se a uma distribuição balanceada capaz de assegurar uma produção sustentada.

\* De LIOCOURT, F. L'aménagement de sapinieres. Bull. de la Societe For. Franche-Comte at Belfort. Besnacon, 1898.

O conhecimento da estrutura diamétrica das florestas tropicais para fins de manejo é de vital importância, uma vez que a variável idade, em geral o parâmetro mais importante para descrever o desenvolvimento de uma floresta, é de difícil obtenção, além de apresentar um valor relativo, devido sua ampla variação na floresta.

Como uma das atividades prioritárias realizada na área estudada é a exploração florestal e que constitui distúrbio considerável na estrutura da floresta, a distribuição dos diâmetros poderá estar sendo dirigida para longe da distribuição de equilíbrio da floresta.

Vários modelos foram testados para o grupo de todas as espécies, para as espécies de valor comercial e para as espécies mais frequentes, com intervalos de classes de 5 cm, 7 cm e 10 cm como uma tentativa para encontrar uma equação que descrevesse a estrutura diamétrica da área para os diferentes grupos de espécies.

Os objetivos do presente estudo são:

- 1) Testar vários modelos que descrevam distribuições diamétricas e selecionar aqueles que melhor se ajuste aos dados da área por grupo de espécies.

- 2) Verificar a influência do uso de diferentes intervalos de classes na precisão dos modelos e selecionar dentre os intervalos de classes utilizados o que melhor representa a distribuição diamétrica da área.

- 3) Comparar o comportamento dos modelos testados para os diferentes grupos de espécies.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1. DINÂMICA DA FORMAÇÃO DE POVOAMENTOS MULTIANOS

WADSWORTH<sup>31</sup>, MOSER<sup>23</sup> e outros descrevem a dinâmica da formação de povoamentos multianos, considerando o desenvolvimento de florestas sob solos descobertos. Aparecem pequenos indivíduos que, ao passar do tempo, desenvolvem-se formando estratos no sentido vertical, através da dominância de uns indivíduos sobre os outros. .

O contínuo aparecimento de novos indivíduos no estrato inferior, limita o espaço de crescimento das árvores novas com o aumento da densidade, proporcionando a eliminação dos elementos menos capazes de competir.

As aberturas ocorridas no estrato superior da floresta em decorrência da morte de grandes árvores, são ocupadas pelas árvores que se encontram no estrato imediatamente inferior, que por sua vez proporcionam o estabelecimento de novos indivíduos, tornando heterogênea a distribuição das idades das árvores no povoamento.

Esse processo será garantido pela composição de espécies, a partir das pioneiras para aquelas que não são capazes de reproduzirem-se satisfatoriamente.

Uma população, onde o ingresso, crescimento e mortalidade constituem os fatores básicos ao desenvolvimento das

distribuições diamétricas, que dependem do meio ambiente, dos fatores bióticos, da composição de espécies e densidade, é o resultado final deste processo.

## 2.2. COMPORTAMENTO DE ALGUMAS ESPÉCIES AMAZÔNICAS

HEINSDIJK & MIRANDA BASTOS<sup>9</sup> para obter uma idéia do comportamento das diferentes espécies de uma parte da Região Amazônica, realizaram um estudo sobre a distribuição dos diâmetros, uma vez que cada espécie apresenta características peculiares de vida, conforme mostra a figura (1). As classes de diâmetro utilizadas, foram de amplitude igual a 10 cm a partir de um diâmetro mínimo de 5 cm para algumas espécies, então as classes 1, 2, 3 são (5-14); (15-24); (25-34) respectivamente. Ao analisar esses gráficos, procuraram mostrar a proporção do crescimento de maneira a evidenciar as características peculiares da vida de cada uma delas. Por exemplo, as Enviras (*Anona* spp), dificilmente alcançam diâmetros maiores que 65 cm e estas tem um fim muito rápido. Segundo os autores, o número de exemplares que passa de uma classe para a imediatamente superior é menor que 50%, índice tomado como base. As abiuranas (*Pouteria* spp) apresentam uma distribuição, praticamente balanceada e um incremento regular até a classe 8, ou seja, 75-84 cm, onde a partir daí decresce até desaparecer.

## 2.3. DESENVOLVIMENTO NO SETOR DA PESQUISA

Desde o início do século, vários pesquisadores da Es

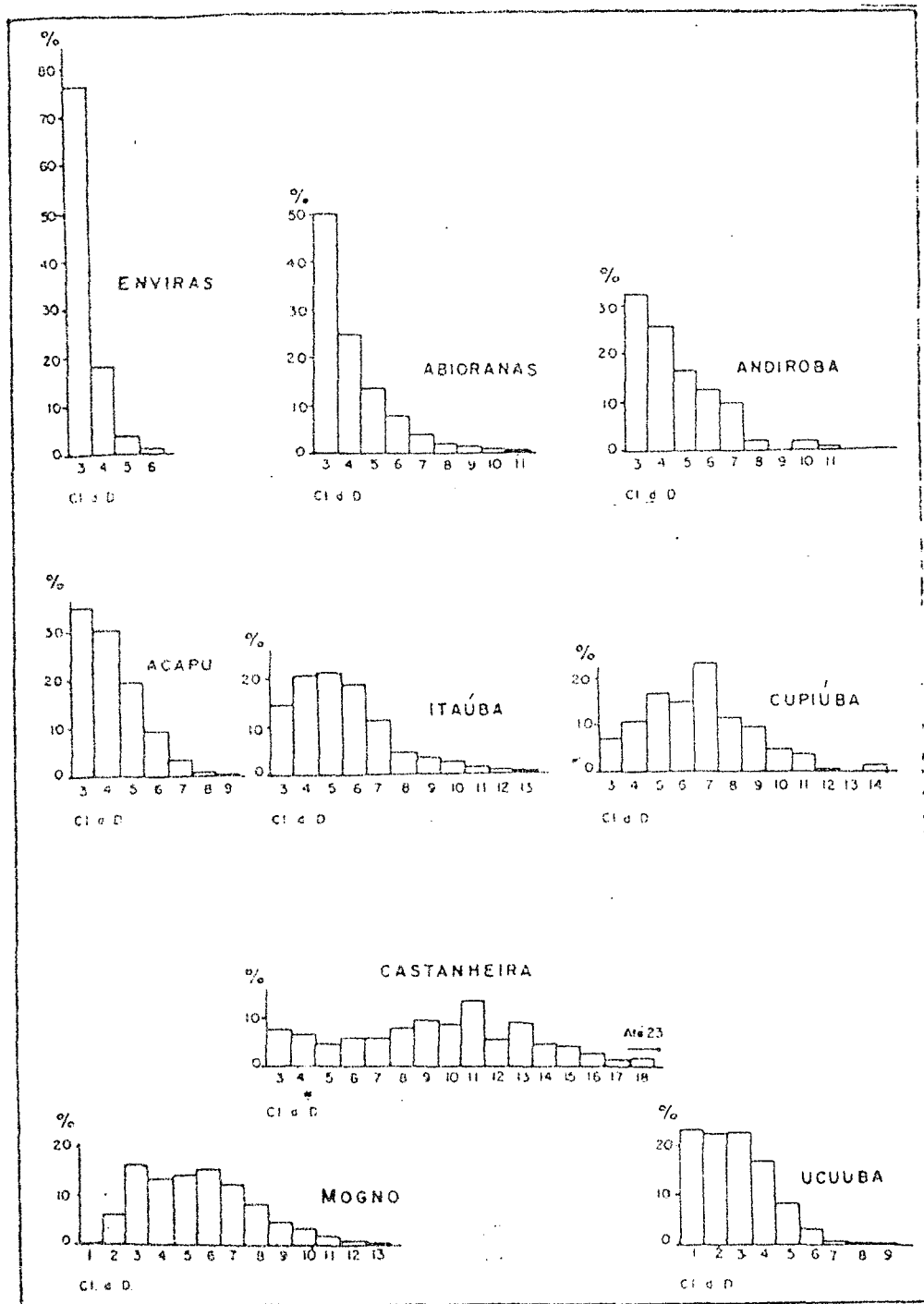


Figura 1: Histogramas da distribuição de algumas espécies florestais amazônicas, segundo as classes de diâmetro.

Fonte: HEINSDIJK & MIRANDA BASTOS<sup>9</sup>

candinava, Europa Central, América do Norte, África e Ásia, tem se preocupado em desenvolver estudos relativos às distri  
buições.

Segundo LOETSCH et al.<sup>18</sup> as distribuições são classi  
ficadas em três tipos principais: Unimodal, Decrescente e  
Multimodal.

As distribuições Unimodais de diâmetro são caracterís  
ticas de povoamentos jovens equianos, podendo ser ajustadas  
pela função Beta.

As distribuições de diâmetros decrescentes são encon  
tradas principalmente em: a) Florestas naturais que apresen  
tam árvores de todas as idades; b) povoamentos florestais  
bem manejados que contenham indivíduos de uma determinada es  
pécie em todas as idades; c) Florestas artificiais quando  
consideradas em seu conjunto, em relação a um Estado, Região  
ou País. A distribuição diamétrica decrescente pode apresen  
tar três tipos, em função do decréscimo do número de árvores  
em classes sucessivas de diâmetro ou seja:

Tipo I: O número de árvores por unidade de área decre  
ce nas classes sucessivas de diâmetro em uma progressão geo  
métrica uniforme,  $N_1 = qN_2 = q^2N_3 = \dots q^{n-1}N_n$ .

Tipo II: O número de árvores por unidade de área de  
crece nas classes sucessivas de diâmetro em uma progressão  
geométrica crescente,  $N_1 > qN_2 > q^2N_3 \dots > q^{n-1}N_n$ .

Tipo III: O número de árvores por unidade de área de  
crece nas classes sucessivas de diâmetro em uma progressão  
geométrica decrescente,  $N_1 < qN_2 < q^2N_3 \dots < q^{n-1}N_n$ .  
onde  $q = \frac{N_1}{N_2} = \frac{N_2}{N_3} = \frac{N_3}{N_4} = \dots$  e



$N_i$  = número de árvores por classe de diâmetro,  $i$  variando de 1 à  $n$ .

Esses tipos de distribuição de diâmetro são apresentados na figura 2.

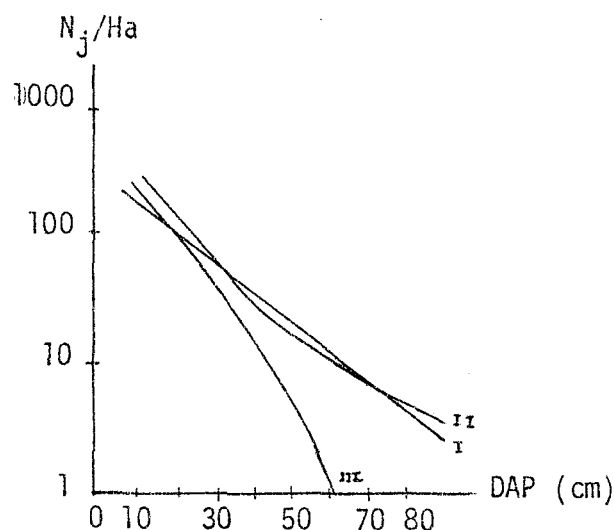


Figura 2: Três tipos de distribuição diamétrica decrescente, plotado sobre a escala das ordenadas em semi-logarítmo. (LOETSCH et al.<sup>18</sup>)

As distribuições multimodais apresentam pouca importância prática nos estudos florestais.

LEAK<sup>16</sup>, MEYER<sup>21</sup>, HOUGH<sup>12</sup> e outros, concluíram em seus trabalhos que a curva do número de árvores plotado sobre os diâmetros (DAP) aproxima uma forma de "J" invertido e não em forma de sino, o que constitui uma característica essencial de uma distribuição de diâmetros de florestas multianas.

No fim do último século, De Liocourt citado por WADSWORTH<sup>31</sup> realizou um intensivo estudo de várias formas da curva de formato em "J". Em 1898, ele verificou que em uma floresta multiana bem manejada, os cocientes entre o número de árvores em sucessivas classes de diâmetros permanece es

sencialmente constante sobre toda a amplitude dos diâmetros representados na floresta.

SILVA<sup>29</sup>, cita que, se a estrutura da floresta segue a lei de LIOCOURT, seja pela exploração seletiva, onde o homem procura manter a sua estabilidade por meio de cortes racionais, ou pela própria conservação natural, então o número de árvores de classes sucessivas de diâmetro é representado pela série geométrica:

$$N_1 = qN_2 = q^2N_3 = q^3N_4 = \dots$$

A razão constante "q" é conhecida por "QUOCIENTE ou CONSTANTE DE LIOCOURT" (LOETSCH et al.<sup>18</sup>).

H.A. MEYER\*, em 1933, citado por LOETSCH et al.<sup>18</sup>, e LEAK<sup>16</sup> foi o responsável principal pela expansão da teoria de LIOCOURT nos Estados Unidos. Ele introduziu o termo "FLORESTA BALANCEADA ou DISTRIBUIÇÃO DE DIÂMETRO BALANCEADA".

MEYER<sup>21</sup> sugere em seu trabalho que numa floresta multiana balanceada o incremento pode ser retirado anualmente ou periodicamente mantendo ao mesmo tempo a estrutura e o volume inicial da floresta, podendo ser considerada uma floresta com uma produção normal de estoque, capaz de produzir um rendimento sustentado.

As florestas virgens e as bem manejadas apresentam uma distribuição de diâmetros quase que indefinidamente inalteradas, em função do equilíbrio existente entre o crescimento e a mortalidade.

O mesmo autor sugeriu que não somente florestas mane

\* MEYER, H.A. Eine mathematisch-statistische Untersuchung über den Aufbau des Plenterwaldes. Schweiz. Zeitschr. Forstwes., 84(1): 3: 88-103; 4: 124-130, 1933.

jadas ou florestas virgens possam ser "florestas balanceadas", mas também as grandes áreas florestais que contenham uma razoável quantidade de madeiras finas, clareiras e abundância de madeira para serraria, como é o caso das florestas Estaduais e Municipais.

WADSWORTH<sup>31</sup>, cita que desde 1898, quando o conceito original com respeito a distribuição de diâmetros em florestas multianas foi introduzido por De LIOUCOURT e posteriormente expandido por MEYER em 1933, um grande número de modelos matemáticos tem sido propostos para descrever as distribuições de diâmetros em florestas multianas, bem como em florestas equianas.

MEYER & STEVENSON<sup>22</sup> aplicaram o modelo geral baseado na teoria de De LIOUCOURT, a distribuição exponencial, para as florestas de espécies mixtas na Pensilvania.

MEYER<sup>21</sup> e mais tarde SCHMELZ & LINDSEY<sup>28</sup> também encontraram resultados satisfatórios utilizando a teoria de De LIOUCOURT para distribuições de diâmetros de florestas de espécies folhosas de 19 anos na Índia.

LEAK<sup>14</sup> apresentou um trabalho completo da aplicação da fórmula de uma distribuição de probabilidade chamada de distribuição em forma de "J", apresentando as expressões para a média e variância, bem como as características da função.

LEAK<sup>15</sup>, CUNIA<sup>5</sup>, demonstraram que o desenvolvimento de povoamentos equianos jovens pode ser expresso como um componente do processo exponencial.

HEINSDIJK et al.<sup>11</sup> utilizando a equação:

$$NA = a \cdot D_{c1}^b \quad \text{ou} \quad \log NA = \log a + b \log D_{c1}$$

para descrever a distribuição diamétrica das florestas ao Norte do Estado do Espírito Santo encontraram um coeficiente de determinação ( $r^2$ ) igual a 0,9912 e um erro padrão de estimativa ( $Sy.x$ ) de 0,00871.

onde: NA = N° de árvores por hectare

$D_{cl}$  = Valor numérico da classe de diâmetro representado pelos números 3, 4, 5 ... 11.

MACHADO<sup>19</sup> trabalhando em uma área de 117 ha de floresta secundária tropical em Turrialba, Costa Rica, encontrou a seguinte equação:

$$NA = 657,6 \times 10^{-0,034082 DAP}$$

com um coeficiente de determinação ( $r^2$ ) igual a 0,9797 que se ajustou aos dados agrupados em classes de diâmetros de 10 cm, a partir de um diâmetro mínimo igual a 10 cm onde:

NA = n° de árvores por hectare

DAP = diâmetro a 1,30 cm em cm.

O CENTRO DE PESQUISAS FLORESTAIS<sup>25</sup> aplicou a teoria de De LIOCOURT utilizando a metodologia de ALEXANDER & EDMINSTER\* com a finalidade de avaliar a situação atual da Região de Influência da Represa de Itaipu e sugerir um manejo florestal apropriado para atender os requisitos protetivos e produtivos da área.

A área foi dividida em 3 tipos florestais assim caracterizados:

Tipo I - Floresta densa

\* ALEXANDER, A. & EDMINSTER, C. Uneven-aged management of old growth spruce-fir forests: cutting methods and stand structure goals for the initial entry.

Tipo II - Floresta densa em exploração

Tipo III - Floresta explorada/secundária

Obteve as seguintes equações para cada tipo florestal.

Tipo I:

$$Y = 128,223958 \cdot e^{-0,04962015 \cdot X}$$

Tipo II:

$$Y = 137,8560535 \cdot e^{-0,053978048 \cdot X}$$

Tipo III:

$$Y = 177,0017661 \cdot e^{-0,061613225 \cdot X}$$

onde: Y = nº de árvores por hectare

X = centros de classes de DAP

e = base do logarítmo natural

WADSWORTH<sup>31</sup> realizando estudo em uma série de parcelas permanentes estabelecidas nas Montanhas de Luquillo em Porto Rico ajustou a equação exponencial para os dados dos anos de 1946, 1956, 1966 e 1967, bem como a distribuição de equilíbrio da área, que foi:

$$\ln(y + 1) = 7,439607 - 1,953308 (\text{DAP})$$

$$R^2 = 0,95$$

não proporcionando um bom ajuste quando analisado através da probabilidade associada com o número de grupos de resíduos (PR) que foi igual a 0,001, ou seja menor do que o valor crítico de 0,05.

Outros sistemas e modelos de distribuições, foram desenvolvidos, os quais ampliaram as considerações para incluir outras formas que não a forma de "J" invertido; entre esses estão as séries de Gram-Charlier utilizado por MEYER\* em 1930, citado por BAILEY & DELL<sup>2</sup>.

\* MEYER, W.D. Diameter distribution series in evenaged forest stands. Yale Univ.Sch.For.Bull. 28, 1930. 105 p.

NELSON<sup>24</sup> utilizou a distribuição Gama numa tentativa para verificar a relação entre o crescimento em volume e a distribuição diamétrica em povoamentos equianos bem maneja dos de *Pinus radiata*, concluindo que a distribuição diamétrica como caracterizada pelos parâmetros da distribuição Gama não explicaram perfeitamente o crescimento em volume. E ainda conclue que as curvas de crescimento, da população de Pearl-Reed usando distribuição de frequência acumulativa proporcionaram excelentes ajustes aos dados além de apresentar fácil solução, tornando-se mais aconselhável para caracterizar distribuições diamétricas do que a distribuição Gama.

SCHNUR\* e OSBORNE & SCHUMACHER\*\* citados por BAILEY & DELL<sup>2</sup> aplicaram as curvas pearsônicas para incluir outras formas de distribuição que não a de "J" invertido.

Uma tentativa para ajustar distribuições de diâmetros em povoamentos equianos de Douglas-fir foi a utilização da logarítmica normal de três parâmetros por BLISS & REINKER<sup>3</sup>.

Modelos não lineares foram utilizados por EK<sup>7</sup> para projeção de tabelas de povoamentos para os componentes, in gresso, crescimento e mortalidade.

A função Beta foi aplicada para distribuições de diâ metros por CLUTTER & BENNETT\*\*\*, em 1965, citado por BAILEY & DELL<sup>2</sup>. A aplicação de modelos baseados na distribuição Beta

- \* SCHNUR, G. L. Diameter distributions for old-field lo bolly pine stands in Maryland. J. Agric. Res., 49: 731-743, 1934.
- \*\* OSBORNE, J.G. & SCHUMACHER, F.X. The construction of normal-yield and stand tables for even-aged timber stands. J. Agric. Res., 51: 547-564, 1935.
- \*\*\* CLUTTER, J. & BENNETT, F.A. Diameter distributions in old field slash pine plantations. Ga. For. Res. Coune Rep., 13, 1965. 9 p.

foi subsequentemente desenvolvido por ZÖHRER\* em 1969 citado por LOETSCH et al.<sup>18</sup>, McGEE & DELLA-BIANCA<sup>20</sup> e finalmente por LENHART & CLUTTER\*\* em 1971 citado por BAILEY & DELL<sup>2</sup>.

LAAR & GELDENHUYS<sup>13</sup> estudando as distribuições e as correlações em 520 hectares de florestas na Índia ajustaram a distribuição diamétrica de seis grupos de espécies com a função-beta utilizando a metodologia, proposta por ZÖHRER, em 1969.

Obtiveram os seguintes valores dos expoentes, para os seis diferentes grupos de espécies.

GRUPO DE ESPÉCIES	$\alpha$	$\gamma$
1	-0,0599	3,803
2	-0,1591	3,340
3	-0,0468	2,660
4	-0,1558	5,235
5	-0,0728	3,304
6	-0,2569	7,238
TODAS AS ESPÉCIES	-0,1459	5,495

GOFF & WEST<sup>8</sup> propuseram um modelo polinomial para descrever a curva da estrutura dos povoamentos uniformes através de uma curva sigmoïdal. Vários outros trabalhos também mostraram que a sigmoïdal foi melhor do que uma exponencial negativa.

BAILEY & DELL<sup>2</sup>, citam que em 1939, W. WEIBULL\*\*\* apre

\* ZÖHRER, F. The application of the beta-function for best fit of stem diameter-distributions in inventories of tropical forests. Mitt. Bundesforsch. anst. Forst.u. Holzwirtschaft, Reinbek/Hamburg, n. 74: 279-293, 1969.

\*\* LENHART, J.D. & CLUTTER, J.L. Cubic-foot yield tables for old-field loblolly pine plantations in the Georgia Piedmont. Ga.For.Res. Coune Rep. 22, serie 3, 1971.

\*\*\* WEIBULL, W. A statistical theory of the strength of material. Ing. Vetensk Akad. Handl., 153, 1939. 17 p.

sentou uma função de distribuição de probabilidade para estudos de qualidade de materiais. Em 1968 essa distribuição foi denominada de distribuição WEIBULL. Porém, só a partir de 1973, essa distribuição foi proposta e utilizada como modelo de distribuição de diâmetros por BAILEY & DELL<sup>2</sup>, BAILEY<sup>1</sup>.

A maioria das funções discutidas referem-se àquelas em que o decréscimo de frequência em toda a amplitude de ocorrência dos diâmetros de um povoamento, diferem em forma embora sejam funções decrescentes.

## 2.4. DESCRIÇÃO DAS FUNÇÕES

### 2.4.1. FUNÇÃO EXPONENCIAL

#### - 2.4.1.1. Função de densidade do Tipo I

LOETSCH et al.<sup>18</sup> citam que a função exponencial aplicada por MEYER, 1933, baseando-se na teoria de De LIOCOURT, é representada pela função de densidade.

$$y_i = A \cdot e^{-BX_i} \quad (1)$$

onde:

$y_i$  = número de árvores por unidade de área por classes de diâmetros  $i$ .

$X_i$  = centros de classes de diâmetros

$A, B$  = constantes a serem estimadas

$e$  = base logarítmo natural.

Se uma floresta apresenta tal distribuição de diâmetros, a distribuição é considerada balanceada (MEYER & STEVENSON<sup>22</sup>).



Esta função admite um cociente de decréscimo entre as frequências proporcional e constante, de modo que os fatores ingresso, crescimento e mortalidade atingem em proporção constante das frequências em todas as classes de diâmetros da distribuição, fornecendo uma linha reta quando plotado em papel semi-logarítmico.

- 2.4.1.2. Função de densidade do tipo II

LOETSCH et al<sup>18</sup>, ajustaram a distribuição de diâmetros com uma função de densidade do tipo II em que, a variável independente é o diâmetro ao quadrado, conforme equação (2)

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

O cociente entre o número de árvores por classe de diâmetros estimados por esta função não é constante, pois aumenta com o acréscimo dos diâmetros, resultando distribuições não lineares sobre papel semi-logarítmico.

2.4.2. FUNÇÃO HIPERBÓLICA

MERVART\* citado por WADSWORTH<sup>31</sup> trabalhando com floresta alta na Nigéria ajustou melhor as distribuições que não apresentaram um decréscimo de frequência constante pela equação (3) de PIERLOT citado por WADSWORTH<sup>31</sup>.

$$y_i = [(X_i - X_0) / (10^{A+BX_i} - 1)] + y_0 \quad (3)$$

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

em que os coeficientes A e B são estimados (4)

$$\log y' = A + BX_i, \text{ em que } y' = \left( \frac{X_i - X_0}{y_i - y_0} + 1 \right) \quad (4)$$

onde o número de árvores por unidades de área e por classes de diâmetros  $X_i$  é a variável  $Y_i$ ; e o subscrito zero, refere a classe inicial dos diâmetros.

Nessa função procura-se ajustar os pontos de dados de uma distribuição apoiando-se no primeiro ponto de dados.

#### 2.4.3. FUNÇÃO POTENCIAL

MERVART em 1972, citado por WADSWORTH<sup>31</sup> para ajustar os dados da Nigéria aplicou entre outros, os modelos:

$$y_i = A \cdot B^{-X_i} \quad (5)$$

$$y_i = A \cdot X_i^{-B} \quad (6)$$

onde:

$y_i$  = nº de árvores por unidades de área por classes de diâmetros  $X_i$

A, B = coeficientes a serem estimados.

A equação (6) construída por MERVART ajustou-se aos dados, melhor do que a equação (5), que é basicamente a equação (1) de MEYER.

#### 2.4.4. FUNÇÃO POLINOMIAL

Segundo GOFF & WEST<sup>8</sup> em povoamentos naturais de estrutura uniforme, a distribuição diamétrica apresenta uma tendência sigmoïdal, devido ao fato de as razões de crescimento e mortalidade nesses povoamentos não serem uniformemente

distribuídas para as frequências das classes de diâmetros.

A polinomial sugerida pelos autores para ajustar as distribuições diamétricas de povoamentos de pequenas áreas foi a série potencial:

$$\log \dot{y}_i = b_0 + b_1 X_i + b_2 X_i^2 + b_3 X_i^3 + \dots + b_n X_i^m \quad (7)$$

a qual é logarítmo o número de árvores por unidade de área em função de potências sucessivas do diâmetro variando entre o primeiro ao m-ésimo grau.

O critério utilizado pelos autores para selecionar o grau apropriado da equação foi o índice de correlação (r). O mais baixo grau dando um valor de r maior ou igual a 0,95, será o selecionado para representar a distribuição do povoamento.

GOFF & WEST<sup>8</sup>, denominaram de "INTERAÇÃO DOSSEL-PAVIMENTO INFERIOR" ao fator que afeta a distribuição, e a distribuição resultante chamaram de "SIGMOIDAL", como mostra a figura (3) plotado em papel semi-logarítmico.

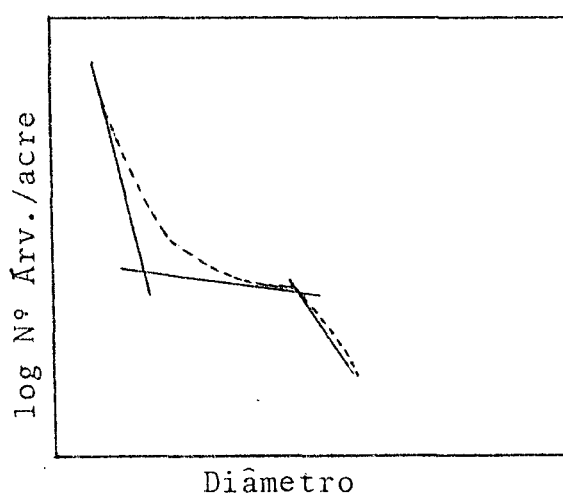


FIGURA 3: Distribuição hipotetizada por GOFF & WEST. A forma da distribuição resultante da interação "DOSSEL - pav. inf."

Fonte: GOFF & WEST<sup>8</sup>.

## 2.4.5. FUNÇÃO BETA

ZÖHRER citado por LOETSCH et al.<sup>18</sup> mostram que a função Beta também é apropriada para a descrição matemática de algumas distribuições decrescentes, se uma vez estimados os expoentes atender a condição de

$$\alpha \leq 0$$

$$\gamma > 0$$

Muitas formas de distribuições decrescentes podem ser geradas dependendo da magnitude dos expoentes e suas relações entre si, caracterizando assim uma grande flexibilidade da função Beta.

A função de densidade da distribuição Beta é dada pela equação (10).

$$f(x) = c(X - a)^\alpha (b - x)^\gamma \quad (8)$$

ou na forma logarítmica

$$\log|f(x)| = \log c + \alpha \log(X-a) + \gamma \log(b-X) \quad (9)$$

transformando para termos de análise de regressão

$$y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 \quad (10)$$

onde:

$f(x)$  = nº de árvores por unidade de área

$c$  = constante (fator de correção que garante que a soma das frequências calculadas seja igual ao número total de árvores.

$x$  = diâmetro médio da classe

$a$  = limite inferior da função-beta

$b$  = limite superior da função-beta

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

Os valores de "a" e "b" podem ser obtidos por

$$a = X_1 - \frac{W}{2} \quad (11)$$

$$b = X_n + \frac{W}{2} \quad (12)$$

onde:

$X_1$  = diâmetro médio da primeira classe de diâmetros

$X_n$  = diâmetro médio da última classe

W = amplitude de classe de diâmetro

LOETSCH et al.<sup>18</sup> enfatizam que aplicando a função Beta em vários países tanto de zonas temperadas quanto tropical, o número de árvores por unidade de área é sub-estimado nas classes de maior diâmetro, ou seja, próximo a extremidade direita da distribuição devido ao estreitamento do limite superior impostos pelo valor "b". Esta sub-estimativa foi grandemente reduzida pelo aumento do limite superior "b". Sob o ponto de vista estatístico esse aumento de valor de "b" é justificado, como um aumento do tamanho da amostra aumentando também a probabilidade da ocorrência de um diâmetro maior. Então o valor de b será:

$$b = \left( X_n + \frac{W}{2} \right) + E \quad (13)$$

onde:

E = extensão (aumento do valor "b")

Essa extensão "E" é limitada para um máximo de um quarto da amplitude total (b-a) do eixo das abcissas da distribuição original.

ZÖHRER citado por LOETSCH et al.<sup>18</sup> propôs um método para ajustar a função Beta através da média aritmética e a

variância.

Os expoentes  $\alpha$  e  $\gamma$  produzidos por

$$\gamma = \frac{\frac{Z}{S_{\text{real}}^2 (Z + 1)^2} - 1}{(Z + 1)} - 1 \quad (14)$$

$$\alpha = Z(\gamma + 1) - 1$$

onde:

$$Z = \frac{\bar{x}_{\text{real}}}{1 - \bar{x}_{\text{real}}}$$

Um programa "BETKLA" feito pelo autor determina os diâmetros médios e a variância corrigida, e seis valores de "b" pela equação (13), onde os valores de "E" são resultados da amplitude máxima dividida por seis. Por processo iterativo utilizando os diferentes valores de "b", estima os valores dos expoentes  $\alpha$  e  $\gamma$ . Antes de cada iteração o computador calcula a soma dos quadrados dos desvios resultante da distribuição Beta ajustada e seleciona a função beta considerada como ótima, como sendo aquela que apresentar o menor valor das somas dos quadrados dos desvios.

#### 2.4.6. FUNÇÃO WEIBULL

##### - 2.4.6.1. Função de densidade Weibull

BAILEY & DELL<sup>2</sup> apresentam a função de densidade WEIBULL como um modelo para descrever distribuição diamétrica. Uma maior aplicação desta função é obter porcentagem do povoamento menor do que um diâmetro especificado.

A função de densidade WEIBULL do modelo de 2-parâme

tros utilizando a notação de DUBEY\* citado por BAILEY & DELL<sup>2</sup> é:

$$f(x) = \left(\frac{c}{b}\right) \left(\frac{x}{b}\right)^{c-1} \cdot \exp\left\{-\left(\frac{x}{b}\right)^c\right\} \quad (15)$$

$$x \geq 0; \quad b > 0; \quad c > 0$$

Em uma formulação mais geral é também incluído um terceiro parâmetro "a"

$$f(y) = \left(\frac{c}{b}\right) \left(\frac{y-a}{b}\right)^{c-1} \cdot \exp\left\{-\left(\frac{y-a}{b}\right)^c\right\} \quad (16)$$

$$y \geq 0; \quad a, b > 0; \quad c > 0$$

Nas equações (15 e 16) o parâmetro "b" caracteriza a escala enquanto que a forma depende do parâmetro "c". No contexto de uma distribuição de diâmetros o parâmetro  $a \geq 0$  pode ser interpretado como o menor diâmetro possível.

BAILEY & DELL<sup>2</sup> em seu trabalho apresentam considerações apenas para o modelo de dois-parâmetros, uma vez que as equações (15) e (16) são relacionadas pela transformação  $Y = X + a$ . Deste modo, não há diferença nos resultados, preferindo trabalhar com a equação (15).

HARTER\*\* citado por BAILEY & DELL<sup>2</sup> enfatiza a flexibilidade da função WEIBULL podendo assumir uma variedade de formas, dependendo do valor de c. Se  $c = 1$  resulta a distribuição exponencial.

$$f(x) = \left(\frac{1}{b}\right) \exp\left\{-\left(\frac{x}{b}\right)\right\}$$

$$0 \leq x, b > 0$$

\* DUBEY, S.D. Some percentile estimators for weibull parameters. Technometrics, 9: 119-129, 1967.

\*\* HARTER, H.L. Expected values of exponential, weibull and gamma order statistics. Off Aerosp Res. Us Air Force, Proj. 70701, Task-01, ARL. 64-31, 1964. 106 p.

Quando  $c < 1$  a curva obtida será a "J" invertido. No intervalo de  $1 < c < 3,6$ , a função de densidade toma a forma de um monte sendo assimétrica positiva. Para  $c = 2$  resulta um caso especial da distribuição  $X^2$ , se  $c \approx 3,6$ , a distribuição WEIBULL aproxima a distribuição normal. No caso do parâmetro "c" assumir valores acima de 3,6 a distribuição torna-se progressivamente assimétrica negativa até projetar-se sobre um único ponto quando o valor de "c" tende para o infinito ( $+\infty$ ).

#### - 2.4.6.2. Função acumulativa Weibull

BAILEY & DELL<sup>2</sup> relacionaram os valores que o parâmetro "c" pode assumir, para idade no desenvolvimento de povoamentos equianos para um dado sítio.

Pela integração da equação(15) modificada por uma técnica de troca de variáveis, a função de distribuição acumulativa da equação (17) foi derivada.

$$F(x) = 1 - \exp\{-(x/b)^c\} \quad (17)$$

onde:

$F(x)$  = Porcentagem do povoamento menor ou igual do que um diâmetro X especificado

$b, c$  = coeficientes a serem estimados

$\exp$  = base do logarítmo natural

A equação (17) pode ser resolvida para x

$$x = b\{-\ln[1 - F(x)]\}^{1/c} \quad (18)$$

Substituindo  $F(x)$  por valores entre zero e um na equação (18) um mecanismo para geração de distribuição de diâmetros em estudo de simulação é obtido.



- 2.4.6.3. Estimativas dos parâmetros da  
distribuição WEIBULL

Muitos métodos apropriados para o ajuste da distribuição Weibull tem sido desenvolvidos. Entre eles os estimadores de probabilidade máxima são geralmente considerados melhores, mas requerem processos iterativos. O mais fácil de todos os estimadores para o cálculo é baseado sobre os percentis.

BAILEY & DELL<sup>2</sup> definiram o pº percentil sob a distribuição de modo que o valor  $X_p$  de uma observação casualmente escolhida  $X$ , seja menor ou igual ao valor do diâmetro ( $X_p$ ) correspondente ao percentil  $p$  da distribuição. Tomando-se a função da distribuição acumulativa da equação (17) em função de "p" temos:

$$p = F(X_p)$$

$$p = 1 - \exp\{-(X_p/b)^c\} \quad (19)$$

então,

$$X_p = b\{-\ln(1 - p)\}^{1/c} \quad (20)$$

Utilizando dois percentis  $r$  e  $t$  os coeficientes podem ser calculadas por

$$\hat{c} = \ln \{ \ln(1 - r) / \ln(1 - t) \} / \ln \{ X_r / X_t \} \quad (21)$$

$$\hat{b} = \exp \{ [ \ln(X_r) - \ln(X_t) \cdot \ln(-\ln(1-r)) / \ln(-\ln(1-t)) ] / [ 1 - \ln(-\ln(1-r)) / \ln(-\ln(1-t)) ] \} \quad (22)$$

onde:

$$0 < r < 1; \quad 0 < t < 1$$

$X_r$  e  $X_t$  correspondem a dois valores de diâmetros selecionados na amplitude de variação, tais que, porcentagens es

pecificadas do número de árvores por unidade de área sejam menores ou iguais que  $X_r$  e  $X_t$  respectivamente. Um estudo prévio dos valores de  $r$  e  $t$  deve ser feitos, a fim de verificar um melhor ajuste da distribuição.

DUBEY citado por BAILEY & DELL<sup>2</sup> concluiu que as 17<sup>o</sup> e 97<sup>o</sup> amostras de percentis foram melhores para a estimativa de  $\hat{c}$ , enquanto que o 40<sup>o</sup> e 82<sup>o</sup> percentis foram melhores para a estimativa de  $\hat{b}$ , não conhecido  $\hat{c}$ .

O mesmo autor apresenta a equação (23) para o cálculo de "b" utilizando a 80<sup>o</sup> amostra de percentil quando conhecido c.

$$\hat{b} = \exp\{\ln(X_{0,80}) - \ln(-\ln(0,20))/c\} \quad (23)$$

onde:

$X_{0,80}$  = valor do diâmetro, tal que a % do número de árvores por unidade de área seja igual a 80%.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1. MATERIAIS

Será apresentada neste capítulo uma descrição sumária das florestas Amazônicas bem como, considerações gerais sobre o POLO-TAPAJÓS, contendo uma classificação tipológica das matas do planalto do Baixo Tapajós, e mais especificamente a descrição tipológica da área Base em estudo como também sua localização.

##### 3.1.1. FLORESTAS AMAZÔNICAS

A Amazônia Brasileira situa-se no extremo setentrional do Brasil, em plena faixa equatorial, sendo detentora de um grande complexo hídrico-florestal. A floresta Amazônica, cobre no Brasil, aproximadamente, 260 milhões de hectares, o que representa 30,5% do território Nacional, 52% do território Amazônico que é compartilhado por mais oito países e 78% das florestas brasileiras (SUDAM<sup>30</sup>).

Segundo HEINSDIJK & MIRANDA BASTOS<sup>9</sup>, muitas divergências existem entre os especialistas com respeito a uma classificação para as florestas tropicais, devido sua grande extensão. Como característica marcante dessas florestas está o fato de grande número de espécies, a quase totalidade das es

pêcies ter folhas perenes. Uma outra característica é a maneira pela qual os elementos que a constituem se dispõem em altura e com uma grande variedade de forma da secção dos troncos das árvores.

As florestas da Amazônia, com exceção do Estado do Acre, apresentam manchas de formações de outra natureza, na maioria das vezes, campos ou cerrados.

### 3.1.2. CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE O POLO-TAPAJÓS

A área em estudo, é a mesma utilizada por QUEIROZ<sup>27</sup> para a realização de sua dissertação de Mestrado na Universidade Federal do Paraná e está localizada no Polo XI-Tapajós, definido através do POLOAMAZÔNIA.

LIMA & SANTOS<sup>17</sup> realizaram uma pesquisa bibliográfica através do Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo - EMBRAPA, onde apresentaram as características do clima, geomorfologia, geologia e solos, as quais foram transcritas por QUEIROZ<sup>27</sup> em seu trabalho.

#### - 3.1.2.1. Características do clima

Segundo a classificação de Köppen citado por LIMA & SANTOS<sup>17</sup>, o clima da região enquadra-se no grupo A, que corresponde a climas tropicais úmidos, sem estação fria, com uma temperatura quente de amplitude anual muito baixa, sendo que a temperatura média do mes menos quente não é inferior a 18°C, é caracterizado por possuir vegetação megatérmica que exige temperatura constante e precipitação elevada.

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.

#### - Insolação -

A região apresenta um grau de nebulosidade bastante elevado, uma vez que a região é submetida a um total brilho solar anual entre 1500h a 3000h correspondendo cerca de 35% a 60% do total de horas que poderia ocorrer na Região.

O índice de eficiência térmica está acima de 1140 mm, caracterizando assim o clima megatérmico.

#### - Umidade do Ar -

O valor médio anual da umidade relativa do ar da Região Amazônica chega a atingir até 91%, enquanto que em outros Estados da Federação é de 64%.

#### - Precipitação Pluviométrica -

Os índices pluviométricos anuais normais oscilam entre 1000 mm a 3600 mm.

A região apresenta duas épocas bastante definidas: a mais chuvosa, a partir de dezembro ou janeiro com cinco ou seis meses de duração sendo o mes de março ou abril o de maior precipitação e a época menos chuvosa onde domina as chuvas de caráter conectivo, abrangendo os demais seis meses.

#### - Tipos climáticos -

Toda a Região se encontra no grupo de clima tropical chuvoso A, apresentando os tipos climáticos Afi, Ami, Awi semelhantes com as oscilação anual da temperatura, que é menor

do que 5°C.

- 3.1.2.2. Características Geomorfológicas

A região caracteriza-se, por ser formada de uma extensa área de Rochas sedimentares, mais ou menos recentes.

A Geologia da área pode ser resumida em:

- Planícies (holoceno e Pleistoceno)
- Tabuleiros da série barreiras (Plioceno)
- Planalto sedimentares - baixos chapadões, chapadas, colunas e coxilhas paleozóicas (carbonífero, permiano e eventualmente (devoniano)).

- 3.1.2.3. Características Geológicas

Sob o ponto de vista geológico, a Bacia Amazônica apresenta-se como uma vasta planície sedimentar, constituída de épocas geológicas recentes, encaixada entre dois planaltos muito antigo formado por rochas cristalinas Pré-Cambriana, o maciço guianense, ao norte e a encosta sententrional do planalto Central Brasileiro, ao sul.

- 3.1.2.4. Características Pedológicas

A caracterização e descrição das unidades de mapeamento encontrados na área do Polo XI - Tapajós pode ser encontrado em detalhes em QUEIROZ<sup>27</sup> e LIMA & SANTOS<sup>17</sup>.

Aqui apresentaremos apenas os tipos de solo de maior ocorrência na área.

Latosol Amarelo: esta unidade genética, é a de maior ocorrência na área, e está representada por solos de grande importância agrícola pela extensão de sua área de ocorrência. Caracterizam-se por apresentar perfil profundo de 1,50 m a mais de espessura, assentados sobre arenitos e argilitos. Tratam-se de solos envelhecidos, ácidos e fortemente ácidos e de boa drenagem.

Amarelo textura média, Latosol Amarelo textura pesada e Latosol Amarelo textura muito pesada, com uma ocorrência de argila no horizonte B de 17% a 35% para o primeiro, de 35% a 70% para o segundo e acima de 70% para o terceiro. Possuem cor variando de bruno acinzentado muito escuro (10 YR 3/3) a Amarelo (10 YR 7/6) nos horizontes inferiores.

Latosol Amarelo Húmico Antropogênico (Terra Preta, de Índio): esta unidade é constituída de solos Latossólicos com Horizonte A bastante profundo por vezes e fortemente preenchidos de cerâmica indígena. Possui coloração bastante escura em (10 YR 3/1) frequentemente, e que se deve ao alto conteúdo de carbono no solo. Apresenta horizonte A variando de 40 a 120 cm, de coloração cinza escuro (10 YR 3/1) ou mesmo preto (N/10), bem drenado, ligeiramente ácido e muito friável. O horizonte B, que poderá alcançar até 150 cm de profundidade, possui coloração amarelá (10 YR 7/6) ou mesmo bruno forte (7,5 YR 5/7) como acontece em Santarém-PA.

### 3.1.3. DESCRIÇÃO TIPOLOGICA DAS MATAS DE PLANALTO DO BAIXO TAPAJÓS

QUEIROZ<sup>27</sup> cita que JEAN DUBOIS\* quando do Inventário

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

Florestal da Rodovia Santarém-Cuiabá realizado pelo Grupo de Operações da Amazônia (GOA) para o Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF) classificou as matas de Planalto do Baixo Tapajós segundo o aspecto fisionômico em:

1. Matas Zonais Climax: abrangendo os seguintes tipos.
  - 1.1. Mata Alta sem Babaçú
  - 1.2. Mata Alta com Babaçú
    - 1.2.1. Fácies Denso
    - 1.2.2. Fácies Aberto
    - 1.2.3. Fácies Babaçual
  - 1.3. Mata Baixa com Emergentes
    - 1.3.1. Fácies típico
    - 1.3.2. Fácies cipoálico
  - 1.4. Mata cipoálica
  - 1.5. Cipoal
2. Matas Zonais Paraclimax:
 

O conjunto de matas da série "FLANCO"
3. Matas Tipo Azonais:
  - 3.1. Mata do tipo Igarapé
  - 3.2. Matas sobre Aluviões recentes

Os tipos mata alta com babaçú e mata alta sem babaçú ocorrem sobre o planalto, sempre em solos argilosos pesados, e constituem áreas potenciais para exploração imediata, e execução de planos de manejo, visando um rendimento madeireiro sustentado.

As faixas ectômicas se restringem no limite entre planalto e flanco.



Nas conclusões do GOA-IBDF<sup>26</sup>, os tipos florestais Mata alta com Babaçú e Mata alta sem Babaçú, bem como Mata Baixa com Emergentes e Mata de Cipoal, considerando-se para esses tipos florestais o diâmetro mínimo de 45 cm, não apresentaram diferença significativa em relação ao volume desses povoamentos.

Muito embora os tipos florestais, não sejam caracterizados estatisticamente, o aspecto fisionômico conduz a uma estratificação, principalmente nos dois primeiros tipos considerados, visto ser o "fácies" babaçú um indicador claro da estratificação.

#### 3.1.4. DESCRIÇÃO TIPOLÓGICA DA ÁREA BASE DA PESQUISA

Com base na classificação de DUBOIS e após as observações das características fisionômicas da área em estudo QUEIROZ<sup>27</sup>, descreveu o seguinte quadro das unidades tipológicas.

Mata alta sem babaçú, fácies aberto ocorrendo nos topos, em terrenos sub-horizontais e horizontais. Este tipo de mata apresenta uma estrutura significativamente mais aberta na área em estudo do que em áreas cobertas por este tipo florestal localizado mais ao sul.

Em situação plana, a cobertura florestal de fato, apresenta uma estrutura mais densa e homogênea no que diz respeito as variáveis volume, área basal, etc .

De uma maneira geral, trata-se de uma mata relativamente aberta com poucas árvores de grandes diâmetros, com distribuição bastante dispersa. Todavia, manchas de estrutu

ras mais fechadas e com maior adensamento de árvores das classes superiores de diâmetro são encontradas.

Há ocorrência de pequenas manchas de matas cipoálicas, que provavelmente são representativas de estágios dinâmicos.

Nos declives, de um modo geral, observa-se Mata baixa com emergentes sem babaçú, e nos fundos, ocorrência de matas cipoálicas, dependendo evidentemente da intensidade do declive.

Em regiões de colinas, as matas das partes mais baixas são melhores, devido o solo ser mais úmido e apresentar maior deposição de humus. Este fenômeno é observado em alguns locais da área e é o inverso do que geralmente ocorre, exceção acontece nas matas de muito boa aparência sobre aluviões recentes.

As espécies encontradas na área base da pesquisa, apresentam-se com a denominação dada pela equipe de identificação da Estação de Pesquisas Florestais do Tapajós (E.P.F.T.). Das espécies não identificadas no campo, material botânico foi coletado para posterior identificação pela EMBRAPA.

Apenas os gêneros foram dados para aquelas em que a espécie não foi possível identificar. Outras como as codificadas como (005 e 006) só foi possível a identificação da família e por facilidade de processamento foram chamados de *Anonaceae* (família), compondo o grupo envira ou pimenta, conforme seus respectivos nomes vernaculares.

QUEIROZ<sup>27</sup> classificou as 167 espécies levantadas no campo, em cinco classes, baseando-se na importância econômica no mercado local e internacional.

Como visto nos objetivos desta pesquisa, as espécies de maior valor econômico da área constituirão uma população teórica, para a qual serão testados os modelos matemáticos; para isso as classes I e II segundo QUEIROZ<sup>27</sup>, foram agrupadas para formar o grupo das espécies econômicas, isto é, espécies com mercado de exportação definido e espécies bem estabelecidas no mercado nacional, eventualmente susceptíveis de serem promovidas para exportação.

No quadro 31 apresentado no apêndice encontra-se a relação das espécies devidamente codificadas segundo a ordem alfabética dos nomes científicos.

#### 3.1.5. POPULAÇÃO AMOSTRADA

Os dados usados neste estudo foram obtidos em uma área de florestas definida como população, na Floresta Nacional do Tapajós no Município de Santarém - PA, possuindo 5.341,04 hectares, com uma ocorrência absoluta de 167 espécies levantadas. Inicia no Km 62 da Rodovia BR-165, estendendo-se no sentido Norte-Sul até o Km 72, distando-se de sua margem direita, um mínimo de 550 m da estrada, atingindo uma profundidade de 12,5 Km em direção Este-Oeste.

Dos 5.341,04 ha, uma área de 5306,04 ha foi estabelecida por QUEIROZ<sup>27</sup> a qual foi dividida em 51 sub-populações de 104,04 ha, ou seja, em quadrados de 1020 metros de lado, onde foram lançadas as unidades de amostras constituídas de quatro sub-unidades de 500 metros de comprimento por 20 m de largura perfazendo um total de 204 ha amostrados. Os dados

de diâmetros a partir de 30 cm para essa pesquisa foram obtidos do trabalho de QUEIROZ<sup>27</sup> nesta área.

Quando da realização de Inventários diagnósticos da área, foram medidos 35 ha pelo Eng<sup>o</sup>. Flor. JOÃO OLEGÁRIO P. CARVALHO\*, pesquisador da E.P.F.T. Destas medições aproveitou-se os dados de diâmetros inferiores de 30 cm.

A penetração ao interior da área foi feita através de picadas abertas perpendiculares à BR-165, uma vez que o principal acesso a área é feito pela BR-165 que liga Cuiabá à Santarém e margeia a área.

Os trabalhos de campo foram executados pelas equipes do Projeto de Desenvolvimento e Pesquisa Florestal (PRODEPEF), através de sua Estação de Pesquisa Florestal do Tapajós (E.P.F.T.), sediada na Base Física de Belterra, Município de Santarém, atualmente incorporada pela EMBRAPA.

Os dados de diâmetros foram coletados segundo os critérios normalmente adotados, utilizando fita diamétrica com uma precisão de 1 cm.

\* Pesquisador I do PNPF - Programa Nacional de Pesquisa Florestal - CPATU, EMBRAPA.

- 3.1.5.1. Croqui da área

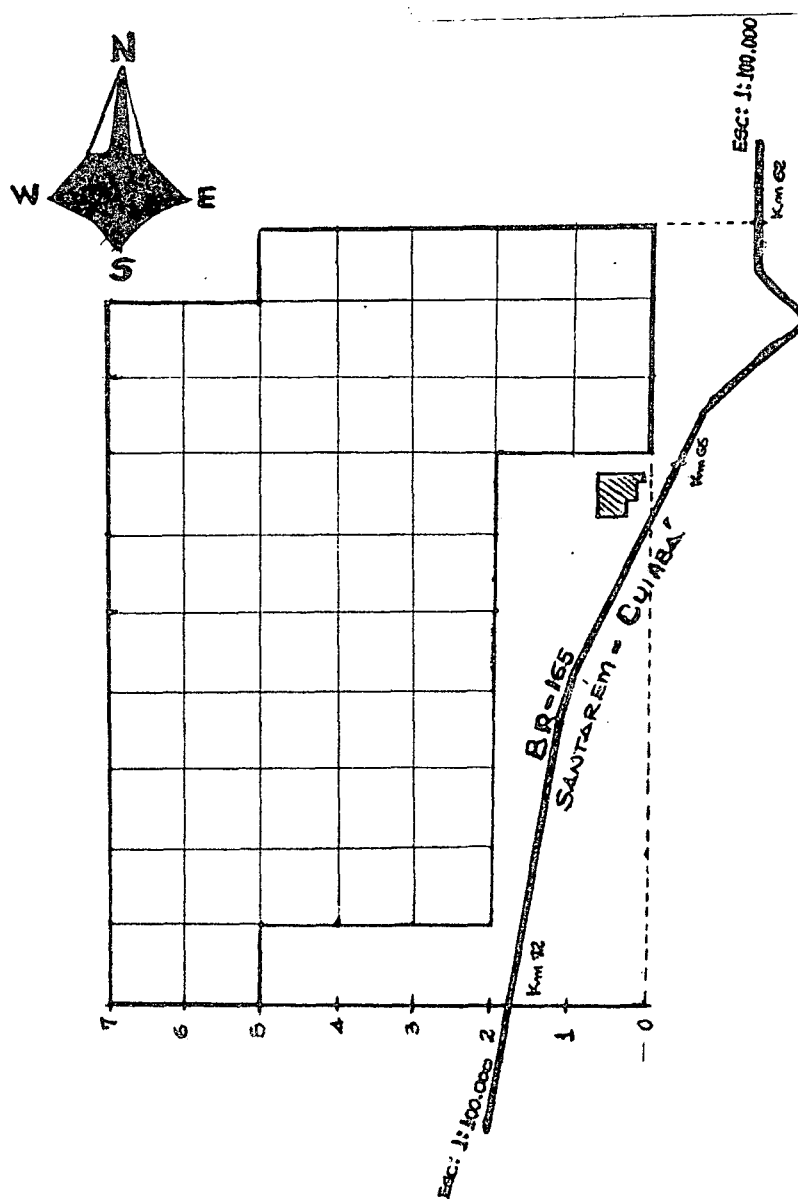


FIGURA 4: Croqui da área em estudo na escala de 1:50.000 (QUEIROZ<sup>27</sup>)

### 3.2. MÉTODOS

#### 3.2.1. MANIPULAÇÃO INICIAL DOS DADOS

Nesta etapa foi feita a codificação das espécies das árvores com diâmetros inferiores a 30 cm provenientes da área de 35 ha segundo os mesmos códigos adotados por QUEIROZ<sup>27</sup> para os indivíduos com diâmetros a partir de 30 cm, oriundos da área de 204 ha.

Os dados provenientes da área de 35 ha bem como aqueles da área de 204 ha foram transformados para uma área de 100 ha, tomada como área base para esta pesquisa, e determinadas as frequências para os intervalos de classes diamétricas de 5 cm, 7 cm e 10 cm, a partir de um diâmetro mínimo de 15 cm.

Os diferentes intervalos de classes foram utilizados em três grupos de espécies:

Grupo I: TODAS AS ESPÉCIES - Este grupo foi constituído de 167 espécies levantadas na área.

Grupo II: ESPÉCIES FREQUENTES - Formado pelas espécies com maior ou igual a 1% de ocorrência na área de 100 ha.

Grupo III: ESPÉCIES COMERCIAIS - Espécies com mercado de exportação definido e espécies bem estabelecidas no mercado nacional, eventualmente susceptíveis de serem promovidas para exportação.

As relações das espécies dos diferentes grupos segundo a ordem alfabética dos nomes científicos podem ser encon

tados no quadro 31 do apêndice.

### 3.2.2. MODELOS PARA DESCREVER A DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA

Os modelos matemáticos em estudo utilizados para descrever a estrutura diamétrica do povoamento da área da pesquisa 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.

Para a estimativa dos coeficientes dos modelos utilizou-se o número de árvores por 100 ha agrupados por classes de diâmetros para os três diferentes grupos de espécies, como a variável dependente, e os centros de classes de diâmetros como variável independente, exceto o modelo 7 (função Beta) em que os centros de classes foram corrigidos para o diâmetro médio da classe.

#### - 3.2.2.1. Modelos logarítmicos

Para os modelos logarítmicos 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 centros de classes de diâmetros. O símbolo  $b_i$ ,  $i$  variando de 0 a  $m$ , representa os coeficientes a serem estimados.

##### 3.2.2.1.1. Modelo 1: Exponencial, Tipo 1, MEYER

Logaritmizando a equação (1) temos:

$$\log y = \log b_0 + b_1 d \quad (24)$$

Os coeficientes A e B da equação 1 foram derivados pela regressão da equação 24.

LOESTCH et al.<sup>18</sup> enfatizam que pela integração da equação 1 o número de árvores por classe de diâmetro não é representado por retângulos e sim por blocos, em que os limites superiores são secções da curva da distribuição. Devido a este fato, uma super estimativa do número de árvores por classes de diâmetros ocorre, em virtude do decréscimo da frequência de diâmetros do limite inferior para o superior não ser linear, embora seja assumido para continuar em progressão geométrica. O fator de correção foi calculado pela seguinte equação:

$$F_c = (w \cdot B') / (e^{B'(w/2)} - e^{-B'(w/2)}) \quad (25)$$

onde B' foi obtido por

$$B' = |b_1 / \log e| \quad (25.1)$$

onde:

$b_1$  = coeficiente angular da equação (24)

$\log e$  = constante (0,4342944)

w = amplitude de classe de diâmetro

e = base do logarítmico natural (2,7182818)

Determinado o valor de "F<sub>c</sub>" efetuou-se a correção do coeficiente A.

$$A' = 10^{(\log b_0 - \log w)} \cdot F_c \quad (25.2)$$

onde o valor  $\log b_0$  é obtido da equação (24) e w é a amplitude de classe.

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

$$y = (w \cdot A') \cdot e^{-B'd} \quad (25.3)$$



A razão de decréscimo entre as sucessivas classes de diâmetros foi determinada por

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

que é constante para distribuições descritas por este modelo.

#### 3.2.2.1.2. Modelo 2: Exponencial do Tipo II, MEYER

Os coeficientes da equação (2) foram obtidos pela regressão

$$\log y = \log b_0 + b_1 d^2 \quad (26)$$

Neste modelo não foi feita a correção, pois este fator " $F_c$ " depende exclusivamente da magnitude de B e da amplitude de classe dos diâmetros sobre o qual o ajustamento foi baseado, proporcionando um  $F_c = 1$ .

#### 3.2.2.1.3. Modelo 3: Potencial, MERVART

Utilizou-se a regressão

$$\log y = \log b_0 + b_1 \log d \quad (27)$$

obtida pela logaritmização da equação (6) para a obtenção dos coeficientes.

#### 3.2.2.1.4. Modelo 4: Hiperbóle, PIERLOT

Transformando a equação 3 para a notação utilizada temos:

$$y_i = [(d_i - d_0) / (10^{A+Bd_i} - 1)] + y_0 \quad (28)$$

E os coeficientes A e B foram estimados pelo processo

dos mínimos quadrados pela equação.

$$\log y' = A + Bd_i \quad (28.1)$$

onde:

$$y' = |(d_i - d_0) / (y_i - y_0)| + 1$$

$d_0$  = centro da classe inicial dos diâmetros

$y_0$  = número de árvores na classe inicial dos diâmetros

$d_i$  = centro da classe i dos diâmetros

$y_i$  = número de árvores na classe i dos diâmetros

A,B = coeficientes a serem estimados

#### 3.2.2.1.5. Modelo 5: Polinomial, GOFF & WEST

$$\log y = b_0 + b_1d + b_2d^2 + \dots + b_nd^m \quad (29)$$

Para este modelo polinomial, foram ajustadas as polinomiais, de potências sucessivas, até  $m = 5$ , dos centros de classes dos diâmetros (d) que foram usadas como variável independente, enquanto que a variável dependente foi o logarítmico do número de árvores por 100 ha por classe de diâmetro.

Se o grau de uma equação polinomial for igual ao número de pontos de dados, a curva representativa dessa equação passará através de cada um dos pontos sobre um gráfico. No entanto, procurou-se descrever a distribuição da área estudada, com um modelo mais simples quanto possível, isto é, com uma equação de menor grau capaz de representar um ajuste satisfatório.

O critério utilizado para selecionar o grau apropriado da equação foi a correlação simples das variáveis independentes " $d, d^2, d^3, d^4, d^5$ " 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.

### 3.2.2.2. Modelos não logarítmicos

#### 3.2.2.2.1. Modelo 6: Função Weibull

A função de distribuição acumulativa foi descrita pela equação

$$F(d) = 1 - \exp\{-(d/b)^c\}$$

onde:

$F(d)$  = Porcentagem do número de árvores até um diâmetro "d" especificado

c, b = coeficientes a serem estimados

Na estimativa do coeficiente "c" foram utilizadas duas amostras de percentis r e t apropriadas para o uso da equação 22. Uma vez conhecido o valor de "c" estimou-se o coeficiente "b" pela equação 23.

Para a escolha das amostras de percentis "r" e "t" para o cálculo do coeficiente "c", após testados vários valores tomou-se como critério o percentil próximo a frequência relativa acumulada da primeira classe diamétrica para o valor "t" fixando-se o percentil igual a 0,99 para "r".

Conhecidos os valores de r e t, foram determinados os valores de  $X_r$  e  $X_t$  respectivamente.

#### 3.2.2.2.2. Modelo 7: Função Beta

A função Beta ajustada para a frequência observada

foi definida como:

$$f(\bar{d}_i) = c(\bar{d}_i - a)^\alpha \cdot (b - \bar{d}_i)^\gamma \quad (30)$$

onde:

$f(\bar{d}_i)$  = número 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 frequência 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.

$\bar{d}_i$  = diâmetro médio da classe  $i$  de diâmetros obtido através de correção dos centros de classe  $(d_i)$ .

$\alpha, \gamma$  = expoentes a serem estimados.

Para a correção dos centros de classes ( $d$ ), a diferença do número de árvores de duas classes adjacentes foi obtida pela equação (31) enquanto que o número de árvores para a primeira e última classe foram calculados pelas equações (31.1) e (31.2) respectivamente.

$$\Delta y_i = (y_{i-1} - y_{i+1})/4 \quad (31)$$

$$\Delta y_1 = (y_1 - y_2)/2 \quad (31.1)$$

$$\Delta y_k = y_k/2 \quad (31.2)$$

A diferença entre os centros de classes ( $d_i$ ) e o diâmetro médio da classe ( $\bar{d}_i$ ) foi obtido pela equação.

$$D_i = \frac{1}{6} \cdot (w \cdot \Delta y_i) / y_i \quad (31.3)$$

Os diâmetros médios de classes foram obtidos pela

equação (31.4)

$$\bar{d}_1 = (d_1 - D_1)$$

onde:

$y_i$  = número de árvores por classe de diâmetro  $i$

$y_k$  = número de árvore na última classe de diâmetro

$w$  = amplitude de classe

$\Delta y_i$  = diferença entre o número de árvores de duas classes de diâmetros adjacentes

Os valores dos coeficientes "a" e "b" foram determinados pelas equações (11) e (13) respectivamente.

Sendo o parâmetro  $\gamma$  uma função da média e variância, estimou-se os valores relativos pelas equações (32) e (33) respectivamente.

$$\bar{d}_{real} = (\bar{d} - a)/(b-a) \quad (32)$$

$$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^k \bar{d}_i \cdot y_i}{\sum_{i=1}^k y_i} \quad (32.1)$$

$$S_{real}^2 = (S^2/(b-a)^2) \quad (33)$$

$$S^2 = \left( \sum_{i=1}^k \bar{d}_i \cdot y_i - \left( \sum_{i=1}^k \bar{d}_i \cdot y_i \right)^2 / \sum_{i=1}^k y_i \right) / \sum_{i=1}^k y_i \quad (33.1)$$

onde:

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

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

Os expoentes da função Beta foram estimados pelas fórmulas:

$$\gamma = |\bar{d}_{real}(1-\bar{d}_{real})^2/S_{real}^2| + |\bar{d}_{real} - 2| \quad (34)$$

$$\alpha = |\bar{d}_{real}/(1-\bar{d}_{real})| \cdot (\gamma + 1) - 1 \quad (35)$$

Em virtude das sub-estimativas do número de árvores nas classes de maior diâmetro pela função Beta devido ao estreitamento da distribuição em função do valor de "b", LOETSCH et al.<sup>18</sup>, a função Beta considerada como ótima para descrever a distribuição diamétrica da área em estudo foi aquela que apresentou menor soma dos quadrados dos resíduos para um determinado "b" acrescido de um valor E, como mostra a equação (13). A máxima extensão E limitada para um quarto da amplitude total (b-a) foi dividida em seis partes iguais proporcionando o ajuste de seis distribuições das quais apenas a que apresentou menor soma dos quadrados dos desvios foi selecionada para descrever a distribuição dos diâmetros para os diferentes grupos de espécies.

### 3.2.3. SELEÇÃO DA EQUAÇÃO PARA DESCREVER A DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA DA ÁREA

Embora tenham sido estimados alguns valores estatísticos para os modelos testados, tais como: valor de F, coeficiente de determinação ( $r^2$ ), erro padrão de estimativa ( $Sy.x$ ) e este expresso em porcentagem para melhor visualização do erro, o critério final utilizado na seleção da equação para descrever a distribuição diamétrica da área entre os sete modelos testados foi a soma dos quadrados dos resíduos, juntamente com uma análise gráfica plotando-se os pontos reais em relação a curva ajustada pelos modelos. Também foi determinada a probabilidade associada com o número de sucessão de elementos (grupos de mesmo tipo de sinal) dos resíduos para tomada de decisão sobre as irregularidades dos padrões dos gru

pos de resíduos positivos e negativos.

para a determinação da probabilidade associada foram definidas os elementos  $N_1$ ,  $N_2$  e  $U$  segundo a metodologia apresentada por DRAPER & SMITH<sup>6</sup>, onde  $U$  (run) foi definido como uma sucessão de elementos do mesmo sinal os quais são seguidos e precedidos por elementos de outro sinal,  $N_1$  como sendo o número de elementos de um determinado tipo de sinal e  $N_2$  o número de elementos do outro tipo de sinal. Então  $U$  é o número de sucessões de sinais iguais que ocorreu em um conjunto de  $N_1 + N_2$  sinais.

Conhecidos os valores de  $N_1$ ,  $N_2$  e  $U$  para cada série de resíduos resultantes do ajuste dos modelos testados, determinou-se a probabilidade associada através da tabela "DISTRIBUTION OF THE TOTAL NUMBER OF RUNS  $u$  IN SAMPLES OF SIZE  $(N_1, N_2)$ ", em BEYER<sup>4</sup>.

Rejeitou-se a hipótese de que a distribuição do número de mudanças de sinais dos resíduos observados ( $U$  observado) tenha ocorrido devido ao acaso, isto é, sem tendência, se o valor tabelado da Probabilidade Associada foi menor ou igual do que um valor de  $\alpha = 0,05$  pré-estipulado.

#### 3.2.4. SELEÇÃO DO INTERVALO DE CLASSE

Para a escolha do intervalo de classe a ser selecionado foram feitas as comparações dos ajustes dos diferentes modelos nos diferentes intervalos de classes utilizados

O intervalo de classe selecionado foi aquele no qual os modelos apresentaram os melhores ajustes.

### 3.2.5. COMPUTAÇÃO DOS DADOS

A programação foi feita em linguagem BASIC e o processamento foi realizado no Centro de Computação ALTAIR PEREIRA BARUSSO do Departamento de Silvicultura e Manejo da Universidade Federal do Paraná, utilizando-se o computador HP-9830 A.



#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados dos modelos testados por grupo de espécies para os diferentes intervalos de classes utilizados, procurando quando possível usar quadros e figuras, o que torna desnecessário extensas descrições verbais.

Os valores de F calculado, coeficiente de determinação ( $R^2$ ), o erro padrão da estimativa ( $Sy.x$ ), e este expresso em porcentagem ( $Sy.x\%$ ), a soma dos quadrados dos resíduos além da probabilidade associada (PA) à distribuição dos grupos de espécies nas três amplitudes de classes diamétricas para os modelos logarítmicos, são apresentados para os modelos logarítmico. Para a função beta (modelo 7) foram determinados a soma dos quadrados dos resíduos e o valor da "PA", enquanto que para a função Weibull (modelo 6), apenas a soma dos quadrados dos resíduos foi calculada, pois trata-se de uma função acumulativa em que os sinais dos resíduos das últimas classes diamétricas são função das classes iniciais dependendo se estas são super ou sub-estimadas, tornando-se desse modo os resíduos por classes de diâmetros dependentes, impossibilitando o uso do teste baseado na probabilidade associada que é aplicável somente para dados independentes.

Para a função exponencial negativa do modelo 1 foi feita a correção dos coeficientes A e B da equação (1), devido ao fato do número de árvores por classe de diâmetro ser

representados por blocos em que os limites superiores são secções da curva da distribuição e não retângulos. Os coeficientes A e B corrigidos para todas as equações testadas para os diferentes grupos de espécies por este modelo são vistos no quadro (01) juntamente com os devidos fatores de correção ( $F_c$ ). Os fatores de correção aumentam à medida que diminuem os valores de B e as amplitudes de classes, isto é, inversamente proporcional a inclinação B e a amplitude de classe (W). Para o grupo I de todas as espécies, agrupadas em intervalos de classes de 10 cm, a soma dos quadrados dos resíduos calculados com os valores corrigidos foi mais de 50% menor em comparação com a soma dos quadrados dos resíduos obtidos através dos valores não corrigidos.

A expressão  $A.e^{-Bd}$  se aproxima a zero na medida que aumentam os diâmetros. A influência do coeficiente "A" na expressão é maior para as classes de menores diâmetros.

O coeficiente "B" indica a taxa de crescimento da função, sendo também responsável pela inclinação da curva. No quadro 01 observa-se que os valores entre 0,04 para o grupo III das espécies comerciais e 0,05 para os grupos I, II de Todas as Espécies e Espécies frequentes, enquanto esses valores não corrigidos são ligeiramente menores, afetando assim principalmente o ajuste das primeiras classes em que o coeficiente "A" exerce maior influência e o coeficiente "B" afeta ligeiramente a inclinação de toda a amplitude de distribuição.

As equações polinomiais descritas pelo modelo 5 apresentadas neste estudo foram selecionadas, tomando-se como critério para a seleção das variáveis independentes que par

QUADRO 01: Valores dos coeficientes A e B da equação (1) corrigidos e valores dos fatores de correção.

GRUPO DE ESPÉCIE	MODELO	COEFICIENTES CORRIGIDOS		
		INTERVALOS DE CLASSES (W)		
		10 cm	7 cm	5 cm
I	$y = W \cdot A \cdot e^{-Bd}$	A = 1396,763	A = 1356,407	A = 1317,107
		B = 0,0528215	B = 0,0525657	B = 0,0520997
II		A = 1127,678	A = 1038,335	A = 996,235
		B = 0,0570375	B = 0,0558865	B = 0,0552459
III		A = 277,957	A = 287,497	A = 265,668
		B = 0,0431865	B = 0,0438251	B = 0,0424419
I		$F_c = 0,988468$	$F_c = 0,994381$	$F_c = 0,997178$
II	Fatores de correção	$F_c = 0,986572$	$F_c = 0,993652$	$F_c = 0,996828$
III		$F_c = 0,992271$	$F_c = 0,996089$	$F_c = 0,998126$

participam das equações, as que apresentaram uma correção simples menor ou igual a  $-0,95$  com a variável dependente ( $\log y$ ).

As equações dos modelos 1, 2 e 3 constituem casos especiais de uma série polinomial do modelo 5.

As equações da função Beta foram selecionadas pela menor soma dos quadrados dos desvios obtida, em função da maior ou menor extensão de "b" testado.

Os coeficientes "c" e "b" da função Weibull (modelo 6) foram estimados pelo método de percentis. Uma vez conhecidos os coeficientes, as porcentagens do número de árvores por 100 ha até aos diâmetros especificados do povoamento foram estimados e essas transformadas em número de árvores por classes diamétricas.

O coeficiente "b" da função Weibull caracteriza a escala que apresentou uma variação de  $27,32$  a  $43,0$  entre todas as equações apresentadas neste estudo; o menor valor de "b" foi encontrado para as espécies frequentes (grupo II) com intervalo de classe de 10 cm enquanto o maior valor foi observado para as espécies comerciais (grupo III) com intervalo de classe de 5 cm. O coeficiente "c" é responsável pela forma e este variou de  $1,2913$  a  $1,652$  para os diferentes grupos de espécies caracterizando funções de densidade em forma de monte positivamente assimétrica.

Verificando a frequência dos desvios positivos e negativos resultantes da diferença entre o número de árvores observadas e o número de árvores estimadas pela função Weibull (modelo 6) de dois-parâmetros, nota-se que esse modelo apresenta um tendência da maioria dos resíduos por equação se

rem ou positivos ou então negativos, mostrando a tendência da distribuição ajustada ser modificada para os maiores diâmetros. BAILEY<sup>1</sup> obteve números quase iguais de desvios positivos e negativos com a introdução de um terceiro parâmetro "a", uma vez que o modelo de dois-parâmetros apresentou um número de desvios maior que zero significativamente maior que desvios menores que zero.

A estimativa do número de árvores por unidade de área e por classe diamétrica através da equação hiperbólica de PIERLOT (modelo 4), é função dos diâmetros, centro da primeira classe diamétrica e do número de árvores nesta classe; esses elementos forçam um ajuste da distribuição através do primeiro ponto de dados. O motivo desse ajuste forçado para a classe inicial é uma tentativa de se conseguir ajustar os demais pontos da distribuição. O efeito desse ajuste forçado resultou em estimativas de número de árvores negativas para as últimas classes em todos os grupos de espécies utilizado nesta pesquisa.

As equações do modelo potencial de MERVART (modelo 3) parecem dar um pior ajuste, já que apresentam os extremos da distribuição super estimados ao contrário do modelo 2 em que os extremos das distribuições apresentam-se sub estimados, proporcionando também um ajuste não satisfatório, em virtude de não haver distribuição uniforme dos resíduos em toda a amplitude das distribuições.

Os resultados dos modelos serão apresentados nos quadros 01 a 29 e figuras de 05 à 27 por grupo de espécie e por intervalos de classes.

#### 4.1. TODAS AS ESPÉCIES (GRUPO I)

##### 4.1.1. INTERVALO DE CLASSE DE 10 cm

Os quadros 02 e 03 apresentam os resultados dos modelos logarítmicos e não logarítmicos respectivamente, enquanto que os resultados das somas dos quadrados dos resíduos e os respectivos valores das probabilidades associadas são vistos no quadro 04.

O valor crítico de F foi aquele a um nível de  $\alpha = 0,05$  de probabilidade para seus correspondentes graus de liberdade. O número de sequências de grupos de resíduos de mesmo sinal é considerado ao acaso se o valor da probabilidade associada "PA" for maior do que 0,05.

No quadro 02 pode ser visto que todos os modelos apresentam 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. No entanto no quadro 04, apenas os modelos 1 e 5 apresentam uma distribuição dos grupos de resíduos ao acaso.

Neste grupo de espécies, a equação do modelo 4 apresentado no quadro 02, apesar de apresentar um dos mais altos valores de  $R^2$  e um baixo valor de  $Sy.x\%$ , apresenta a terceira maior soma dos quadrados dos resíduos e um valor da probabilidade associada ao número de grupos de resíduos positivos e negativos menor que 0,05, como visto no quadro 04; isto indica uma tendenciosidade das mudanças de sinais dos resíduos, pois o número de sucessão de grupos de mesmo sinal é considerado ao acaso se a probabilidade "PA" for maior do que 0,05.

QUADRO 02: 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	Sxy%
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	$\log(\bar{y}+1) = b_0 + b_1 d$	$b_0 = 1,13004 \text{ E-03}$ $b_1 = -9,00311 \text{ E-05}$	1/14	3736,60	0,9960	0,0002716	3,88
5	$\log y = b_0 + b_1 d + b_2 d^2 + b_3 d^3$	$b_0 = 4,177057886$ $b_1 = -0,027472721$ $b_2 = 8,79542 \text{ E-05}$ $b_3 = -3,94387 \text{ E-07}$	3/12	1063,20	0,9962	0,07499	3,80

QUADRO 03: 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 E-11 α = -0,2058104 γ = 6,3116508	-	-	-	-	-	15	215



QUADRO 04: 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
35 - 45	1599	1689	1211	1362	1095	1562	1552	1582
45 - 55	941	996	951	585	741	942	1039	1021
55 - 65	556	587	708	294	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

Comparando-se o modelo 1 com o modelo 7, nota-se que apesar do valor da soma dos quadrados dos resíduos para o modelo 7 ser consideravelmente menor do que para o modelo 1, o valor da "PA" foi menor do que o valor crítico considerado, indicando tendenciosidade na distribuição dos grupos de resíduos e deixando dúvida sobre a utilização da equação. A diferença das somas dos quadrados dos resíduos entre dois modelos, deve-se ao fato do ajuste estar super estimado consideravelmente as três primeiras classes pelo modelo 1, entretanto apresenta boas estimativas das demais classes, como mostram as figuras 05 e 06. A figura 06 traçada em papel semi-logarítmico produziu uma linha reta em virtude deste modelo ser baseado em uma progressão geométrica uniforme.

A função polinomial (modelo 5) aparece para dar um melhor ajuste, como mostram os dados dos quadros 02 e 04 em que apresentam o maior  $R^2$  com um baixo erro padrão de estimativa, a menor soma dos quadrados dos resíduos e uma distribuição dos grupos dos resíduos não tendenciosa. O ajuste deste modelo é apresentado nas figuras 07 e 08. O modelo em questão traçado em papel semi-logarítmico na figura 08 apresentou uma forma semelhante a forma sugerida por GOFF & WEST<sup>8</sup> mostrando que a distribuição diamétrica de todas as espécies levantadas na área em estudo, quando agrupadas em intervalos de classes de 10 cm é melhor ajustada por um modelo que expresse a razão de crescimento e mortalidade proporcional ao número de árvores por classe de diâmetro do que a exponencial negativa de MEYER (modelo 1) que considera a variação de crescimento constante em toda a amplitude da distribuição, evidenciando uma distribuição não balanceada.

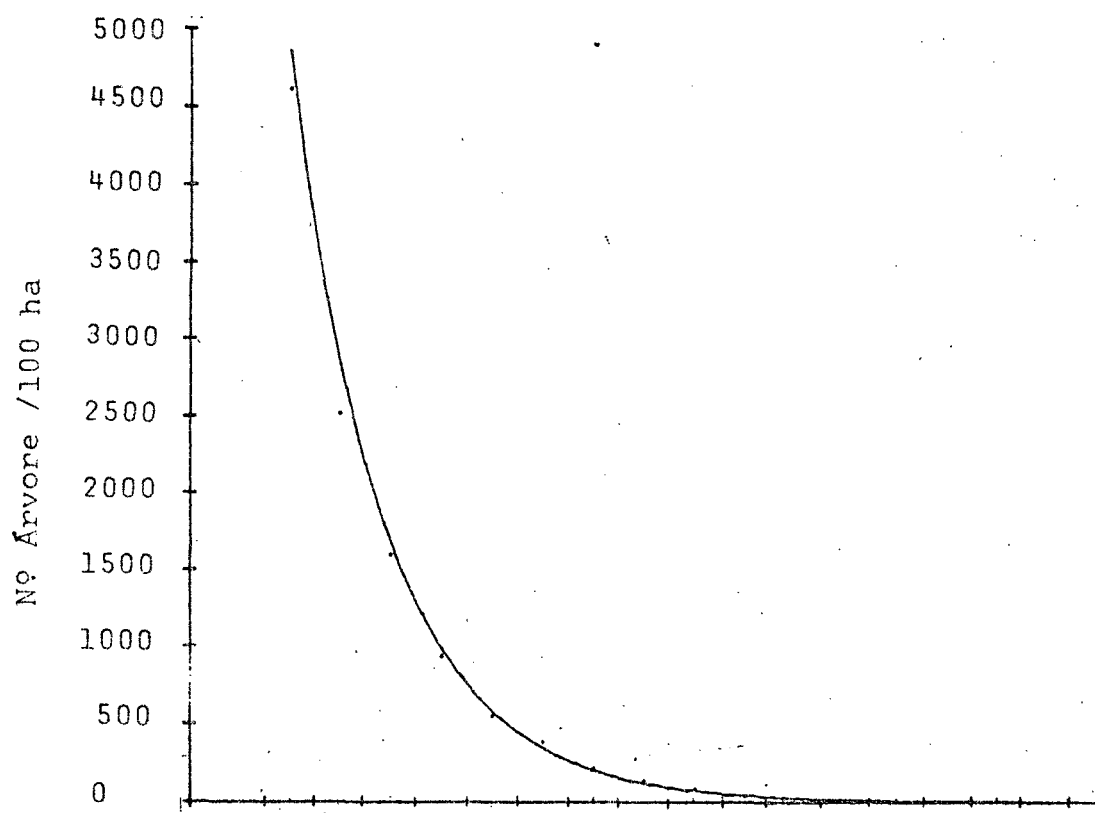


Figura 05: Distribuição diamétrica de Todas as Espécies com Intervalos de classes de 10 cm, ajustada pelo Modelo 1

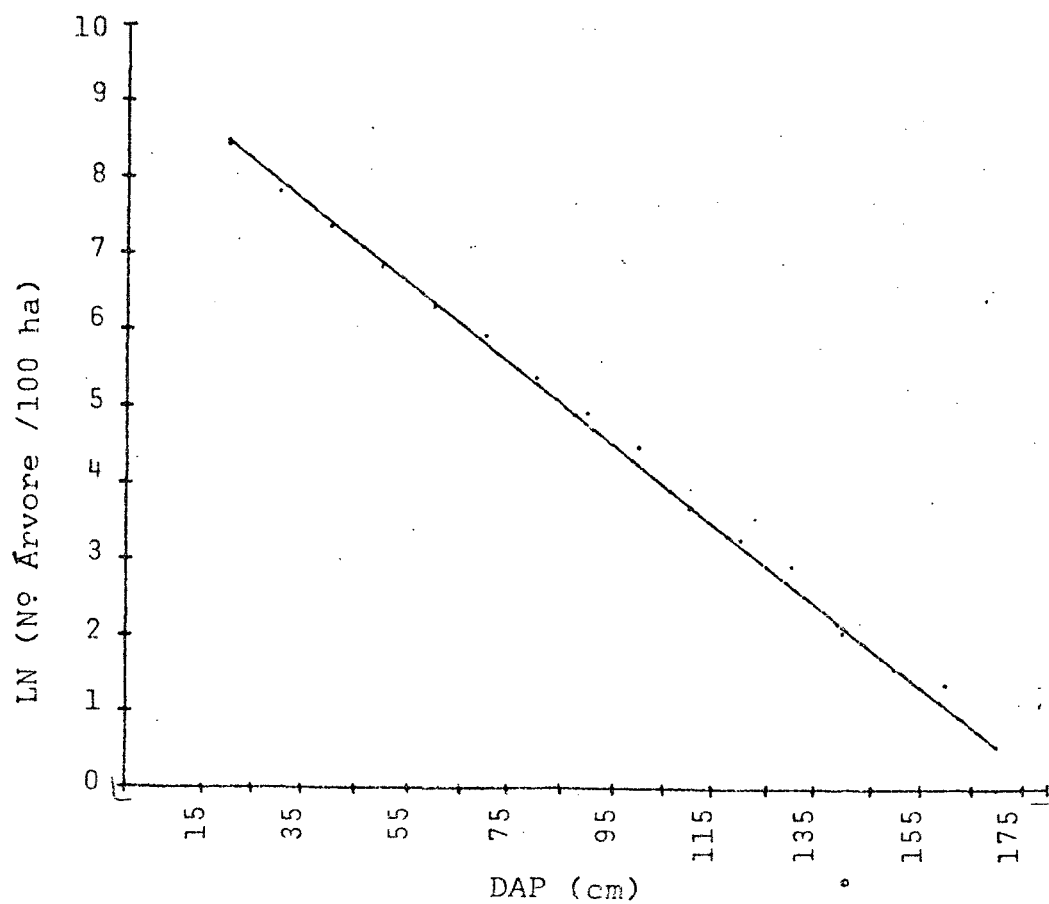


Figura 06: Distribuição diamétrica de Todas as espécies em papel semi-log com intervalos de classes de 10 cm, ajustada pelo Modelo 1

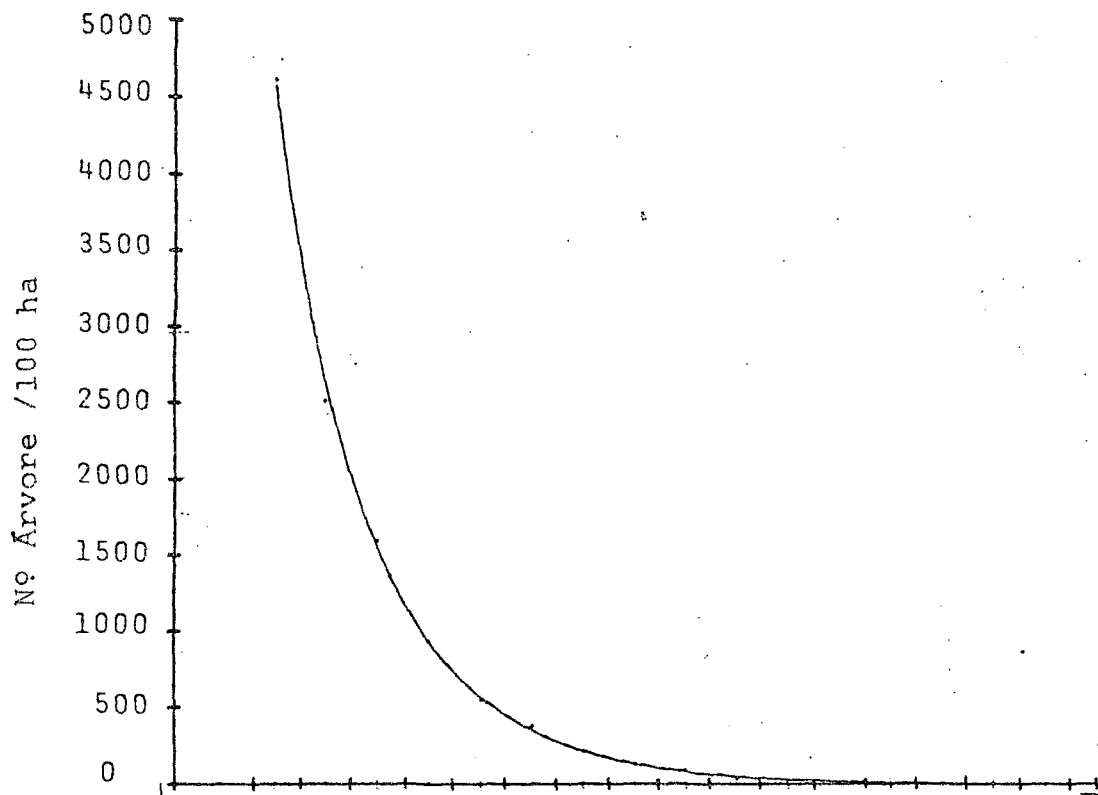


Figura 07: Distribuição Diamétrica de Todas as Espécies com intervalos de classes de 10 cm, ajustada pelo Modelo 5

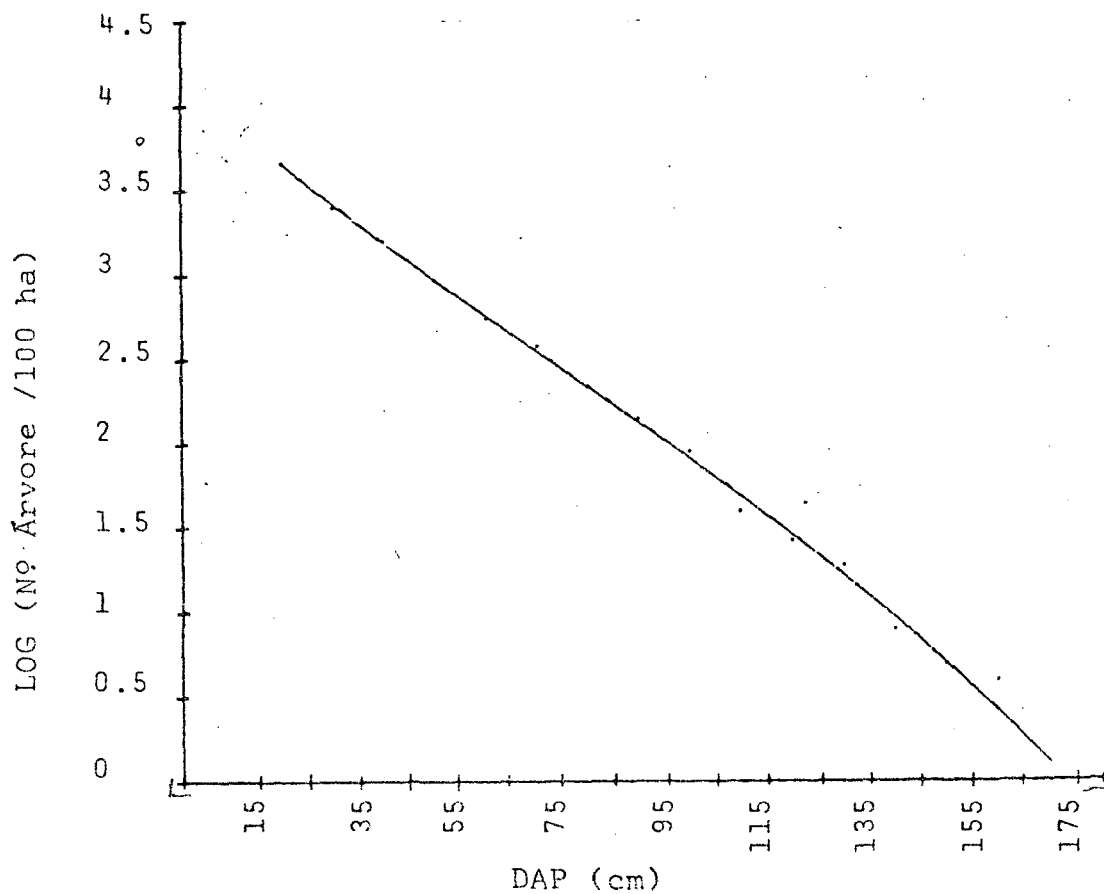


Figura 08: Distribuição de Todas as Espécies em papel semi-log com intervalos de classes de 10 cm, ajustada pelo Modelo 5.

A forma sigmoïdal não apresentou-se com maior nitidez, isto é, sem decréscimos acentuados, indicando a condição de povoamento antigo, por outro lado devido a distribuição começar já de um diâmetro mínimo de 15 cm, não evidenciando um decréscimo acentuado no início da distribuição.

#### 4.1.2. INTERVALO DE CLASSE DE 7 cm

No quadro 05 todos os valores de F aparecem superiores aos valores críticos tabelados para um nível de significância de  $\alpha = 0,05$  para seus respectivos graus de liberdade, assim como os valores de  $R^2$  também são todos acima do valor de 0,75 considerado como crítico. Dos erros padrões de estimativas, o mais baixo foi obtido pela equação do modelo 4. Este modelo mostrado no quadro 07 apresenta um elevado valor da soma dos quadrados dos resíduos com uma probabilidade "PA" inferior ao valor crítico (0,05), além de apresentar números negativos de árvores nas quatro últimas classes devido ao ajuste forçado pelo modelo para a classe inicial dos diâmetros.

Quando comparados os valores de  $R^2$  e  $Sy.x\%$  do quadro 05 para os modelos 1 e 5, esses se equivalem, mostrando um bom ajuste da distribuição juntamente com os valores da "PA" apresentarem-se maiores que o valor crítico, indicando a não tendenciosidade nessas distribuições conforme quadro 07, porém o modelo 1 apresenta uma soma dos quadrados dos resíduos menor do que o modelo 5, proporcionando um melhor ajuste como pode ser visto nas figuras 09 a 12.

QUADRO 05: Modelos logarítmicos para estimativa do número de árvores/100 ha e por classes de diâmetros de 7 cm, para o grupo I (todas as espécies).

Nº	MODELOS	COEFICIENTES	Gh.	F	R <sup>2</sup>	Sy.x	Sy.x%
1	$\log y = \log b_0 + b_1 d$	$\log b_0 = 3,9799353$ $b_1 = -0,022829$	1/20	1375,51	0,986	0,12822	6,82
2	$\log y = \log b_0 + b_1 d^2$	$\log b_0 = 3,1258144$ $b_1 = -0,0001194$	1/20	426,58	0,955	0,2266	12,06
3	$\log y = \log b_0 + b_1 \log d$	$\log b_0 = 8,8239754$ $b_1 = -3,66186$	1/20	175,20	0,897	0,3428	18,23
4	$\log(y+1) = b_0 + b_1 d$	$b_0 = 1,17298 \text{ E-03}$ $b_1 = -1,18953 \text{ E-04}$	1/20	4208,63	0,995	0,0003819	5,47
5	$\log y = b_0 + b_1 d + b_2 d^2$	$b_0 = 3,858735791$ $b_1 = -0,019393643$ $b_2 = -1,86698 \text{ E-05}$	2/19	704,89	0,987	0,126715	6,74

A função Beta (modelo 7) foi ajustada com um valor de "b" igual a 209, e um valor de "a" igual a 15, isto é, menor diâmetro de distribuição, mostrado no quadro 06. O valor de "b" proporcionou a menor soma dos quadrados dos resíduos entre os demais valores de "b" testados.

No quadro 07, o modelo 7 apresentou uma distribuição dos grupos de resíduos ao acaso, pois o valor da "PA" foi maior do que o valor crítico considerado e a soma dos quadrados dos resíduos foi menor que as dos demais modelos, resultando o melhor ajuste como mostra a figura 13.

O bom ajuste da função Beta mostra que essa função pode descrever com boa precisão, funções decrescentes devido os valores de  $\alpha$  ser menor que zero e  $\gamma$  maior que zero como pode ser visto no quadro 06.

Para o valor de  $\alpha$  menor que zero, essa distribuição apresenta o valor de "a" assintótico paralelamente ao eixo das ordenadas ( $f(d)$ ), caracterizando a função decrescente.

Comparando-se as distribuições ajustadas pelos modelos 1 e 7, vistas nas figuras 09 e 13, embora ajustadas por diferentes processos computacionais, ambas as distribuições apresentaram bons ajustes apesar da soma dos quadrados do modelo 7 ser um pouco menor, conforme mostra o quadro 07.

Neste caso, se uma escolha for feita entre os modelos 1 e 7 considerando o melhor ajuste, será difícil se baseada somente sobre os critérios estatísticos. Se a simplicidade do modelo for usado como um critério adicional, o modelo 1 será o escolhido, visto que tem somente dois parâmetros.

QUADRO 06: 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 7 cm respectivamente, para o grupo I (todas as espécies).

Nº	MODELO	COEFICIENTES	Para os valores de:						
			r	t	$X_t$	$X_r$	$X_{0,80}$	a	b
6	$F(d) = 1 - \exp\{- (d/b)^c\}$	c= 1,471 b= 31,4	0,31	0,99	18,5	102,5	43,4	-	-
7	$f(d) = c(d-a)^{\alpha}(b-d)^{\gamma}$	c= 8,01599 E-11 $\alpha = -0,2147338$ $\gamma = 6,0282954$	-	-	-	-	-	15	209



QUADRO 07: Valores das estimativas do número de árvores/100 ha por classes de diâmetros de 7 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 - 22	3469	3590	1216	15268	3469	3116	4114	3454
22 - 29	2403	2485	1117	4714	1831	2249	1708	2169
29 - 36	1475	1720	999	1939	1204	1617	1448	1535
36 - 43	1163	1191	870	949	872	1158	1151	1115
43 - 50	771	824	737	522	665	825	870	821
50 - 57	530	570	608	313	523	586	630	603
57 - 64	387	395	488	199	420	414	440	439
64 - 71	317	273	382	133	341	291	298	319
71 - 78	176	189	290	93	278	204	196	230
78 - 85	149	131	215	67	227	143	125	161
85 - 92	108	91	155	49	184	99	78	113
92 - 99	74	63	109	37	148	69	48	77
99-106	53	43	74	29	116	47	28	52
106-113	28	30	49	23	89	32	17	34
113-120	18	21	32	18	65	22	9	21
120-127	20	14	20	15	43	15	5	13
127-134	13	10	12	12	23	10	3	8
134-141	9	7	7	10	5	7	2	4
141-148	2	5	4	8	-11	5	1	2
148-155	3	3	2	7	-26	3	0	1
155-162	4	2	1	6	-40	2	0	1
> 162	1	2	1	5	-53	1	0	0
SOM.QUAD.RES.		89816	7084737	145005337	542017	177101	926905	74675
P.A.		0,1656*	0,00096	0,000217	0,000034	0,6050*	-	0,1421*

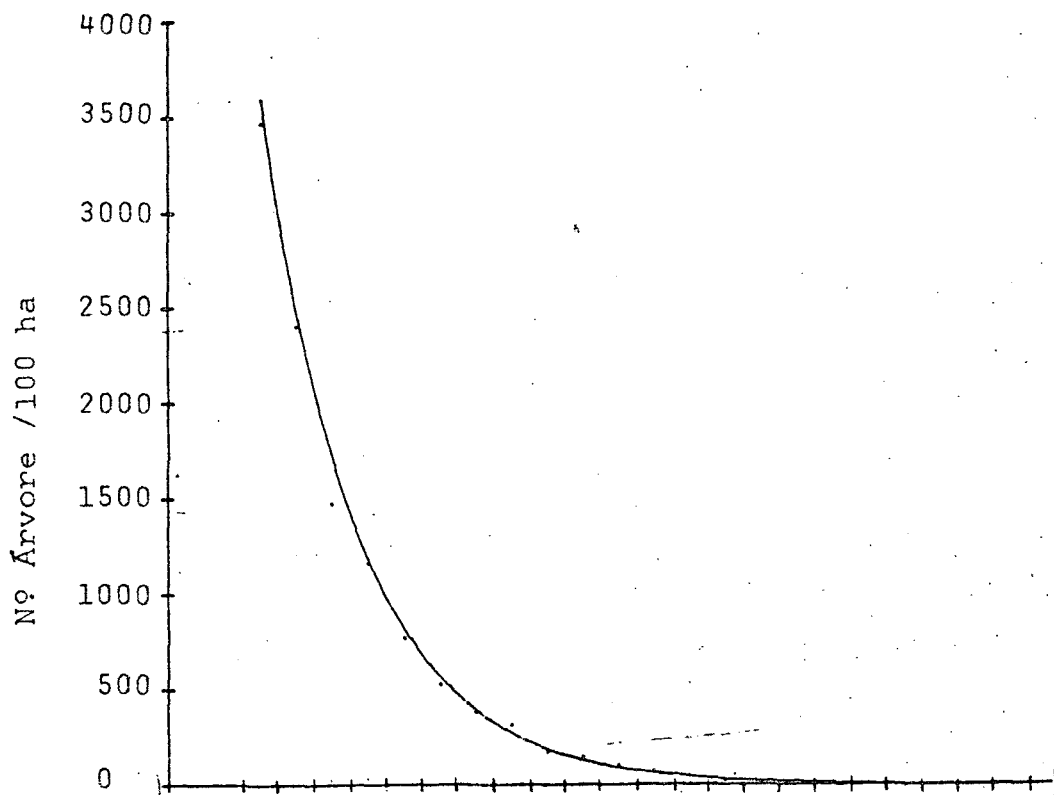


Figura 09: Distribuição Diamétrica de Todas as Espécies com intervalos de classes de 7 cm, ajustada pelo Modelo 1

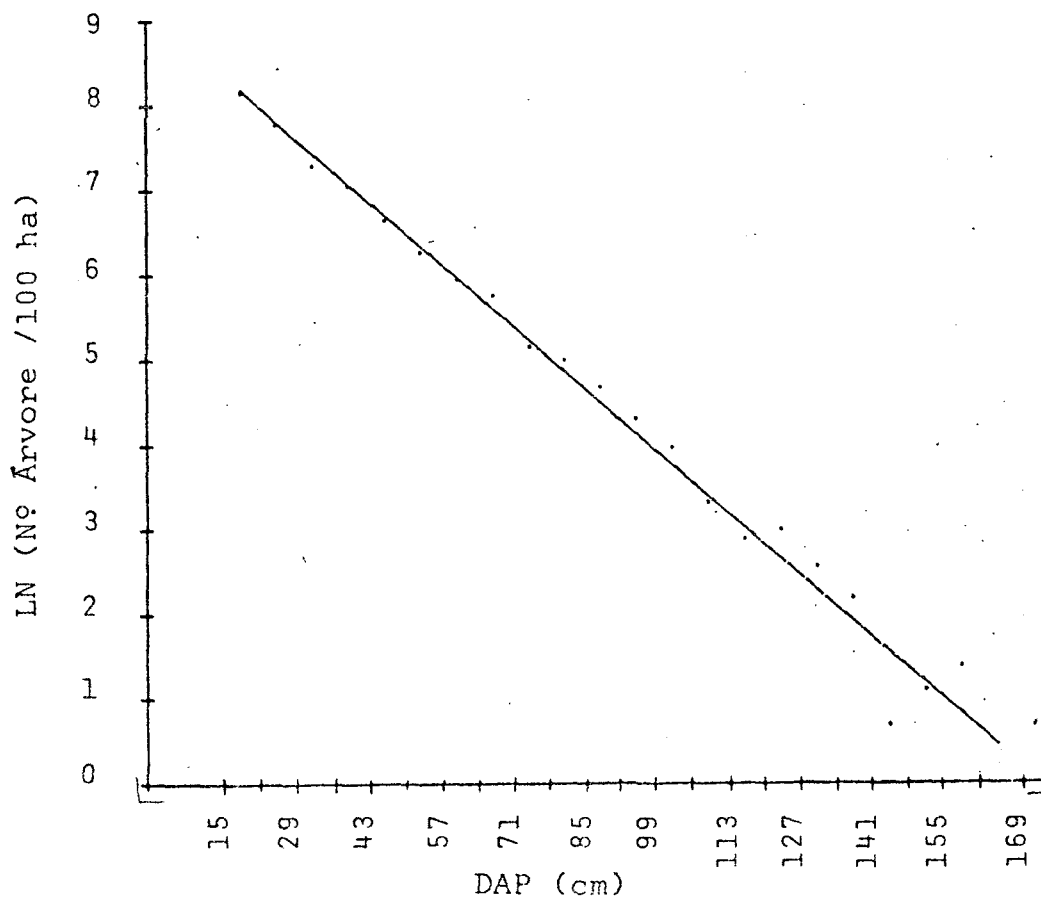


Figura 10: Distribuição Diamétrica de todas as Espécies em papel semi-log com intervalos de classes de 7 cm, ajustada pelo Modelo 1.

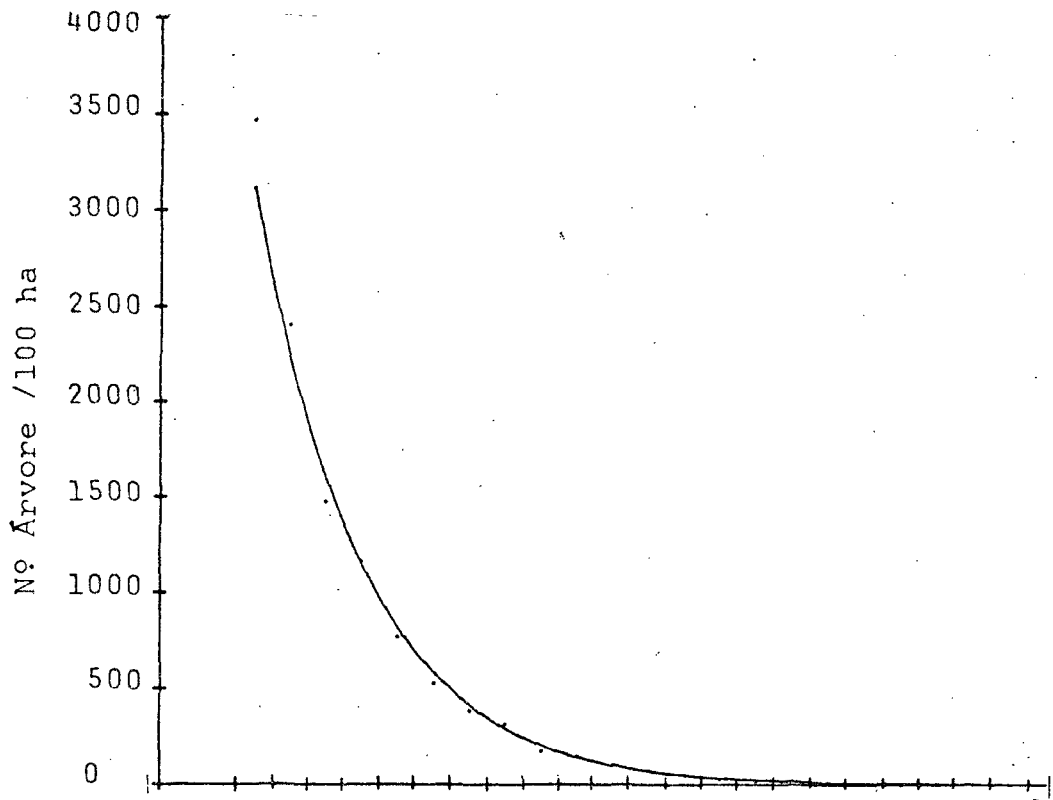


Figura 11: Distribuição Diamétrica de todas as Espécies com intervalos de classes de 7 cm, ajustada pelo Modelo 5.

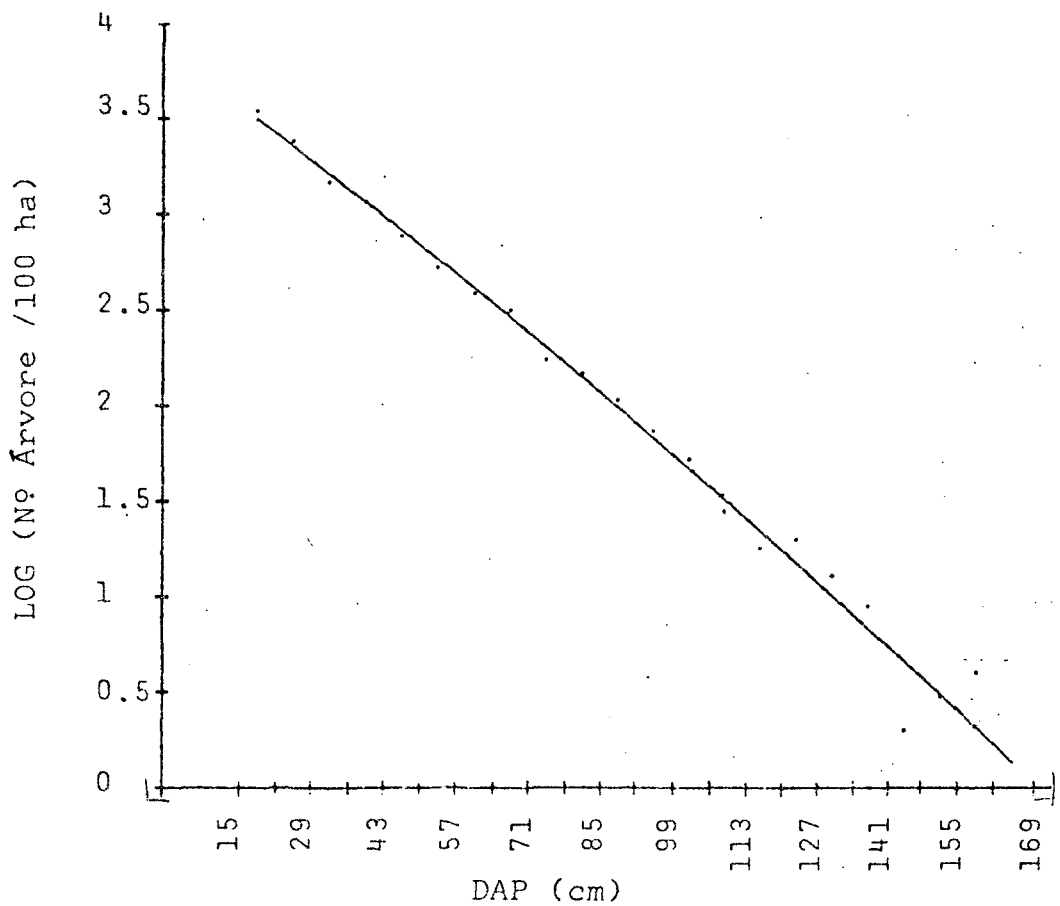


Figura 12: Distribuição Diamétrica de Todas as Espécies em papel semi-log com intervalos de classes de 7 cm, ajustada pelo Modelo 5.

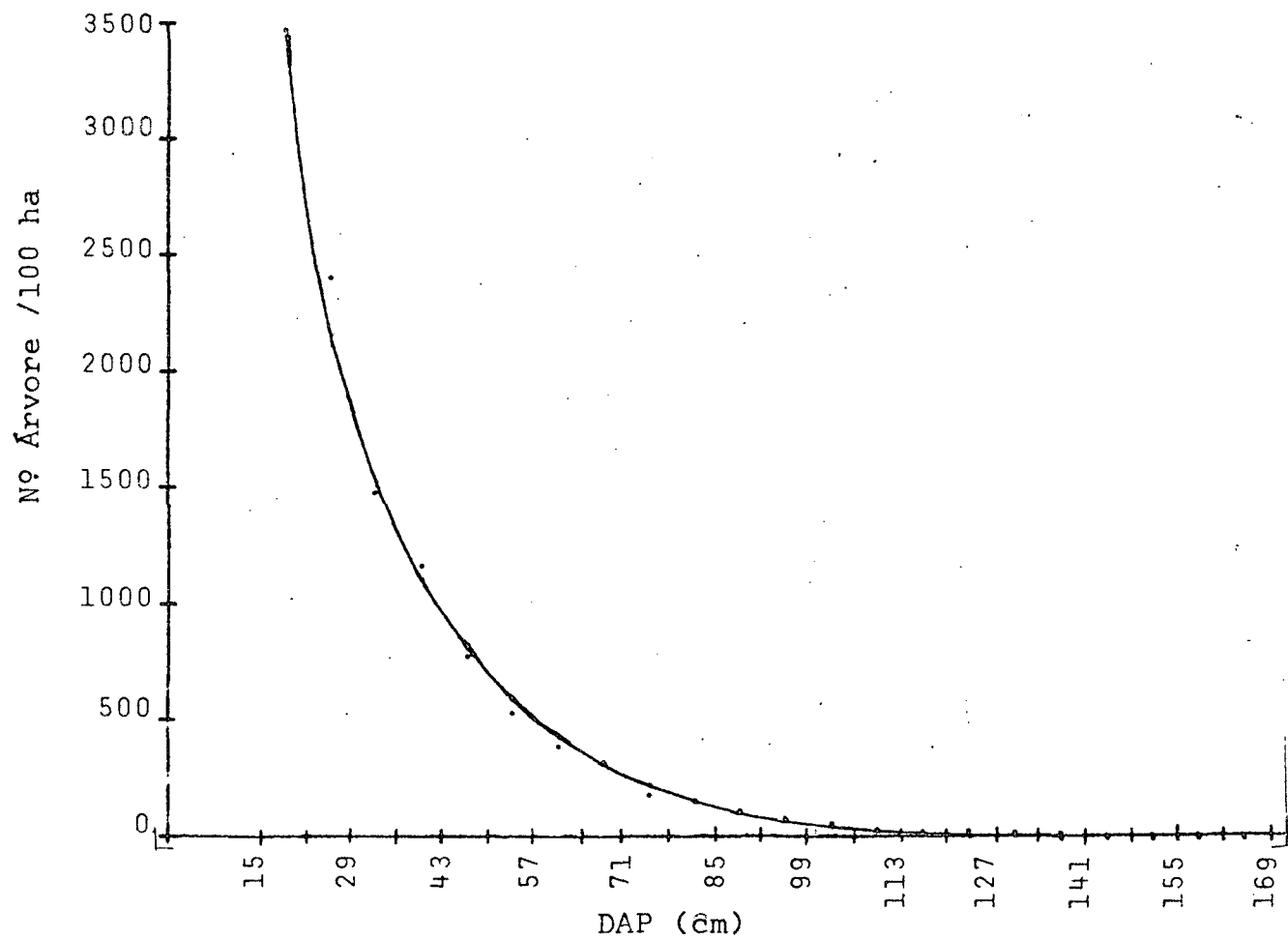


Figura 13: Distribuição Diamétrica de Todas as Espécies com intervalos de classes de 7 cm, ajustada pelo Modelo 7.

#### 4.1.3. INTERVALO DE CLASSE 5 cm

Os resultados referentes aos modelos para esse agrupamento são encontrados nos quadros 08, 09, 10.

Comparando-se os valores dos  $Sy.x\%$  do quadro 08 com os obtidos para os intervalos de classes já apresentados nos quadros 02 e 05 para o grupo de todas as espécies pelos modelos logarítmicos verifica-se que a medida que diminuem os intervalos de classes aumentam os valores dos erros padrões de estimativas ( $Sy.x\%$ ), havendo um ligeiro decréscimo dos valores de  $R^2$ , conseqüentemente diminuindo a precisão dos ajustes das distribuições pelos modelos.

No quadro 08 os modelos 1 e 5 apresentam os valores de  $R^2$  e  $Sy.x\%$  praticamente iguais, o mesmo acontecendo no quadro 10 em que apenas esses dois modelos apresentam uma distribuição dos grupos de resíduos ao acaso e uma diferença relativamente pequena nas somas dos quadrados dos resíduos. As distribuições ajustadas por ambos os modelos são vistas nas figuras 14 a 17. A figura 15 apresenta a distribuição ajustada pelo modelo 1 em papel semi-logarítmico, a qual resultou uma linha reta, mostrando que o decréscimo da frequência entre sucessivas classes de diâmetro foi constante e igual a 77%, enquanto que para esse mesmo grupo de espécie com intervalo de classe de 10 cm foi de 59%. Essas porcentagens de número de árvores que passam de uma classe diamétrica para a imediatamente superior foram relativamente altas, necessitando assim um grande estoque de pequenas árvores a fim de suprir as necessidades da estrutura diamétrica deste povoamento.

QUADRO 08: Modelos logarítmicos para estimativa do número de árvores/100 ha e por classes de diâmetros de 5 cm, para o grupo I (todas as espécies).

Nº	MODELOS	COEFICIENTES	G.L.	F	R <sup>2</sup>	Sxy	Sxy%
1	$\log y = \log b_0 + b_1 d$	$\log b_0 = 3,8198185$ $b_1 = -0,0226266$	1/29	1676,27	0,983	0,13761	7,97
2	$\log y = \log b_0 + b_1 d^2$	$\log b_0 = 2,9655804$ $b_1 = -0,0001173$	1/29	518,52	0,947	0,24285	14,06
3	$\log y = \log b_0 + b_1 \log d$	$\log b_0 = 8,648874$ $b_1 = -3,6463018$	1/29	254,45	0,898	0,3375	19,54
4	$\log(y+1) = b_0 + b_1 d$	$b_0 = 9,10191 \text{ E-}04$ $b_1 = -1,63407 \text{ E-}04$	1/29	1981,54	0,985	0,00091404	13,06
5	$\log y = b_0 + b_1 d + b_2 d$	$b_0 = 3,7484211$ $b_1 = -0,0206119$ $b_2 = -1,089 \text{ E-}05$	2/28	827,12	0,983	0,13854	8,02

QUADRO 09: 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 5 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 = 1,652 b = 33,74	0,22	0,99	17,5	102,5	45,0	-	-
7	$f(d) = c(d-a)^\alpha (b-d)^\gamma$	c = 3,88251 E-11 α = -0,2072805 γ = 6,0926637	-	-	-	-	-	15	210

QUADRO 10: Valores das estimativas do número de árvores/100 ha por classes de diâmetros de 5 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 - 20	2474	2646	850	13073	2474	2423	3305	2677
20 - 25	2146	2039	806	5229	1687	1902	1299	1815
25 - 30	1526	1572	753	2516	1257	1491	1238	1388
30 - 35	992	1211	695	1368	986	1167	1117	1091
35 - 40	901	933	632	812	799	912	965	867
40 - 45	699	719	567	514	662	712	803	697
45 - 50	543	554	502	343	557	556	646	560
50 - 55	398	427	439	238	474	433	504	449
55 - 60	314	329	378	171	407	337	382	359
60 - 65	243	554	322	126	351	262	283	286
65 - 70	226	296	270	95	303	203	204	227
70 - 75	157	151	223	73	262	157	144	180
75 - 80	116	116	182	58	227	122	99	141
80 - 85	104	90	147	46	196	94	67	110
85 - 90	82	69	117	37	168	73	44	85
90 - 95	58	53	92	30	143	56	29	65
95-100	47	41	71	25	121	43	18	49
100-105	43	32	54	21	101	33	11	37
105-110	21	24	41	17	82	26	7	27
110-115	19	19	30	15	65	20	4	20
115-120	12	14	22	13	49	15	2	14
120-125	16	11	16	11	35	11	1	10
125-130	9	9	11	9	21	9	1	7
130-135	10	7	8	8	8	7	0	5
135-140	4	5	6	7	-4	5	0	3
140-145	4	4	4	6	-15	4	0	2
145-150	1	3	3	6	-26	3	0	1
150-155	3	2	2	5	-36	2	0	1
155-160	1	2	1	4	-46	2	0	0
160-165	3	1	1	4	-55	1	0	0
> 165	1	1	0	3	-64	1	0	0
SOM. QUAD. RES.		95574	5237677	123144349	402708	97586	1556372	188954
	P.A.	0,4665*	0,000097	0,000046	0,0000002	0,2752*	-	0,01487



A figura 17 mostra o ajuste da distribuição pelo modelo 5 o que resultou uma curva ligeiramente parabólica, indicando neste caso que as razões de crescimento e mortalidade são quase que uniformemente distribuídas para as frequências do número de árvores por 100 ha das classes diamétricas de 5 cm. Neste grupo de espécies com esse intervalo de classe ambos os modelos 1 e 5 apresentaram bons ajustes, como mostram as figuras 15 a 17.

#### 4.2. ESPÉCIES FREQUENTES (GRUPO II)

##### 4.2.1. INTERVALO DE CLASSE DE 10 cm

Os resultados dos modelos para esse grupo de espécies agrupadas em intervalos de classes de 10 cm são apresentadas nos quadros 11, 12 e 13. No quadro 11 a equação do modelo 4 apresentou o maior valor de  $R^2$  com o mais baixo erro padrão de estimativa, no entanto apresenta uma distribuição dos grupos de resíduos tendenciosa, juntamente com o valor da soma dos quadrados dos resíduos relativamente alta quando comparados com os modelos 1, 6 e 7 que apresentaram as menores somas, como visto no quadro 13. Este fato que também ocorreu nos outros grupos de espécies mostra que apenas os valores de  $R^2$  e  $Sy.x$  que são medidas de precisão global não são suficientes para expressar uma confiabilidade das estimativas pelos modelos. A soma dos quadrados dos resíduos que também constitui um valor global sobre a distribuição, de grande utilidade, juntamente com os valores de  $R^2$  e  $Sy.x$ , quando se trata de comparações desses valores,

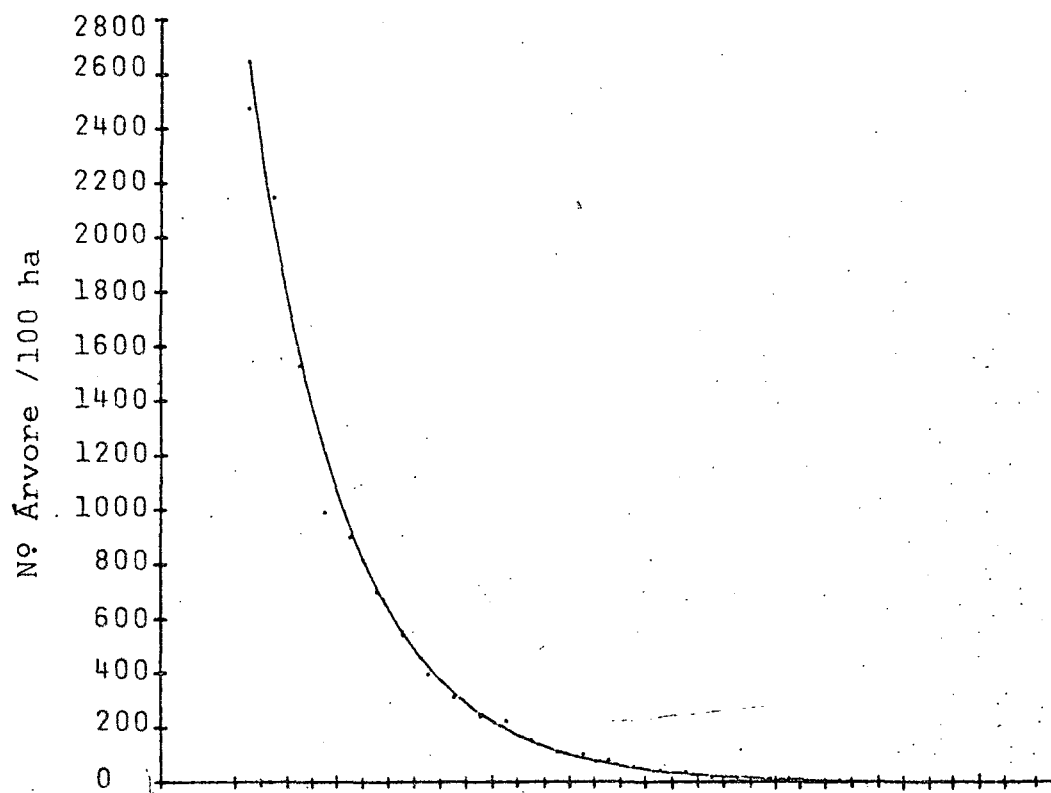


Figura 14: Distribuição Diamétrica de Todas as Espécies com intervalos de classes de 5 cm, ajustada pelo Modelo 1.

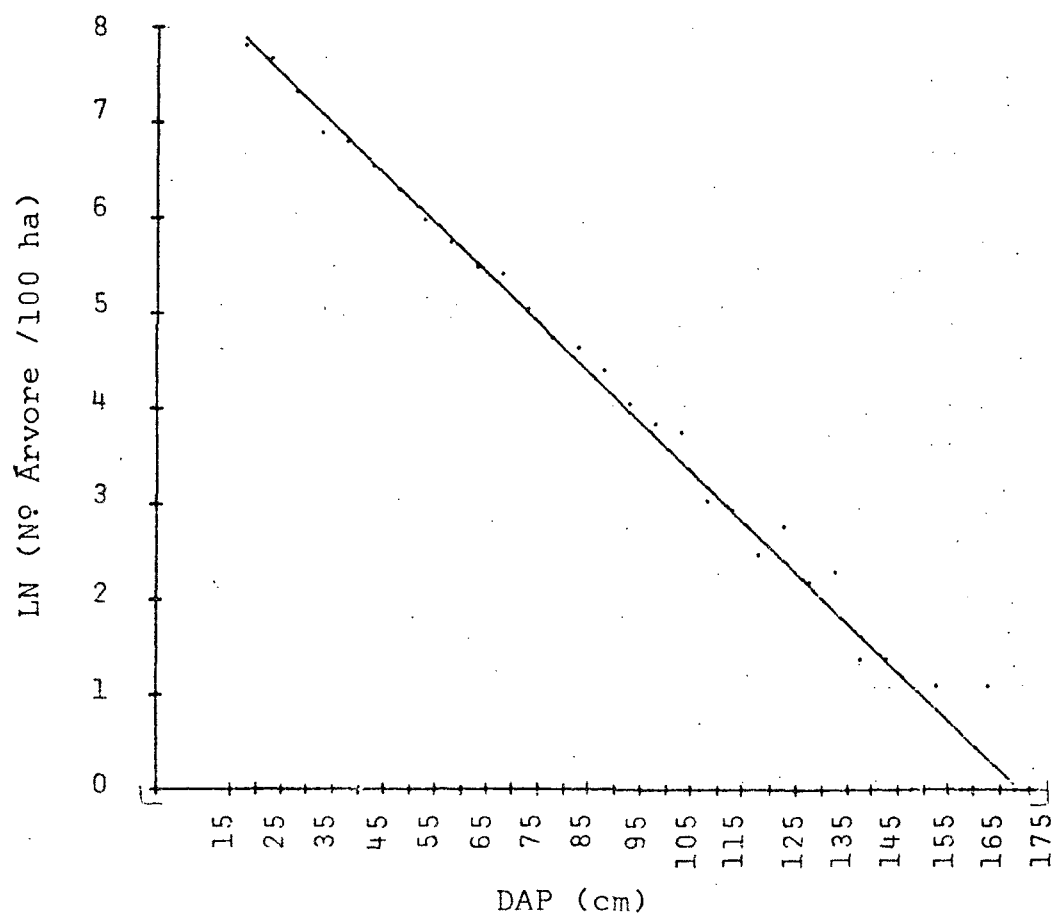


Figura 15: Distribuição Diamétrica de Todas as Espécies em papel semi-log com intervalos de classes de 5 cm, ajustada pelo Modelo 1

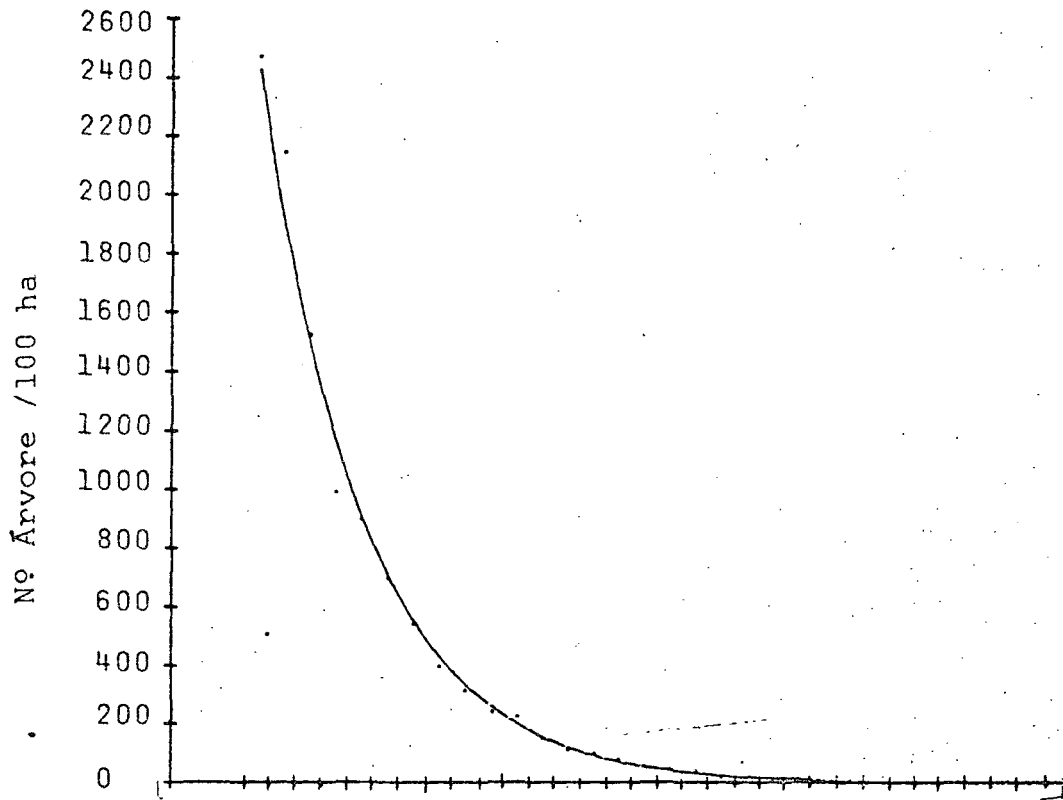


Figura 16: Distribuição Diamétrica de Todas as Espécies com intervalos de classes de 5 cm, ajustada pelo Modelo 5.

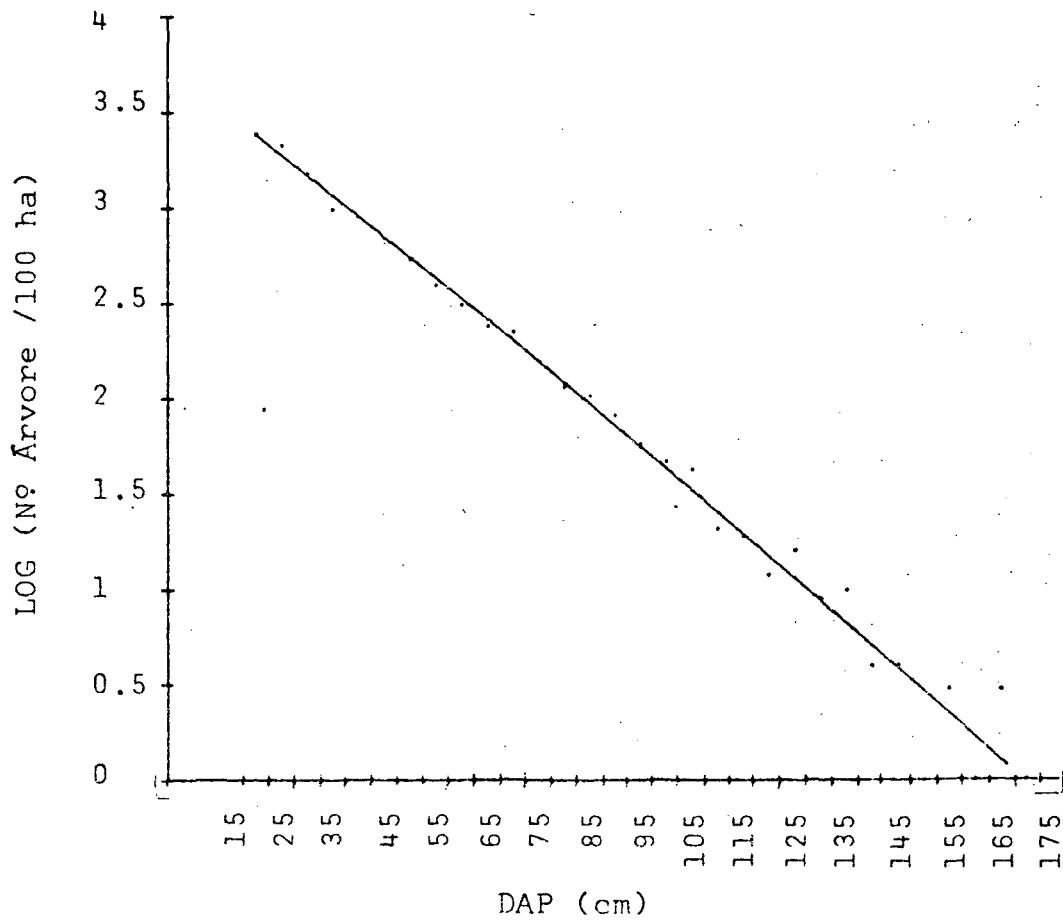


Figura 17: Distribuição Diamétrica de Todas as Espécies em papel semi-log com intervalos de classes de 5 cm, ajustada pelo Modelo 5.

QUADRO 11: Modelos logarítmicos para estimativa do número de árvores/100 ha por classes de diâmetros de 10 cm, para o grupo II (espécies frequentes).

Nº	MODELOS	COEFICIENTES	G.L.	F	R <sup>2</sup>	Sxy	Sxy%
1	$\log y = \log b_0 + b_1 d$	$\log b_0 = 4,05805641$ $b_1 = -0,024771063$	1/13	2525,97	0,995	0,08247	4,51
2	$\log y = \log b_0 + b_1 d^2$	$\log b_0 = 3,1534716$ $b_1 = -1,32924 \text{ E-04}$	1/13	426,07	0,9704	0,19832	10,84
3	$\log y = \log b_0 + b_1 \log d$	$\log b_0 = 9,210916$ $b_1 = -3,9100073$	1/13	124,26	0,9053	0,35471	19,39
4	$\log(y+1) = b_0 + b_1 d$	$b_0 = 1,66883 \text{ E-03}$ $b_1 = -1,13739 \text{ E-04}$	1/13	5878,76	0,9978	0,00024822	2,76
5	$\log y = b_0 + b_1 d + b_2 d^2 + b_3 d^3$	$b_0 = 4,0378842$ $b_1 = -0,0274988$ $b_2 = 7,43349 \text{ E-05}$ $b_3 = -3,85403 \text{ E-07}$	3/11	1453,11	0,9975	0,06286	3,44

QUADRO 12: 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 por classes de diâmetros de 10 cm respectivamente, para o grupo II (espécies frequentes).

Nº	MODELO	COEFICIENTES	Para os valores de:						
			r	t	X <sub>r</sub>	X <sub>t</sub>	X <sub>0,80</sub>	a	b
6	$F(d) = 1 - \exp\{-(d/b)^c\}$	c= 1,2913 b= 27,3243	0,46	0,99	19,8	94,0	39,5	-	-
7	$f(d) = c(d-a)^\alpha(b-d)^\gamma$	c= 6,68213 E-11 α= -0,2736925 γ= 6,1231021	-	-	-	-	-	15	205

obtidos por diferentes modelos. Uma análise gráfica dos resíduos em conjunto com um teste da distribuição através da de terminação da probabilidade associada com o número de suces são de grupos de resíduos positivos e negativos foi feita, para auxiliar na tomada de decisão sobre as irregularidades dos padrões dos grupos dos resíduos. Nos casos em que os va lores da probabilidade associada "PA" são próximo ou abaixo de 0,05 indica uma distribuição pobre dos resíduos deixando dúvida sobre a validade dessas regressões.

Baseado no valor da "PA", o modelo 7 com valor de 0,0513 apresenta uma distribuição de ajuste inferior para este grupo, conforme mostra o quadro 13.

Os modelos 1 e 5 apresentados no quadro 13 apresentaram os valores da "PA" iguais, porém a soma dos quadrados dos resíduos para o modelo 5 foi consideravelmente maior, em bora os valores de  $R^2$  e  $Sy.x\%$  tenham sido ligeiramente menores do que para o modelo 1.

Analisando-se os modelos 1 e 6 pela soma dos quadrados dos resíduos e pelas figuras 18 e 19, observou-se que o modelo 6 melhor ajustou a distribuição do que o modelo 1, pois a distribuição ajustada pelo modelo 6 apresentou as es t imativas das primeiras classes melhor, enquanto que os aju stes das demais classes se equivalem, mesmo com as classes de maior diâmetro sendo ligeiramente sub estimadas pelo modelo 6. Os valores estimados pela função Weibull das porcentagens acumuladas do número de árvores até a uma determinada classe diamétrica com os respectivos valores observados, são vistos no quadro 14.

QUADRO 13: Valores das estimativas do número de árvores/100 ha por classe de diâmetros de 10 cm para o grupo II (espécies frequentes) 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	3717	3604	1260	13301	3717	3270	3869	3411
25 - 35	1774	2037	1081	2725	1221	1860	1500	1789
35 - 45	946	1152	873	885	692	1077	1022	1075
45 - 55	577	651	662	370	459	632	651	665
55 - 65	348	368	473	181	327	374	394	412
65 - 75	247	208	318	99	241	221	229	251
75 - 85	143	118	201	59	180	131	128	151
85 - 95	88	66	119	37	134	77	70	87
95-105	48	38	67	25	97	44	37	49
105-115	20	21	35	17	67	25	19	26
115-125	15	12	17	12	42	14	10	12
125-135	8	7	8	9	20	7	5	6
135-145	3	4	4	7	1	4	2	2
145-155	2	2	1	5	-16	2	1	1
155-165	1	1	1	4	-32	1	1	0
SOM.QUAD.RES.		133077	6556303	92860139	395177	228853	112749	122476
P.A.		0,1492*	0,0044	0,0003	0,0154	0,1492*	-	0,0513*

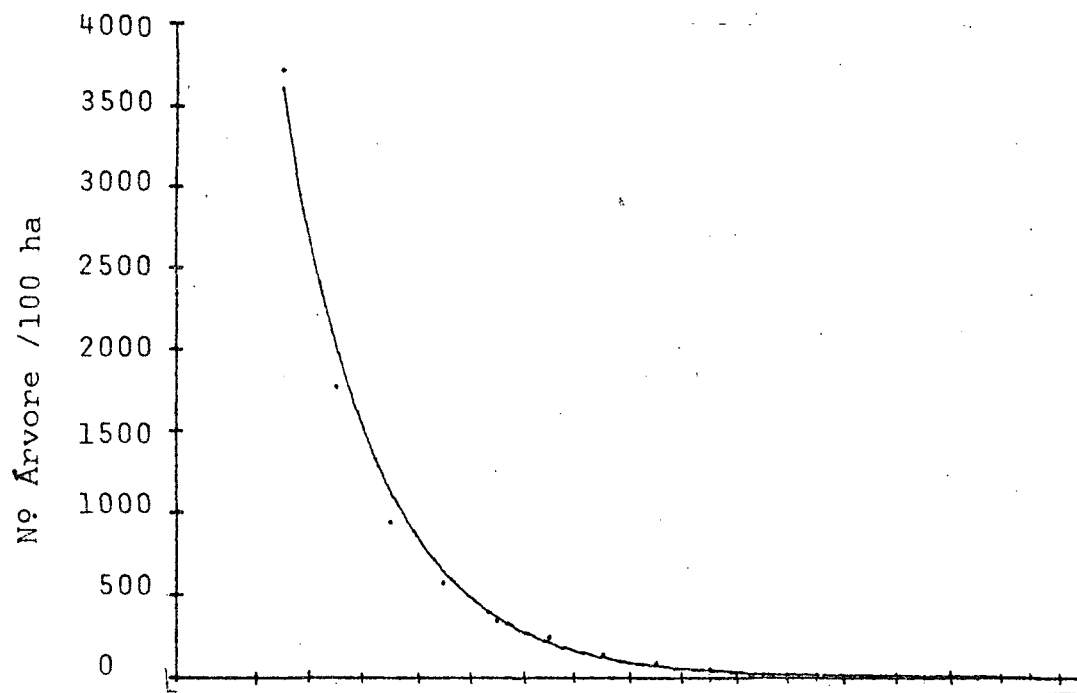


Figura 18: Distribuição Diamétrica das Espécies Frequentes com intervalos de classes de 10 cm, ajustada pelo Modelo 1.

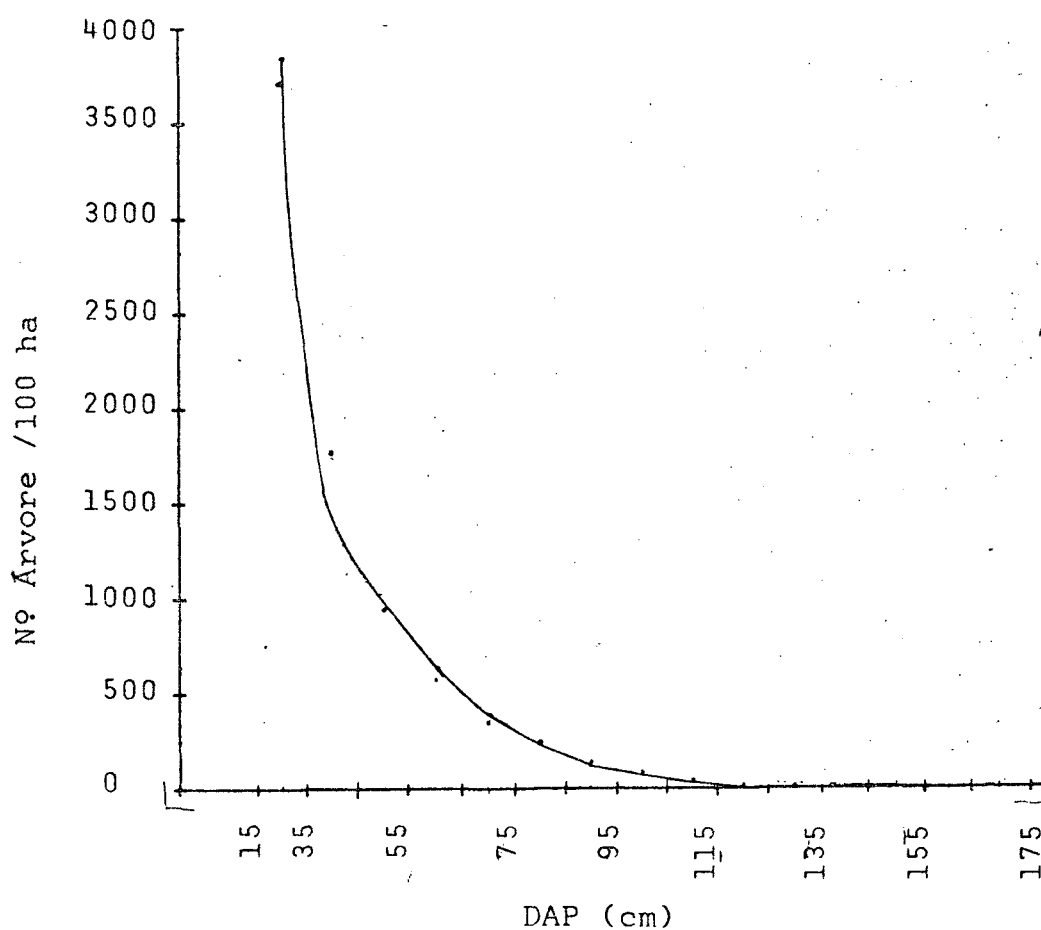


Figura 19: Distribuição Diamétrica das Espécies Frequentes com intervalos de classes de 10 cm, ajustada pelo Modelo 6.



QUADRO 14: Valores observados e estimados das porcentagens de números de árvores por 100 ha menores ou igual ao diâmetro médio das classes.

CLASSES	F(d)	F( $\hat{d}$ )
15 - 25	0,4683	0,4874
25 - 35	0,6918	0,6764
35 - 45	0,8110	0,8052
45 - 55	0,8837	0,8872
55 - 65	0,9276	0,9368
65 - 75	0,9587	0,9656
75 - 85	0,9767	0,9817
85 - 95	0,9878	0,9905
95-105	0,9938	0,9952
105-115	0,9963	0,9976
115-125	0,9982	0,9988
125-135	0,9992	0,9994
135-145	0,9996	0,9997
145-155	0,9999	0,9999
155-165	1,0000	0,9999

O quadro 14 mostra que a porcentagem estimada de 48,7% das árvores das espécies frequentes da área em estudo são menores ou, igual ao limite superior da primeira classe diamétrica de (15 cm - 25 cm), havendo aproximadamente 2% de diferença à mais do que a porcentagem observada. Essa superestimativa ocorrida na primeira classe é compensada mais acentuadamente nas duas classes seguintes, e nas demais classes as superestimativas ocorridas são quase que desprezíveis de maneira que a estimativa da última classe não ultrapasse o valor um.

De um modo geral são boas as estimativas das porcentagens acumuladas pela função Weibull, com exceção das duas primeiras classes diamétricas.

A principal aplicação desta função é obter porcentagens do número de árvores do povoamento até a um diâmetro especificado, o que constitui uma informação de grande interesse para futuros planos de manejo para a área.

Para a estimativa do coeficiente "c" da função Weibull foram testados vários valores para os percentis r e t. Entre os percentis testados, os valores de r e t e consequentemente os valores de  $X_r$  e  $X_t$  apresentados no quadro 12 foram os que melhor determinaram o coeficiente c que proporcionou as melhores estimativas da porcentagem do número de árvores até a um diâmetro especificado da área.

DUBEY citado por BAILEY<sup>1</sup> recomenda em seu trabalho os valores dos percentis de 17% e 97% para a estimativa do coeficiente "c", no entanto o valor do percentil igual a 17% encontra-se fora das distribuições estudada, uma vez que o diâmetro mínimo considerado neste estudo foi de 15 cm.

#### 4.2.2. INTERVALO DE CLASSE 7 cm

Os modelos 1 e 5 aparecem com os valores de  $R^2$  e  $Sy.x\%$  praticamente iguais, conforme mostra o quadro 15. Embora o valor da "PA" para o modelo 1 apresente-se maior que o valor crítico considerado, este valor é relativamente baixo, como é visto no quadro 17, o que lança dúvida sobre esta regressão, mesmo apresentando a menor soma dos quadrados dos resíduos.

O modelo 5 quando comparado com o modelo 7 em que ocorrem os valores de "PA" altos, a soma dos quadrados dos

QUADRO 15: Modelos logarítmicos para estimativa do número de árvores/100 ha por classes de diâmetros de 7 cm, para o grupo II (espécies frequentes).

Nº	MODELOS	COEFICIENTES	G.L.	F	R <sup>2</sup>	Sxy	Sxy%
1	$\log y = \log b_0 + b_1 d$	$\log b_0 = 3,8642013$ $b_1 = -0,0242712$	1/19	1472,30	0,9872	0,12287	7,16
2	$\log y = \log b_0 + b_1 d^2$	$\log b_0 = 2,9858514$ $b_1 = -1,31858 E-04$	1/19	398,27	0,9545	0,2323	13,54
3	$\log y = \log b_0 + b_1 \log d$	$\log b_0 = 8,8284871$ $b_1 = -3,7810547$	1/19	183,07	0,9059	0,3338	19,45
4	$\log(y+1) = b_0 + b_1 d$	$b_0 = 1,76972 E-03$ $b_1 = -1,51004 E-04$	1/19	3962,50	0,9952	0,00046596	3,88
5	$\log y = b_0 + b_1 d + b_2 d^2$	$b_0 = 3,766064$ $b_1 = -0,0213932$ $b_2 = -1,62598 E-05$	2/18	734,31	0,9878	0,1231	7,17

QUADRO 16: 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 por classes de diâmetros de 7 cm respectivamente, para o grupo II (espécies frequentes).

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 = 1,453 b = 29,19	0,35	0,99	18,6	95,0	40,5	-	-
7	$f(d) = c(d-a)^\alpha(b-d)^\gamma$	c = 5,67707 E-10 α = -0,2875943 γ = 5,6969405	-	-	-	-	-	15	197

QUADRO 17: Valores das estimativas do número de árvores/100 ha por classes de diâmetros de 7 cm para o grupo II (espécies frequentes) 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 - 22	2774	2585	872	10895	2774	2316	3197	2716
22 - 29	1940	1748	795	3238	1310	1622	1250	1572
29 - 36	903	1182	702	1294	829	1131	1024	1074
36 - 43	689	799	603	619	589	786	785	752
43 - 50	469	541	502	334	445	545	571	541
50 - 57	313	366	406	197	347	376	398	389
57 - 64	247	247	319	123	277	258	268	278
64 - 71	202	167	243	82	223	177	174	198
71 - 78	119	113	179	56	180	121	110	140
78 - 85	95	76	129	40	146	82	67	96
85 - 92	71	52	90	29	117	56	40	66
92 - 99	39	35	61	22	92	38	23	44
99-106	29	24	40	17	71	25	13	29
106-113	16	16	25	13	52	17	7	18
113-120	7	11	16	10	35	11	4	11
120-127	11	7	9	8	20	8	2	6
127-134	5	5	5	7	6	5	1	4
134-141	4	3	3	6	-7	3	1	2
141-148	1	2	2	5	-19	2	0	1
148-162	2	2	1	4	-30	1	0	0
> 162	1	1	0	3	-40	1	0	0
SOM. QUAD. RES.		172655	4998239	67868996	434177	383703	699680	184482
P.A.		0,09205*	0,052*	0,0003215	0,0000928	0,6800*	-	0,2049*

resíduos serviu de base nessa comparação; como mostra o quadro 17 o modelo 7 apresentou uma soma de quadrados dos resíduos muito menor do que o modelo 5.

No quadro 16 são encontrados os valores dos coeficientes "a" e "b", assim como dos expoentes  $\alpha$  e  $\gamma$  da função Beta, enquanto que a distribuição ajustada por esta função é vista na figura 20.

#### 4.2.3. INTERVALO DE CLASSE 5 cm

Nos quadros 18, 19 e 20 estão apresentados os resultados dos modelos deste agrupamento. Comparando-se os valores de  $R^2$  e  $Sy.x\%$  para este grupo de espécies com intervalos de classes de 7 cm e 5 cm dos quadros 15 e 18 nota-se que para os modelos 1 e 5 os  $R^2$  e  $Sy.x\%$  são praticamente iguais; os valores da "PA" no quadro 15 são acima de 0,05, ao passo que no quadro 18 esses valores são praticamente zero, mostrando a tendenciosidade das distribuições dos grupos de resíduos apresentado por esses modelos quando aplicados para intervalos de classes de 5 cm.

A função Beta foi a única que apresentou a probabilidade associada "PA" superior à 0,05, apesar de não apresentar a menor soma dos quadrados dos resíduos quando comparados com os modelos 1 e 5, conforme mostra o quadro 20.

Os valores dos coeficientes estimados da função Beta encontram-se no quadro 19 e a distribuição ajustada é apresentada na figura 21.

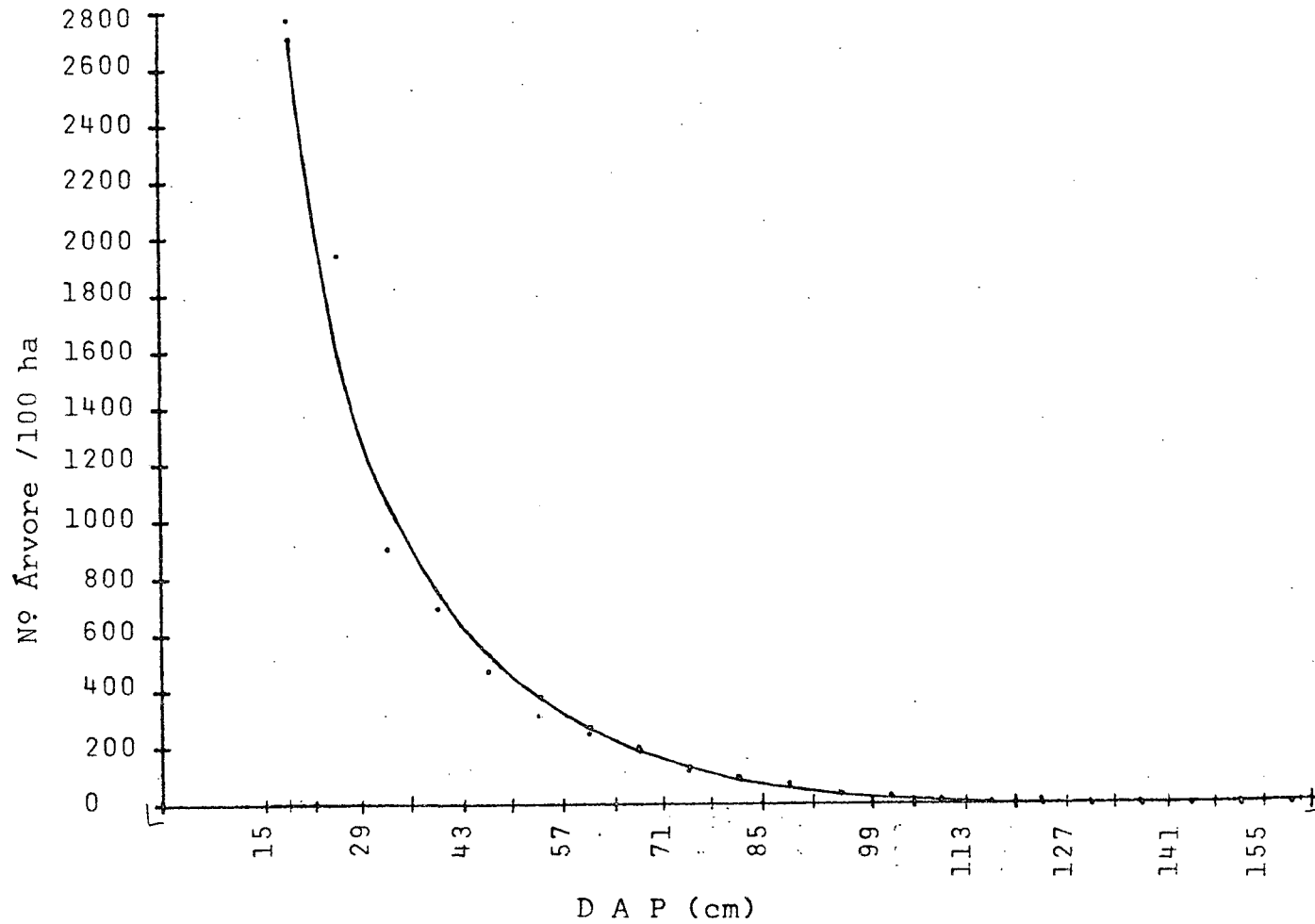


Figura 20: Distribuição Diamétrica das Espécies Frequentes com intervalos de classes de 7 cm, ajustada pelo Modelo 7.

QUADRO 18: Modelos logarítmicos para estimativa do número de árvores/100 ha e por classe de diâmetro de 5 cm, para o grupo II (espécies frequentes).

Nº	MODELOS	COEFICIENTES	G.L.	F	R <sup>2</sup>	Sxy	Sxy%
1	$\log y = \log b_0 + b_1 d$	$\log b_0 = 3,6987114$ $b_1 = -0,023993$	1/28	2215,90	0,9875	0,1208	7,85
2	$\log y = \log b_0 + b_1 d^2$	$\log b_0 = 2,812574$ $b_1 = -1,2767 \text{ E-}04$	1/28	507,38	0,9477	0,2473	16,07
3	$\log y = \log b_0 + b_1 \log d$	$\log b_0 = 8,697234$ $b_1 = -3,792255$	1/28	280,17	0,9091	0,3260	21,18
4	$\log(y+1) = b_0 + b_1 d$	$b_0 = 1,38275 \text{ E-}03$ $b_1 = -2,0729 \text{ E-}04$	1/28	1130,39	0,9758	0,00146145	8,60
5	$\log y = b_0 + b_1 d + b_2 d^2$	$b_0 = 3,663560218$ $b_1 = -0,022977232$ $b_2 = -5,64488 \text{ E-}06$	2/27	1075,50	0,9876	0,122633	7,96



QUADRO 19: 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 por classes de diâmetros de 5 cm respectivamente, para o grupo II (espécies frequentes).

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 = 1,624 b = 30,96	0,24	0,99	17,0	96,5	41,5	-	-
7	$f(d) = c(d-a)^\alpha (b-d)^\gamma$	c = 3,35805 E-11 $\alpha = -0,2728597$ $\gamma = 6,1201159$	-	-	-	-	-	15	205

QUADRO 20: Valores das estimativas do número de árvores/loco ha por classes de diâmetros de 5 cm para o grupo II (espécies frequentes) pelos modelos em estudos. 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- 20	1968	1894	594	9623	1968	1833	2595	2145
20 - 25	1748	1437	560	3710	1304	1411	966	1347
25 - 30	1211	1090	520	1733	957	1086	897	993
30 - 35	563	827	476	920	744	837	789	762
35 - 40	537	627	430	535	599	645	663	588
40 - 45	408	476	382	333	494	498	537	464
45 - 50	339	361	335	218	414	384	420	366
50 - 55	238	274	289	149	350	297	319	289
55 - 60	194	208	246	106	299	230	235	227
60 - 65	155	158	206	77	257	178	169	178
65 - 70	143	120	170	58	221	138	118	140
70 - 75	104	91	139	44	190	107	81	109
75 - 80	75	69	111	34	163	83	54	84
80 - 85	68	52	88	27	139	64	35	64
85 - 90	52	40	68	22	118	50	23	49
90 - 95	36	30	53	17	99	39	14	37
95-100	25	23	40	14	82	30	9	27
100-105	23	17	30	12	67	23	5	20
105-110	11	13	22	10	53	18	3	15
110-115	10	10	16	8	39	14	2	10
115-120	5	8	11	7	27	11	1	7
120-125	9	6	8	6	16	9	1	5
125-130	3	4	5	5	5	7	0	3
130-135	5	3	4	4	-5	5	0	2
135-140	2	3	3	4	-14	4	0	1
140-145	1	2	2	3	-23	3	0	1
145-150	1	1	1	3	-32	2	0	1
150-155	1	1	1	3	-40	2	0	0
155-160	1	1	0	2	-48	2	0	0
> 160	1	1	0	2	-55	1	0	0
SOM.QUAD. RES.		202477	3810873	62910043	397488	250115	1205814	290143
P.A.		0,0002743	0,000131	0,000089	0,00001	0,000001	-	0,3626*

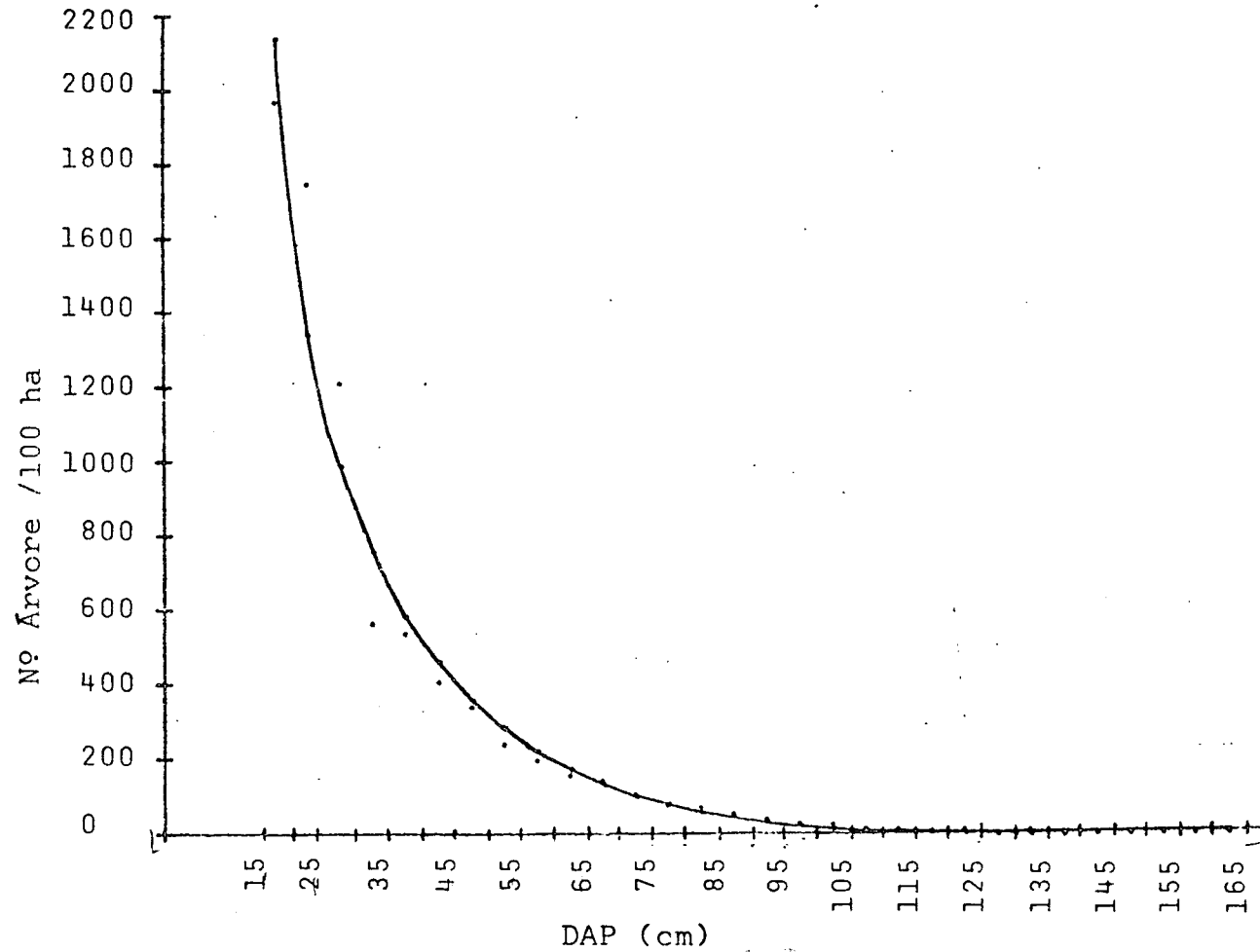


Figura 21: Distribuição Diamétrica das Espécies Frequentes com intervalos de classes 5 cm, ajustada pelo Modelo 7.

### 4.3. ESPÉCIES COMERCIAIS (GRUPO III)

#### 4.3.1. INTERVALO DE CLASSE 10 cm

Neste agrupamento os modelos 5, 6 e 7 apresentaram bons resultados, como pode ser notado pelos valores das somas dos quadrados dos resíduos e pela probabilidade associada para os modelos 5 e 7, apresentados nos quadros 21 e 23.

No quadro 22 estão apresentados as estimativas dos coeficientes para a função Weibull e função Beta, e nas figuras 22 e 23 as distribuições ajustadas são encontradas.

A função Weibull (modelo 6) apresentou as estimativas menores que as observadas (quadro 23) para as primeiras classes diamétricas, ao contrário do que ocorreu no grupo das espécies frequentes agrupadas em intervalos de classes de 10 cm com exceção da segunda classe, de 7 cm, e para 5 cm apenas a primeira classe foi super estimada; isto indica que quanto maiores forem as super estimativas das primeiras classes também serão maiores as sub-estimativas das últimas classes, prejudicando de um modo geral o ajuste em toda a amplitude da distribuição.

#### 4.3.2. INTERVALOS DE CLASSES 7 cm E 5 cm

Os resultados dos modelos ajustados com intervalos de classes de 7 cm apresentam os modelos 5 e 7 com os melhores ajustes, conforme mostram os quadros 24, 25, 26. Fato semelhante ocorre quando utilizados os intervalos de classes de

QUADRO 21: Modelos logarítmicos para estimativa do número de árvores/100 ha e por classes de diâmetro de 10 cm, para o grupo III (espécies comerciais).

Nº	MODELO	COEFICIENTES	G.L.	F	R <sup>2</sup>	Sxy	Sxy%
1	$\log y = \log b_0 + b_1 d$	$\log b_0 = 3,447348235$ $b_1 = -0,01875568$	1/14	686,15	0,9800	0,13203	7,92
2	$\log y = \log b_0 + b_1 d^2$	$\log b_0 = 2,7376782$ $b_1 = -9,6154 \text{ E-}05$	1/14	506,60	0,9731	0,15311	9,19
3	$\log y = \log b_0 + b_1 \log d$	$\log b_0 = 7,4872889$ $b_1 = -3,0489174$	1/14	87,91	0,8626	0,3461	20,77
4	$\log(y+1) = b_0 + b_1 d$	$b_0 = 3,80583 \text{ E-}03$ $b_1 = -4,59526 \text{ E-}04$	1/14	1646,45	0,9916	0,002088	5,22
5	$\log y = b_0 + b_1 d + b_2 d^2 + b_3 d^3$	$b_0 = 3,1548338$ $b_1 = -0,0105342$ $b_2 = -4,60888 \text{ E-}05$ $b_3 = 1,73385 \text{ E-}08$	3/12	327,42	0,9879	0,11079	6,65

QUADRO 22: 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 por classes de diâmetros de 10 cm respectivamente, para o grupo III (espécies comerciais).

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 - esp{-(d/b) <sup>c</sup> }	c= 1,396	0,31	0,99	19,5	118,5	55,0	-	-
		b= 42,25							
7	f(d) = c(d-a) <sup>α</sup> (b-d) <sup>γ</sup>	c= 2,09846 E-04	-	-	-	-	-	15	175
		α=-0,1882396							
		γ= 3,0822192							

QUADRO 23: Valores das estimativas do número de árvores/100 ha por classes de diâmetros de 10 cm para o grupo III (espécies comerciais) pelos modelos em estudo. Valores das soma dos quadrados 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	937	1172	500	3316	937	843	876	891
25 - 35	560	761	448	963	947	628	488	586
35 - 45	433	494	384	401	331	458	419	425
45 - 55	325	321	314	203	242	327	336	315
55 - 65	221	208	246	116	186	229	256	232
65 - 75	171	135	185	73	146	158	187	169
75 - 85	112	88	133	48	116	106	132	121
85 - 95	72	57	91	34	92	70	91	83
95-105	52	37	60	25	72	45	61	56
105-115	25	24	38	18	55	29	40	35
115-125	17	16	23	14	40	18	26	21
125-135	14	10	13	11	27	11	16	11
135-145	4	7	7	9	15	7	10	5
145-155	4	4	4	7	3	4	6	2
155-165	4	3	2	6	-7	2	4	0
> 165	1	2	1	5	-17	1	2	0
SOM. QUAD.RES.		101737	207731	5862915	26050	14413	11879	3446
P.A.		0,0470	0,022	0,002	0,024	0,1369*	-	0,2308*

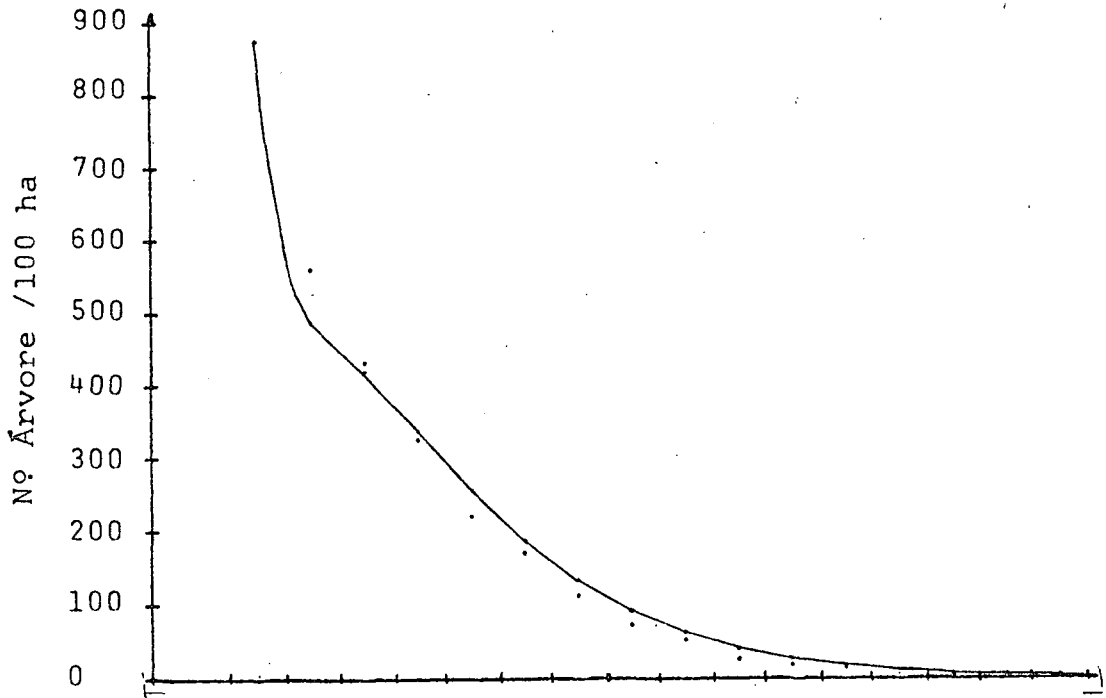


Figura 22: Distribuição Diamétrica das Espécies Comerciais com intervalos de classes de 10 cm, ajustada pelo Modelo 6.

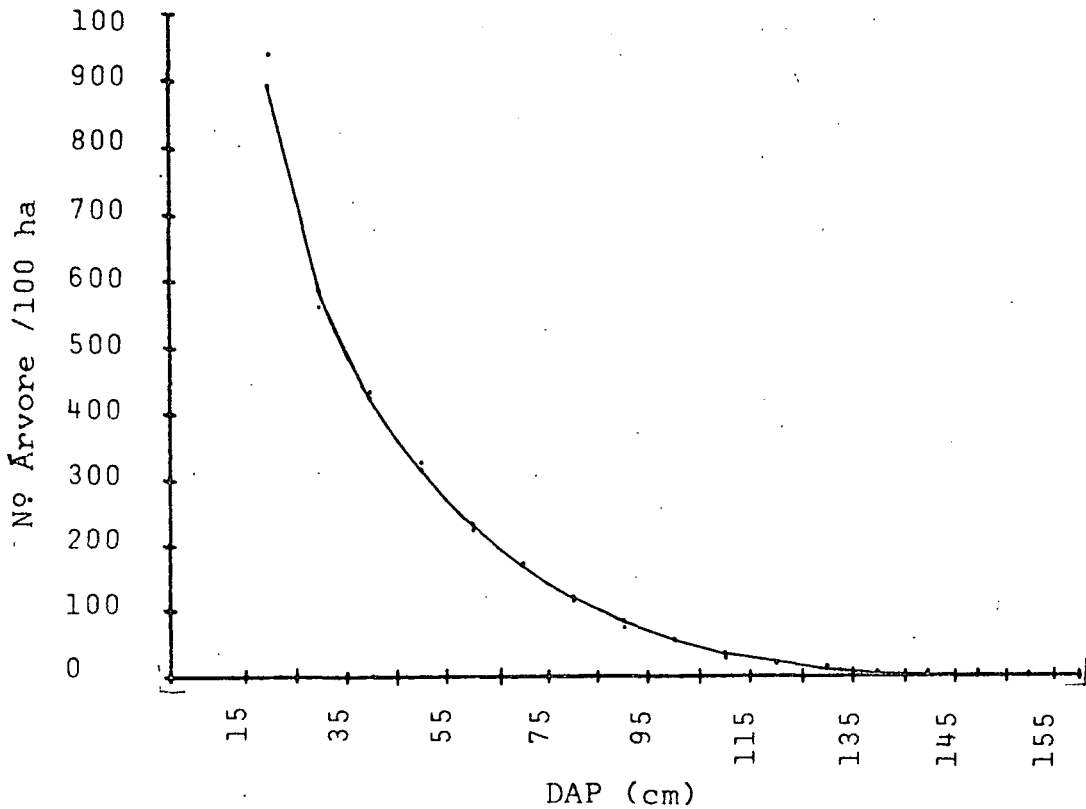


Figura 23: Distribuição Diamétrica das Espécies Comerciais com intervalos de classes de 10 cm, ajustada pelo Modelo 7.



QUADRO 24: Modelos logarítmicos para estimativa do número de árvores/100 ha e por classes de diâmetros de 7 cm, para o grupo III (espécies comerciais).

Nº	MODELO	COEFICIENTES	G.L.	F	R <sup>2</sup>	Sxy	Sxy%
1	$\log y = \log b_0 + b_1 d$	$\log b_0 = 3,305428$ $b_1 = -0,019033$	1/20	562,03	0,9656	0,167228	10,76
2	$\log y = \log b_0 + b_1 d^2$	$\log b_0 = 2,6081513$ $b_1 = -1,00968 \text{ E-}04$	1/20	515,86	0,9628	0,17428	11,21
3	$\log y = \log b_0 + b_1 \log d$	$\log b_0 = 7,2306618$ $b_1 = -2,9931883$	1/20	109,22	0,8452	0,35491	22,84
4	$\log(y+1) = b_0 + b_1 d$	$b_0 = 3,9333 \text{ E-}03$ $b_1 = -6,3422 \text{ E-}04$	1/20	2443,72	0,9919	0,00267244	4,95
5	$\log y = b_0 + b_1 d + b_2 d^2 + b_3 d^3$	$b_0 = 2,9087352$ $b_1 = -6,04808 \text{ E-}03$ $b_2 = -1,00941 \text{ E-}04$ $b_3 = 1,93158 \text{ E-}07$	3/18	237,44	0,9753	0,14929	9,60

QUADRO 25: 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 7 cm respectivamente, para o grupo III (espécies comerciais).

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 = 1,52 b = 41,68	0,23	0,99	18,2	120,0	57,0	-	-
7	$f(d) = c(d-a)^\alpha(b-d)^\gamma$	c = 5,79934 E-05 α = -0,1678189 γ = 3,2503259	-	-	-	-	-	15	177

QUADRO 26: Valores das estimativas do número de árvores/100 ha por classes de diâmetros de 7 cm para o grupo III (espécies comerciais) pelos modelos em estudo. Valores das soma 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 - 22	691	895	375	2740	691	580	745	673
22 - 29	486	658	349	1049	439	492	369	481
29 - 36	367	484	317	507	319	409	350	378
36 - 43	311	356	282	283	249	334	313	303
43 - 50	247	262	245	174	201	268	268	245
50 - 57	209	193	209	114	167	212	222	198
57 - 64	150	142	173	79	140	164	178	160
64 - 71	128	104	141	57	119	126	138	127
71 - 78	96	77	112	42	101	95	105	101
78 - 85	75	57	87	32	86	71	78	79
85 - 92	53	42	66	25	73	52	57	60
92 - 99	43	31	49	20	61	38	41	46
99-106	31	23	35	16	51	27	29	34
106-113	19	17	25	13	41	19	20	24
113-120	13	12	17	11	32	14	13	17
120-127	11	9	12	9	24	10	9	11
127-134	10	7	8	8	16	7	6	7
134-141	5	5	5	7	9	5	4	4
141-148	1	4	3	6	2	3	2	2
148-155	2	3	2	5	-5	2	2	1
155-162	3	2	1	4	-11	2	1	0
> 162	1	1	1	4	-17	1	1	0
SOM. QUAD. RES.		89136	123589	4566891	15379	15434	18591	931
P.A.		0,0002167	0,0216	0,0000064	0,000034	0,06704*	-	0,1349*

5 cm como mostra os quadros 27, 28 e 29.

A figura 24 apresenta a distribuição ajustada pelo modelo 7 para o intervalo de classe de 5 cm e a figura 25 apresenta o ajuste para classes de 7 cm. O ajuste do modelo 5 para intervalos de 5 cm é visto na figura 26 e quando plotado em papel semi-logarítmico apresenta uma linha parabólica como mostra a figura 27.

O quadro 30 apresenta um resumo de todos os resultados dos modelos para todos os grupos de espécies nos diferentes intervalos de classes utilizados. Uma melhor visualização dos critérios utilizados para a seleção dos modelos é visto neste quadro, em que não apenas os valores de  $R^2$  e  $Sy.x\%$  foram considerados, mais a menor soma dos quadrados dos resíduos não seja tendenciosa.. Para a função Weibull para qual foi determinado o valor da "PA" uma análise gráfica foi utilizada.

QUADRO 27: Modelos logarítmicos para estimativa do número de árvores/100 ha e por classes de diâmetro de 5 cm, para o grupo III (espécies comerciais).

Nº	MODELO	COEFICIENTES	G.L.	F	R <sup>2</sup>	Sxy	Sxy%
1	$\log y = \log b_0 + b_1 d$	$\log b_0 = 3,1241246$ $b_1 = -0,0184323$	1/28	1483,12	0,9815	0,11345	7,74
2	$\log y = \log b_0 + b_1 d^2$	$\log b_0 = 2,4614974$ $b_1 = -9,9899 \text{ E-}05$	1/28	1196,33	0,9771	0,12604	8,60
3	$\log y = \log b_0 + b_1 \log d$	$\log b_0 = 6,839225$ $b_1 = -2,8471433$	1/28	176,36	0,8630	0,3085	21,06
4	$\log(y+1) = b_0 + b_1 d$	$b_0 = -0,0141247$ $b_1 = -7,99623 \text{ E-}04$	1/28	60,77	0,6846	0,024313	28,27
5	$\log y = b_0 + b_1 d + b_2 d^2 + b_3 d^3$	$b_0 = 2,850994$ $b_1 = -0,0107555$ $b_2 = -3,87573 \text{ E-}05$ $b_3 = -2,53214 \text{ E-}08$	3/26	898,17	0,9904	0,084556	5,77

QUADRO 28: 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 diâmetro de 5 cm, respectivamente para o grupo III (espécies comerciais).

Nº	MODELO	COEFICIENTES	Para os valores de:						
			t	r	Xt	Xr	X <sub>0,80</sub>	a	b
6	F(d) = 1 - exp{-(d/b) <sup>c</sup> }	c = 1,688	0,16	0,99	17,3	120,3	57,0	-	-
		b = 43,0							
7	f(d) = c(d - a) <sup>α</sup> (b - d) <sup>γ</sup>	c = 4,32127 E-08	-	-	-	-	-	15	205
		α = -0,1140920							
		γ = 4,4464643							

QUADRO 29: Valores das estimativas do número de árvores/100 ha por classes de diâmetros de 5 cm para o grupo III (espécies comerciais) 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 - 20	477	632	270	1996	477	447	581	500
20 - 25	460	511	258	976	407	388	259	393
25 - 30	326	413	243	551	352	335	267	329
30 - 35	234	334	227	343	307	288	262	278
35 - 40	223	270	209	228	270	247	248	237
40 - 45	210	219	191	160	239	210	227	203
45 - 50	172	177	172	116	212	178	203	173
50 - 55	153	143	154	87	188	150	177	148
55 - 60	123	116	135	67	168	126	151	126
60 - 65	98	94	118	53	149	105	126	106
65 - 70	93	76	101	43	132	87	103	90
70 - 75	78	61	86	35	117	72	83	75
75 - 80	61	50	73	29	104	59	66	63
80 - 85	51	40	60	24	91	48	51	52
85 - 90	40	32	50	20	79	39	39	43
90 - 95	32	26	40	17	68	32	30	35
95-100	26	21	32	15	58	26	22	29
100-105	26	17	26	13	49	21	16	23
105-115	15	14	20	11	40	16	12	18
115-120	11	11	16	10	31	13	8	14
120-125	9	9	12	9	23	10	6	11
125-130	8	7	9	8	15	8	4	9
130-135	7	6	7	7	8	6	3	6
135-140	7	5	5	6	1	5	2	5
140-145	4	4	4	6	-6	4	1	4
145-150	2	3	3	5	-12	3	1	2
150-155	2	3	2	5	-19	2	1	2
155-160	1	2	1	4	-25	2	0	1
160-165	2	2	1	4	-31	1	0	1
> 165	1	1	1	4	-37	1	0	0
SOM. QUAD. RES.		47943	92579	2657405	35423	9816	59797	7396
P.A.		0,000002	0,000001	0,000002	0,000001	0,1312*	-	0,5155*

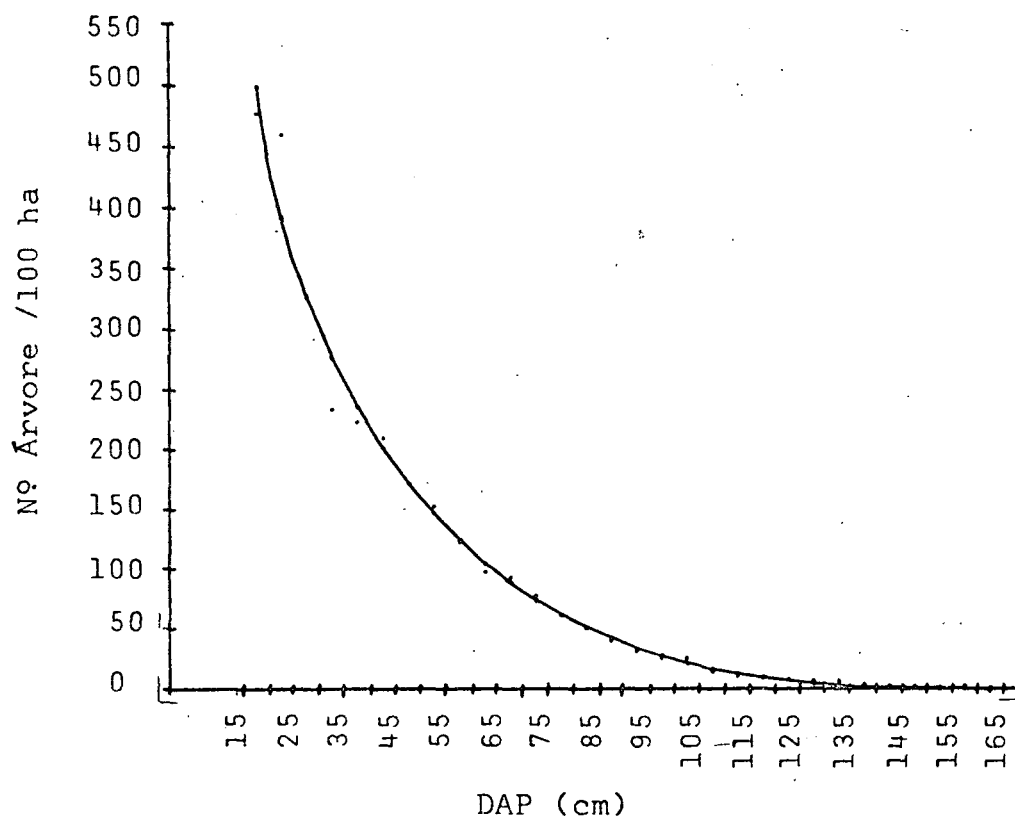


Figura 24: Distribuição Diamétrica das Espécies Comerciais com intervalos de classes de 5 cm, ajustada pelo Modelo 7.

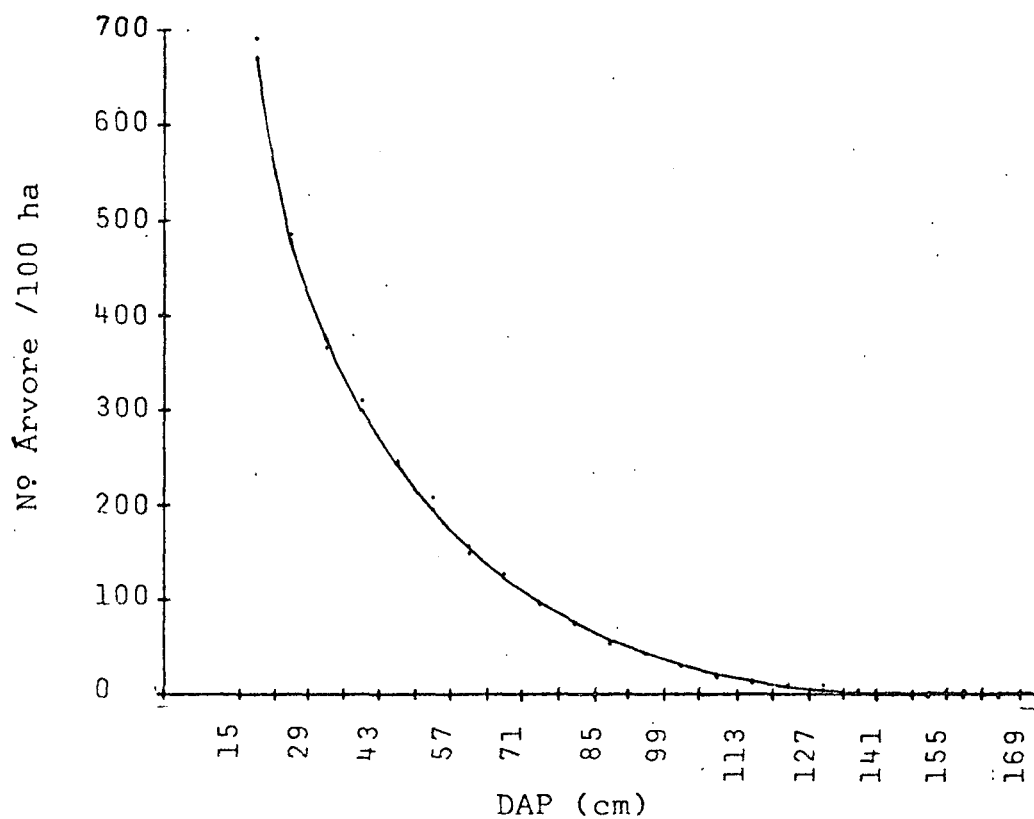


Figura 25: Distribuição Diamétrica das Espécies Comerciais com intervalos de classes de 7 cm, ajustada pelo Modelo 7



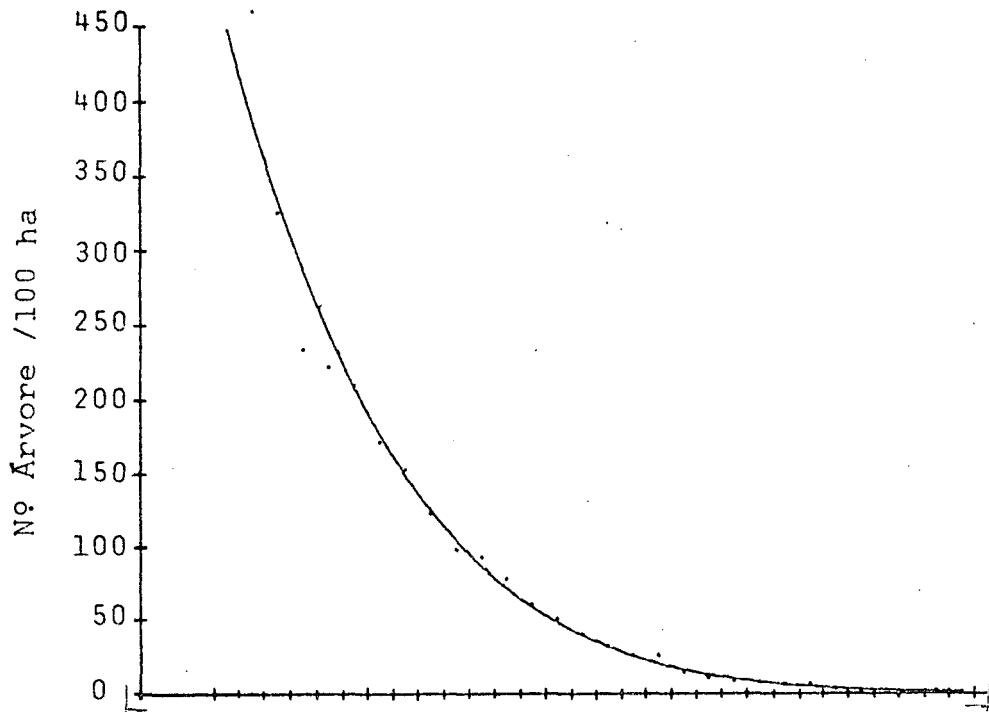


Figura 26: Distribuição Diamétrica das Espécies Comerciais com intervalos de classes de 5 cm, ajustada pelo Modelo 5.

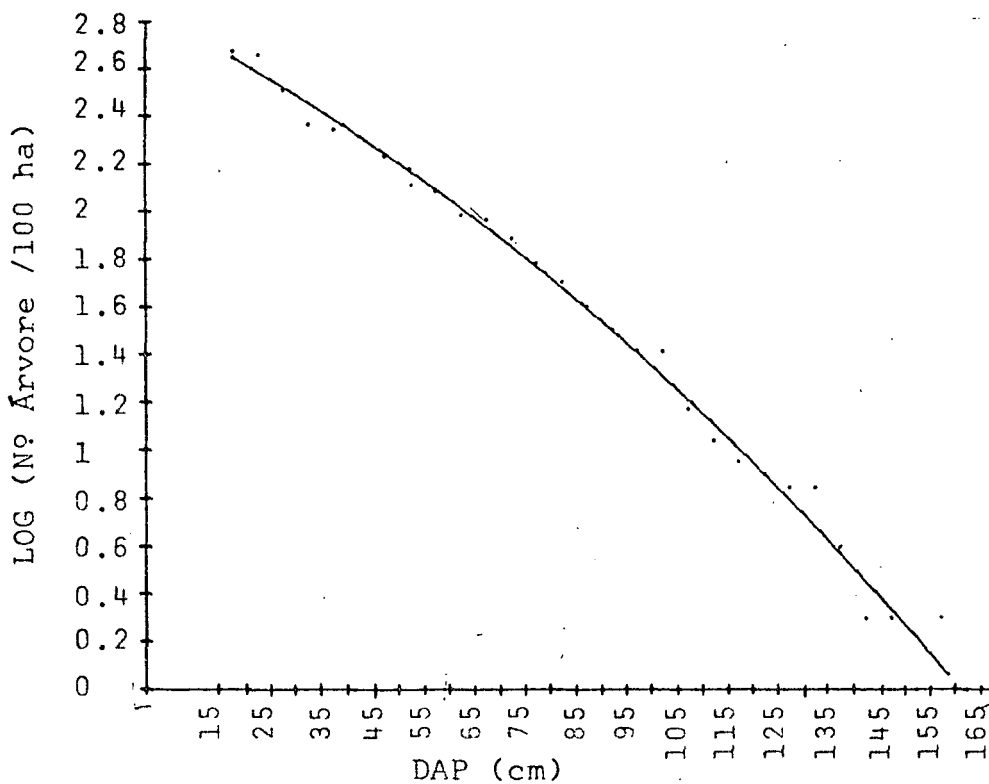


Figura 27: Distribuição Diamétrica das Espécies Comerciais em papel semi-log com intervalos de classes de 5 cm, ajustada pelo Modelo 5



## 5. CONCLUSÕES

1. Para os grupos de todas as espécies e para as espécies frequentes a precisão dos ajustes dos modelos decrescem à medida que diminuem os intervalos de classes de diâmetro, ou seja, as distribuições foram melhores ajustadas, quando utilizado o intervalo de classe de 10 cm nos referidos grupos de espécies, o que não ocorre para o grupo das espécies comerciais.
2. Para o grupo de todas as espécies as distribuições diamétricas foram melhor ajustadas pelos modelos 5, 7 e 1 para os intervalos de classes de 10 cm, 7 cm e 5 cm respectivamente.
3. Para o grupo das espécies frequentes os melhores ajustes foram obtidos pelos modelos 6, 1 e 7 para os intervalos de classes de 10cm, 7cm e 5cm respectivamente.
4. A função Beta (modelo 7) foi a que melhor se ajustou nos três intervalos de classes utilizados, para o grupo das espécies comerciais.
5. Os modelos 1, 5 e 7 foram os que apresentaram de um modo geral os melhores ajustes.

6. Os modelos 2 e 3 foram os modelos que apresentaram os piores ajustes nas distribuições testadas.
7. As porcentagens do número de árvores até um diâmetro especificado foram muito bem estimados pela função Weibull para os três diferentes grupos de espécies em intervalos de classes testadas.

## 6. RECOMENDAÇÕES

Esta pesquisa apresenta um simples passo no desenvolvimento do estudo descritivo das distribuições de diâmetro em florestas tropicais da Amazônia. Para complementar este estudo recomenda-se a verificação se a teoria de GOFF & WEST<sup>8</sup> é efetivamente melhor para descrever tais distribuições do que a função exponencial negativa de MEYER<sup>21</sup>, além de pesquisar mais a fundo a função Weibull, principalmente a de três-parâmetros ou mesmo a de dois-parâmetros utilizando técnicas mais precisas como a de probabilidade máxima para as estimativas dos coeficientes, realizando novos testes em outras áreas da Amazônia.

Apenas os estudos descritivos das distribuições diamétricas, são insuficientes para fornecer subsídios para planos de manejo que visem um rendimento sustentado, necessitando um estudo de diferentes formas de distribuições que melhor se adaptam no manejo da área.

Um estudo mais preciso, a partir de diâmetros menores ou iguais a 5 cm, das dinâmicas do desenvolvimento dessas florestas, será possível pelo uso de modelos como a Matriz de Transição que permite a visualização da trajetória do desenvolvimento da floresta. Para isso, a implantação de parcelas permanentes torna-se imprescindível para a determinação da velocidade de crescimento, do ingresso e mortalidade, todos os fatores importantes para o manejo de florestas.

## 7. RESUMO

A presente pesquisa teve como objetivos 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-Pará, sendo medidas 11.173 árvores com diâmetro mínimo de 15 cm distribuídas em 167 espécies.

Para descrever a distribuição diamétrica da área os seguintes modelos foram testados.

MODELO 1: Exponencial, Tipo I

$$y_i = A \cdot e^{-BX_i}$$

MODELO 2: Exponencial, Tipo II

$$y_i = A \cdot e^{-BX_i^2}$$

MODELO 3: Potencial, Mervart

$$y_i = A \cdot X_i^{-B}$$

MODELO 4: Hipérbole, Pierlot

$$y_i = [(X_i - X_0) / (10^{A+BX_i} - 1)] + y_0$$

MODELO 5: Polinomial, Goff & West

$$\log y = b_0 + b_1 X_i + b_2 X_i^2 + \dots + b_n X_i^n$$

MODELO 6: Função Weibull

$$F(X) = 1 - \exp\{-(X/b)^c\}$$

MODELO 7: Função Beta

$$f(X) = c(X-a)^\alpha \cdot (b-X)^\gamma$$

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 probabilidade que o número de mudanças de sinal observado no gráfico dos resíduos ocorrem aleatoriamente.

Entre os sete modelos testados, a relação do número de árvores por 100 ha por classes de diâmetros as funções beta, polinomial e exponencial apresentaram os melhores resultados.

A função Weibull parece estimar muito bem as porcentagens do número de árvores menores ou igual a 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 decresce a medida que diminui o intervalo de classe.

## 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 and the commercial species.

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

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

MODEL 1: Exponential, type I

$$y_i = A \cdot e^{-BX_i}$$

MODEL 2: Exponential, type II

$$y_i = A \cdot e^{-BX_i^2}$$

MODEL 3: Power function, MERVART

$$y_i = A \cdot X_i^{-B}$$

MODEL 4: Hyperbola, PIERLOT

$$y_i = [(X_i - X_0) / (10^{A+BX_i} - 1)] + y_0$$



MODEL 5: Polynomial, GOFF & WEST

$$\log y = b_0 + b_1 X_i + b_2 X_i^2 + \dots + b_n X_i^n$$

MODEL 6: Weibull function

$$F(X) = 1 - \exp\{-(X/b)^c\}$$

MODEL 7: Beta function

$$F(X) = c(X-a)^\alpha (b-X)^\gamma$$

The sum of squares of residuals 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 class interval of 10 cm, the precision of the equations decreased with the decreasing of the class intervals.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BAILEY, R.L. Weibull model for *Pinus radiata* diameter distributions. In: I.U.F.R.O. Statistics in forestry research. Vancouver, 1973. p. 51-59.
2. —. & DELL, T. R. Quantifying diameter distributions with the Weibull function. For. Sci., 19(2): 97-104, 1973.
3. BLISS, C.I. & REINKER, K.A. A log-normal approach to diameter distributions in even-aged stands. For.Sci., 10(3): 350-360, 1964.
4. BEYER, W.H. ed. Handbook of tables for probability and statistics. 2.ed. Cleveland, The Chemical Rubber, 1974. 642 p.
5. CUNIA, T. On frequencies and frequency functions. For. Sci., 17(3): 339-400, 1971.
6. DRAPER, N.R. & SMITH, H. Applied regression analysis. New York, John Wiley, 1966. 407 p.
7. EK, D.R. Non-linear models for stand tables projection in northern hardwood stands. Can.J.For.Res., 4: 23-27, 1974.
8. GOFF, F.G. & WEST, D. Canopy understory interactions effect on forest populations structure. For.Sci., 21(2): 98-108, 1975.
9. HEINSDIJK, D. & BASTOS, M.A. A distribuição dos diâmetros nas florestas brasileiras. B.Setor de Inv.Flor., 11, 1965. 56 p.
10. —. Inventário na Amazônia. B. Setor de Inv. Flor., 6, 1963. 99 p.
11. —. A floresta do Norte do Espírito Santo. B. Serv. Flor., 7, 1963. 68 p.
12. HOUGH, A.F. Some diameter distributions in forest stands of northwestern Pennsylvania. J. For., 30: 933-943, 1932.

13. LAAR, A, van & GELDENHUYS, C.J. Distribution and correlation patterns in a indigenous forest. Mededeling Communication, 92, 1975. 28 p.
14. LEAK, W.B. The J-shaped probability distribution. For. Sci., 11(4): 405-409, 1965.
15. \_\_\_\_\_. Sampling stand development: a compound exponential process. For.Sci., 16(2): 177-180, 1970.
16. \_\_\_\_\_. An expression of diameter distribution for unbalanced uneven aged stands and forests. For. Sci., 10(1): 39-50, 1964.
17. LIMA, A.A. & SANTOS, P.L. Pesquisas bibliográficas Polo XI-Tapajós. Serviço Nacional de Levantamentos de Solo e Conservação do Solo, EMBRAPA, 1976.
18. LOETSCH, F.; ZÖRHER, F. & HALLER, K.E. Forest inventory. Munique, B.L.V., 1963. v.2, 469 p.
19. MACHADO, S.A. Estudo comparativo de métodos de medição num bosque secundário tropical. Turrialba, IICA, Centro Tropical de Ensino e Investigação, 1972. 86 p.
20. MCGEE, C.E. & DELLA-BIANCA, L. Diameter distributions in natural yellow-poplar stands. USDA Forest Service Research Paper SE-25, 1967. 3 p.
21. MEYER, H.A. Structure, growth and drain in balanced uneven aged forests. J. For., 50: 85-92, 1952.
22. \_\_\_\_\_. & STEVENSON, D.D. The structure and growth of virgin beech-birch-maple-hemlock forests in northern Pennsylvania. J. Agric. Res., 67: 465-484, 1943.
23. MOSER, J.W. Jr. Dynamics of a uneven aged forest stand. For. Sci., 18(3): 184-191, 1972.
24. NELSON, T.C. Diameter distribution and growth of loblolly pine. For. Sci., 10(1): 105-115, 1964.
25. PARANÁ. Universidade Federal. Centro de Pesquisas Florestais. Inventário florestal da região de influência da Represa Itaipu, sub-projeto Manejo-"Protetivo-Produtivo" para as florestas nativas. Curitiba, 1978. 32 p.
26. PARÁ. Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal. Grupo de Operações da Amazônia. Inventário florestal da Rodovia Santarém-Cuiabá. Belém, 1972. 61 p.
27. QUEIRÓZ, 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 f. Tese de Mestrado. Setor de Ciências Agrárias, UFPr.

28. SCHMELZ, B. & LINDSEY, A.A. Size class structure of old growth forest of Indiana. For. Sci., 11(4):258-264, 1965.
29. SILVA, J.A. Biometria e estatística florestal. Santa Maria, USFM, Centro de Ciências Rurais, Departamento de Engenharia Agrícola e Florestal, 1977. 235 p.
30. SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DA AMAZÔNIA. Pesquisa instrumental básico para o planejamento regional. Belém, Departamento de Recursos Naturais, s.d. 51 p.
31. WADSWORTH, R.K. A study of diameter distributions of on uneven aged tropical forest by means of a transition matrix model. Washington, 1977. 155 f. Ph.D. Dissertation. University of Washington.

A P E N D I C E

QUADRO 31: Codificação das espécies por ordem do nome científico, extraída de QUEIROZ<sup>27</sup>.

CÓDIGO	NOME CIENTÍFICO	NOME VULGAR	FAMÍLIA
001 +	<i>Alexa grandiflora</i> Ducke	Melancieira	Leguminosae
002	<i>Anacardium spruceanum</i> Engl.	Caju-Açu	Anacardiaceae
003 *	<i>Aniba burcherllii</i> Kesterm	Louro amarelo	Lauraceae
004	<i>Aniba canelilla</i> Mez.	Preciosa	Lauraceae
005	<i>Annonaceae</i> Gr.Envira	Envira Pinaúba	Annonaceae
006	<i>Annonaceae</i> Gr.Pimenta	Pimenta de Jacu	Annonaceae
007	<i>Apeiba echinata</i> Ducke	Pente de Macaco	Tiliaceae
008	<i>Apuleia molaris</i> Benth	Muiratauã	Leguminosae
009	<i>Aspidosperma</i> sp.	Araracanga	Apocynaceae
010	<i>Aspidosperma duckei</i> Huber ex Ducke	Bucheira	Apocynaceae
011 *	<i>Astronium lecointei</i> Ducke	Muiracatiara	Anacardiaceae
012 *	<i>Astronium fraxinifolium</i> Mattick	Aroeira	Anacardiaceae
013 *	<i>Bagassa guianensis</i> Aubl.	Tatajuba	Moraceae
014	<i>Belluttia</i>	Muuba da Mata	Melastomataceae
015 +*	<i>Berthollettia excelsa</i> HBK	Castanha do Pará	Lecythidaceae
016 +	<i>Bixa arborea</i> Huber	Urucu da Mata	Bixaceae
017	<i>Bocageopsis multiflora</i> R.E. Fries	Envira Preta	Annonaceae
018	<i>Bombax</i> sp.	Mamorana	Bombacaceae
019	<i>Bombax paraense</i> Ducke	Mungubarana	Bombacaceae
020 *	<i>Bowdichia nitida</i> Spruce	Sucupira	Leguminosae
021 +	<i>Brosimum</i> spp	Janitã	Moraceae
022	<i>Brosimum</i> spp	Amapã folha larga	Moraceae

CÓDIGO	NOME CIENTÍFICO	NOME VULGAR	FAMÍLIA
023	<i>Brosimum amplicomum</i> Ducke	Amapá Amargoso	Moraceae
024	<i>Brosimum obovatum</i> Ducke	Mururé	Moraceae
025	<i>Brosimum</i> spp	Amapá doce folha miúda	Moraceae
026	<i>Brosimum velutinum</i> Ducke	Caxinguba	Moraceae
027 *	<i>Calophyllum brasiliense</i> Camb.	Jacareúba	Guttiferaceae
028 +*	<i>Carapa guianensis</i> Aubl.	Andiroba	Meliaceae
029	<i>Caryocar villosum</i> Wittm.	Piquiá	Cariocaraceae
030	<i>Cassia apoucouita</i> Benth.	Irari	Leguminosae
031	<i>Cassia leiandra</i> Sandwith	Mari-mari	Leguminosae
032	<i>Cassia lucens</i> Huber	Cassia	Leguminosae
033	<i>Cassia spruceana</i> D.C.	Fava Mari-mari	Leguminosae
034 *	<i>Cedrela odorata</i> L.	Cedro vermelho	Meliaceae
035 *	<i>Ceiba pentandra</i> Bakh	Sumaúma	Bombacaceae
036	<i>Chaunochi kappleri</i> Ducke	Lacrão	Olacaceae
037	<i>Clarisia racemosa</i> R.Pav.	Guariúba	Moraceae
038	<i>Coccoloba</i> sp.	Tinteiro	Poligonaceae
039	<i>Connarus angustifolius</i> Schellanb	Connarua	Connanaceae
040 *	<i>Copaifera duckei</i> Dwyer	Copaíba	Leguminosae
041 +*	<i>Cordia goeldiana</i> Huber	Freijó verdadeiro	Borraginaceae
042 *	<i>Cordia bicolor</i> A.DC.	Freijó branco	Borraginaceae
043	<i>Conceveiba guianensis</i> Ducke	Maravuvuia	Euphorbiaceae
044	<i>Couepia bracteosa</i> Ducke	Pajurá da mata	Rosaceae
045	<i>Couma</i> spp	Marfim preto	Apocynaceae
046 *	<i>Couma guianensis</i> Aubl.	Sorva	Apocynaceae

CÓDIGO	NOME CIENTÍFICO	NOME VULGAR	FAMÍLIA
047	<i>Crudia glaberrima</i> Maobr.	Fava-Ipê	Leguminosae
048 +	<i>Dialium guianensis</i> Aubl.	Jutai-pororoca	Leguminosae
049 *	<i>Didymopanax morototoni</i> Marchal.	Morototô	Araliaceae
050 *	<i>Dinizzia excelsa</i> Ducke	Angelim pedra	Leguminosae
051	<i>Diospyros guianensis</i> Ducke	Caqui	Ebenaceae
052	<i>Diospyros praetermissa</i> Sandwith	Caqui	Ebenaceae
053 *	<i>Dipteryx odorata</i> Ducke	Cumaru	Leguminosae
054 *	<i>Diploctropis</i> spp.	Sucupira	Leguminosae
055 +	<i>Endopleura uchi</i> Cwatr.	Uchi lisa	Humiriaceae
056	<i>Enterolobium maximum</i> Ducke	Fava timbaúba	Leguminosae
057 *	<i>Enterolobium schomburgkii</i> Benth	Fava de rosca	Leguminosae
058 +	<i>Erisma uncinatum</i> Warm.	Quarubarana	Vochysiaceae
059	<i>Eschweilera amara</i> Ndz.	Matá-matá vermelho	Lecythidaceae
060 +	<i>Eschweilera amazonica</i> R. Knuth	Matá-matá	Lecythidaceae
061	<i>Eschweilera odorata</i> Warm.	Matá-matá branco	Lecythidaceae
062	<i>Eschweilera</i> spp.	Matá-matá preto	Lecythidaceae
063	<i>Eugenia</i> spp.	Goiabinha	Mertaceae
064	<i>Fagara</i> spp.	Tamanqueira	Rutaceae
065	<i>Fusaea longifolia</i> Safford	Envira surucucu	Annonaceae
066	<i>Glycydendron amazonicum</i> Ducke	Mirindiba	Euphorbiaceae
067	<i>Guarea costata</i> C. DC.	Jatuauba preta	Meliaceae
068	<i>Guatteria amazonica</i> R.E. Fries	Envira branca	Annonaceae
069 *	<i>Goupia glabra</i> Aubl.	Cupiúba	Celastraceae



CÓDIGO	NOME CIENTÍFICO	NOME VULGAR	FAMÍLIA
070	<i>Heisteria fleuxuosa</i> Engl.	Não encontrado	<i>Olacaceae</i>
071	<i>Hevea</i> spp.	Seringa fraca da mata	<i>Euphorbiaceae</i>
072	<i>Hevea</i> spp.	Seringueira	<i>Euphorbiaceae</i>
073	<i>Hevea spruceana</i> Ducke	Seringa barriguda	<i>Euphorbiaceae</i>
074	<i>Hippeoratea volubitis</i> Ubr.	Fava de arara	<i>Hippocrateaceae</i>
075 *+	<i>Holopyxidium jarana</i> Ducke	Jarana	<i>Lecythidaceae</i>
076	<i>Hymattanthus sucuuba</i> Warm	Sucuuba	<i>Apocynaceae</i>
077 *	<i>Hymenaea courbaril</i> L.	Jutai-açu	<i>Leguminoseae</i>
078 *	<i>Hymenaea parvifolia</i> Huber	Jutai mirim	<i>Leguminoseae</i>
079	<i>Hymenolobium</i> spp.	Angelim da mata	<i>Leguminoseae</i>
080	<i>Inga alba</i> Willd.	Ingã-chichi	<i>Leguminoseae</i>
081	<i>Inga gracilifolia</i> Ducke	Ingã	<i>Leguminoseae</i>
082 +	<i>Jacaranda copaia</i> Bur.	Paraparã	<i>Bignoniaceae</i>
083	<i>Laetia procera</i> (Poepp) Eichl.	Pau jacaré	<i>Flacourtiaceae</i>
084 +	Não identificado Nº 1		
085 *	<i>Lecythis usitata</i> var. <i>paraensis</i> R. Knuth	Castanha sapucaia	<i>Lecythidaceae</i>
086	<i>Licania heterophylla</i> Aubl.	Macucu	<i>Rosaceae</i>
087	<i>Licania incana</i> Aubl.	Caraípe	<i>Rosaceae</i>
088	<i>Licania micrantha</i>	Caraíperana	<i>Rosaceae</i>
089	<i>Luhea procera</i> Mart.	Açoita cavalo	<i>Tiliaceae</i>
090 *+	<i>Manilkara huberi</i> Ducke	Maçaranduba	<i>Sapotaceae</i>
091 *	<i>Manilkara paraensis</i> Ducke	Maparajuba	<i>Sapotaceae</i>
092	<i>Maquira sclerophylla</i> Aubl.	Muiratinga Folha larga	<i>Moraceae</i>
093	<i>Maytenus guianensis</i>	Chichuã	<i>Celastraceae</i>

CÓDIGO	NOME CIENTÍFICO	NOME VULGAR	FAMÍLIA
094 *	<i>Mezilaurus itauba</i> Taubert ex Mez.	Itauba	Lauraceae
095 *	<i>Mezilaurus lindaviana</i> Mez	Itauba amarela	Lauraceae
096 +	<i>Micropholis</i> spp.	Abiurana	Sapotaceae
097	<i>Micropholis guyanensis</i>	Rosadinha	Sapotaceae
098	<i>Myrcia falax</i>	Murta	Mirtaceae
099	<i>Neea</i> spp.	João mole	Nyctaginaceae
100 +	<i>Nectandra</i> spp.	Louro	Lauraceae
101	Não identificado N° 2		
102	<i>Ocotea guianensis</i> Kosterm	Louro branco	Lauraceae
103 +	<i>Ocotea</i> spp.	Louro preto	Lauraceae
104 *	<i>Ocotea rubra</i> Mez.	Louro vermelho	Lauraceae
105	<i>Ormosia coccinea</i> Rudd.	Tento	Leguminosae
106	<i>Brosimum</i> spp.	Amapá doce	Apocynaceae
107 *	<i>Hymenolobium excelsum</i> Benth	Angelim da mata	Leguminosae
108	<i>Parkia pendula</i> R. Benoist	Visgueiro	Leguminosae
109	<i>Parkia multijuga</i> Benth.	Paricá grande da Terra firme	Leguminosae
110	<i>Vataireopsis</i> Ducke	Fava amargosa	Leguminosae
111	<i>Peltogyne</i> spp.	Coatá-quiçaua	Leguminosae
112 +	<i>Perebea</i> spp.	Muiratinga peluda	Moraceae
113 +	<i>Piptadenia</i> spp.	Fava folha fina	Leguminosae
114	<i>Pithecelobium cauliflorum</i> Lindm.	Ingarana	Leguminosae
115 *	<i>Pithecelobium recemosum</i> Ducke	Angelim rajado	Leguminosae
116 *	<i>Platymiscium filipes</i> Benth	Macacaúba	Leguminosae
117	<i>Phyllanthus</i> sp.	Ginja	Euphorbiaceae

CÓDIGO	NOME CIENTÍFICO	NOME VULGAR	FAMÍLIA
118	<i>Pogonophora sechomburgkiana</i>	Amarelinho	<i>Euphorbiaceae</i>
119	<i>Pouteria</i> spp.	Abiurana	<i>Sapotaceae</i>
120	<i>Pouteria</i> spp.	Abiurana frutão	<i>Sapotaceae</i>
121	<i>Pouteria</i> spp.	Abiurana peluda	<i>Sapotaceae</i>
122	<i>Pouteria</i> spp.	Abiú pitomba	<i>Sapotaceae</i>
123	<i>Pouteria</i> spp.	Abiurana casca fina	<i>Sapotaceae</i>
124	<i>Pouteria engleri</i> Eyma	Abiurana casca grossa	<i>Sapotaceae</i>
125	<i>Pouteria laurifolia</i> Ducke	Abiu seco	<i>Sapotaceae</i>
126	<i>Pouteria macrophylla</i> Eyma	Abiurna cutite	<i>Sapotaceae</i>
127	<i>Protium</i> spp.	Breu	<i>Burseraceae</i>
128 +	<i>Protium giganteum</i> Engl.	Breu vermelho	<i>Burseraceae</i>
129	<i>Protium pallidum</i> Cuatr.	Breu branco	<i>Burseraceae</i>
130 *	<i>Qualea albiflora</i> Warm.	Mandioqueira	<i>Vochysiaceae</i>
131	<i>Rollinia exsucca</i> R.E.Fries	Envira preta	<i>Annonaceae</i>
132	<i>Roupala</i> spp.	Faiera	<i>Proteaceae</i>
133	<i>Saccoglottis guianensis</i> Ducke	Achua	<i>Humiriaceae</i>
134	<i>Sclerolobium guianensis</i> Dwyer	Tachi	<i>Leguminosae</i>
135 +	<i>Sclerolobium aff. chrysophyllum</i> Poepp. & Endl.	Tachi vermelho	<i>Leguminosae</i>
136	<i>Tachigalia alba</i> Ducke	Tachi branco	<i>Leguminosae</i>
137 *	<i>Simaruba amara</i> Engl.	Marupã	<i>Simarubaceae</i>
138	<i>Simplocos</i> spp.	Não encontrado	<i>Symplocaceae</i>
139	<i>Symplocos</i> spp.	Não encontrado	<i>Symplocaceae</i>
140	<i>Simaruba guianensis</i> A.DC.	Capitiu	<i>Monimiaceae</i>

CÓDIGO	NOME CIENTÍFICO	NOME VULGAR	FAMÍLIA
141	<i>Sloanea grandiflora</i> L.	Urucurana	Tiliaceae
142 +	<i>Sterculia</i> spp.	Achichã	Sterculiaceae
143	<i>Strychnodendrom pulcherrimum</i>	Fava barbatimão	Leguminosae
144	<i>Swartzia</i> spp.	Não encontrado	Leguminosae
145	<i>Swartzia</i> spp.	Não encontrado	Leguminosae
146	<i>Swartzia</i> spp.	Não encontrado	Leguminosae
147	<i>Swartzia</i> spp.	Não encontrado	Leguminosae
148	<i>Symphonia globulifera</i> Sucke	Anani	Guttiferaceae
149 *	<i>Tabebuia serratifolia</i> Rolfe	Pau d'arco amarelo	Bignoniaceae
150 +	<i>Sclerolobium</i> spp.	Tachi preto folha miúda	Leguminosae
151	<i>Tachigalia myrmecophila</i> Ducke	Tachi preto folha grande	Leguminosae
152	<i>Talisia</i> spp.	Pitomba	Sapindaceae
153	<i>Talisia</i> spp.	Pitomba de leite	Sapindaceae
154	<i>Terminalia</i> spp.	Cuiarana	Combretaceae
155 +	<i>Tapirira guianensis</i> Engler	Tatapiririca	Anacardiaceae
156	<i>Trattinickia rhoifolia</i> Engler	Breu Sucuruba	Burseraceae
157	<i>Trichilia hirsuta</i> Benth	Chachuã	Meliaceae
158	<i>Trichilia</i> spp.	Não encontrado	Meliaceae
159	<i>Vantanea</i> spp.	Uchirana	Humiriaceae
160	<i>Vatairea guianensis</i> Aubl.	Fava grande do Igapô	Leguminosae
161 +	<i>Virola</i> spp.	Ucuuba terra firme	Myristicaceae
162	<i>Virola</i> spp.	Ucuuba folha peluda	Myristicaceae

CÓDIGO	NOME CIENTÍFICO	NOME VULGAR	FAMÍLIA
163 +*	<i>Virola sebifera</i> Aubl.	Ucuuba vermelha	<i>Myristicaceae</i>
164	<i>Vitex</i> spp.	Taruma	<i>Verbenaceae</i>
165 *	<i>Vochysia maxima</i> Ducke	Quaruba verdadeira	<i>Vochysiaceae</i>
166	<i>Byrsonima crispera</i> Juss	Muruci da mata	<i>Malpighyaceae</i>

\* Espécies comerciais, Grupo III

+ Espécies frequentes, Grupo II