DISTRIBUIÇÕES DIAMÉTRICAS DA FLORESTA TROPICAL ÚMIDA EM UMA ÁREA NO MUNICÍPIO DE ITACOATIARA-AM.

César Leandro Abozaglo UMAÑA[1], Jurandyr da Cruz ALENCAR[2]

RESUMO — Foram estudadas as funções de distribuição Beta, Gama e Weibull em dez hectares de floresta tropical úmida de terra-firme da Madeireira Dois Mil, localizada no município de Itacoatiara, Amazonas, Brasil. Foram medidas todas as árvores com DAP 20 cm num total de 2.035 indivíduos. Para avaliar a função que melhor ajustou a distribuição de diâmetros nesta floresta foi utilizado o teste de Kolmogorov-Smirnov e a Análise gráfica dos residuos. O menor valor de "D" do teste Kolmogorov-Smirnov foi encontrado para a função Weibull, seguido da função Beta e por último da função Gama. As funções Weibull e Beta foram significativas ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, mas a Gama foi não significativa. Pela análise gráfica dos resíduos foi encontrado também melhor resultado para a função Weibull, pois não apresentou pontos discrepantes, ocorrendo para todas as classes uma variância uniforme dos pontos em torno da linha. Desta forma, a função Weibull foi a que apresentou melhor ajuste. A função Beta pode ser utilizada, porém para algumas classes podem ocorrer subestimativas. A função Gama não é recomendada.

Palavras-chave: Distribuição probalilística de diâmetros, função Weibull, função Beta, função Gama.

Diameter Distribution in a Tropical Rainforest of Itacoatiara, Amazonas, Brazil.

ABSTRACT — The Beta, Gamma and Weibull distribution function were studied in ten hectares of a "terra-firme" rainforest (Madeireira Dois Mil Co.) in Itacoatiara, Amazonas, Brazil. Measurements were made on 2035 trees with DBH 20 cm. Functions were compared by the Kolmogorov-Smirnov (K-S) and Residual Graphic Analysis (RGA) methods. The Weibull function performed best, followed by the Beta and Gamma function, when compared by the 'D' value of the K-S test. The Weibull and Beta functions were significant at 5%, while the Gamma was not significant, according to the K-S test. No outliers were detected for the Weibull function using RGA, indicating that variances were uniform across diameter classes, suggesting good fit of this function to this site. The Beta function can be used, but presents some bias. The Gamma function is not recommended.

Key words: diameter probablity distribution, Weibull function, Beta function, Gamma function.

INTRODUÇÃO

A Floresta Amazônica tornou-se no final da década de 80 uma das regiões do mundo de muito interesse por parte de vários paises, em virtude de sua grande extensão territorial, riqueza da biodiversidade, grande biomassa lenhosa e a complexidade dos ecossistemas, onde o equilíbrio pode ser rompido facilmente, com modificações irreversíveis após uma perturbação intensa.

A expansão da fronteira agropecuária e demanda de produtos madeireiros na Amazônia representa um recurso natural cujo aproveitamento em bases racionais é um desafio para a ciência florestal. A exploração madeireira interfere profundamente na estrutura das florestas primárias, comprometendo a sua regeneração e produtividade. A retirada de toras de grandes dimensões

1 Engenheiro Florestal, M.Sc.
2 Engenheiro Florestal, Dr. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Coordenação de Pesquisas em Silvicultura Tropical (CPST).

altera o solo florestal, prejudica a regeneração natural e modifica a estrutura da floresta. Como resultado têm-se florestas secundárias de baixo valor econômico (Batista, 1989).

Na determinação da intensidade de corte em matas naturais o sistema de seleção envolve decisões subjetivas, incluindo a escolha das espécies e árvores que permanecerão na área (Campos *et al.*, 1983). De modo geral, este sistema consiste na remoção de árvores que tenham alcançado um certo diâmetro máximo, sem aplicação de conhecimentos sobre a regeneração das espécies componentes dos povoamentos a serem manejados. Com essa remoção mecânica e exploratória não está garantida uma produção sustentada, a qual poderia e pode ser obtida realizando-se cortes de remoção nas várias classes diamétricas, em proporção tal que possa garantir um processo contínuo de regeneração (Troup, 1966).

Para a aplicação de qualquer sistema de manejo, em regime de rendimento sustentado em florestas tropicais na Amazônia, é imperativo que se conheça a estrutura dessas florestas. Pela análise estrutural é determinada a composição horizontal e vertical da floresta do ponto de vista qualitativo e quantitativo, permitindo a intervenção no povoamento numa intensidade que não provoque alterações irreversíveis, possibilitando que a floresta atinja seu máximo potencial produtivo (Jardim & Hosokawa, 1986/87).

Nas florestas naturais da Amazônia, em virtude da dificuldade de se estimar a idade das árvores que se encontram nos diferentes estratos florestais, o incremento médio anual não pode ser obtido. Porém, a Distribuição Diamétrica é um ótimo indicador do estoque em crescimento das florestas, já que o diâmetro é uma variável real, obtida por medição direta das árvores e o volume pode ser estimado de forma aproximada através de modelos de regressão.

Considerando que na área estudada estão sendo desenvolvidas atividades de exploração madeireira, em escala comercial, que provocam alterações na estrutura dos diâmetros, é importante que a distribuição diamétrica do povoamento manejado não seja drasticamente perturbada a fim de permitir um controle efetivo sobre a distribuição de equilíbrio da floresta.

Para o sucesso da utilização da floresta tropical em regime de rendimento sustentado a falta de informações sobre o comportamento da estrutura diamétrica, ao longo do tempo, tem sido um fator limitante. Além de não se conhecer a idade das árvores, as observações de parcelas permanentes para o monitoramento do crescimento ainda não geraram as informações necessárias para se determinar um modelo capaz de garantir subsídios ao planejamento a longo prazo (Freitas, 1992).

Atualmente, o estudo das distribuições diamétricas está amplamente difundido e aplicado na Europa e Estados Unidos, porém no Brasil são poucos os trabalhos sobre esse assunto em florestas naturais como instrumento de manejo, o que, segundo Barros (1980), é o meio mais simples e eficaz para descrever as características de um povoamento.

Loetsch *et al.* (1973) relataram que o conhecimento da distribuição diamétrica é um indicativo da estrutura de estoque em crescimento, possibilitando a obtenção de conclusões silviculturais sobre o povoamento, tais como: ciclo de corte, indicativo de ação antrópica, estágio de desenvolvimento atual da floresta, taxa de ingresso (número de árvores que passaram de uma classe diamétrica inferior para uma superior).

Barros (1980) afirmou que o conhecimento da estrutura diamétrica das florestas tropicais é de vital importância para o manejo florestal, uma vez que a idade é de difícil obtenção, além de apresentar valor relativo, por causa de sua ampla variação. Mas a variável diâmetro assume qualquer valor positivo maior que zero, originando dados contínuos (Couto, 1980).

Numa floresta onde o incremento corrente anual pode ser removido anualmente ou periodicamente, mantendo-se a mesma estrutura e volumes iniciais, a distribuição diamétrica foi denominada Balanceada. Esta designação pode ser dada a uma floresta virgem natural, pois este incremento é compensado pela mortalidade corrente, existindo um equilíbrio entre crescimento e mortalidade, de tal forma que esta floresta se perpetua indefinidamente (Meyer, 1952).

De Liocourt em 1898 propôs que a distribuição diamétrica em florestas heterogêneas tende para uma distribuição em forma de "J" invertido, a qual poderá ser mantida com o manejo dessas florestas de modo a aproximar-se de uma distribuição balanceada capaz de assegurar uma produção sustentada (Barros, 1980).

Hough (1932) e Leak (1964) *apud* Barros (1980), concluíram que a curva do número de árvores por hectare por classes de diâmetro (DAP) aproxima-se de uma forma de "J" invertido, característica da distribuição de diâmetros de florestas multianas. Desta forma, a distribuição diamétrica do número de árvores por unidade de área das florestas tropicais apresenta um grande número de indivíduos nas classes inferiores, com progressiva diminuição à medida que o diâmetro aumenta.

O crescimento diamétrico em florestas tropicais apresenta uma ampla variação entre espécies e dentro de uma mesma espécie. Segundo Swaine *et al.* (1987), em um mesmo sítio, as diferenças no crescimento estão relacionadas com as condições de recebimento de luz (radiação) pelas copas e com o grau de tolerância à luz pela espécie; desta forma, as árvores que recebem mais luz crescem mais, sendo observado diferenças no crescimento de acordo com os grupos de espécies.

Meyer (1928), estudando a forma da distribuição de freqüência, concluiu que quanto mais tolerante é a espécie florestal maior é a assimetria à esquerda, do mesmo modo como ocorre em povoamentos jovens.

Hubbell & Foster (1987) relataram que várias pesquisas têm sido realizadas para estudar a forma da distribuição diamétrica da vegetação e sua classificação em categorias ombrófilas e heliófilas. Supõe-se que as espécies heliófilas possuem uma distribuição com pouca regeneração, além disso, tais espécies devem apresentar pouca regeneração durante muito tempo, porque clareiras grandes aparecem com muito menor freqüência do que clareiras pequenas. Em contraste, espera-se que as espécies ombrófilas tenham distribuições "jovens" em uma floresta mais ou menos exponencial. Isto porque, as espécies ombrófilas, que apresentam a capacidade de regeneração em pequenas clareiras e sobrevivem por muito tempo como plântulas suprimidas no sub-bosque, apresentam uma regeneração contínua.

Heinsdijk & Bastos (1965) observaram que na Amazônia algumas espécies dificilmente alcançam diâmetros maiores que 65 cm, como as Enviras (*Annona* sp.) que possuem vida muito curta. Outras apresentam uma distribuição regular como as Abiuranas (*Pouteria* sp.), estando presentes na maioria das classes diamétricas, decrscendo e até mesmo desaparecendo nas classes acima de 84 cm. A distribuição do número de árvores por classe de diâmetro pode variar muito de uma espécie para outra ou de um grupo de espécies para outro (Lamprecht, 1990).

As distribuições diamétricas foram classificadas em três tipos principais: Unimodal, Decrescente e Multimodal. As distribuições Unimodais são características de povoamentos jovens equianos, podendo ser ajustadas pela função Beta. As distribuições diamétricas Decrescentes são encontradas principalmente em: a) Florestas naturais com árvores de várias idades; b) Povoamentos florestais bem manejados contendo indivíduos de uma determinada espécie em todas as idades; c) Florestas plantadas mistas (Loetsch *et al.*, 1973). As distribuições Multimodais apresentam pouca importância nos estudos florestais, podendo existir tanto em florestas naturais como em florestas plantadas, onde seja utilizado um sistema de exploração apenas em certas classes diamétricas.

Zöhrer (1970) considerou a função Beta como a mais adaptável a qualquer distribuição, quer seja unimodal, quer seja decrescente em "J" invertido, ajustando dados de diâmetros de um povoamento de *Picea abies* (L.) Karst, na Alemanha, e outro proveniente de Floresta Tropical da Malásia. A primeira distribuição foi unimodal e a segunda decrescente.

Schreuder *et al.* (1978) utilizaram as funções de distribuição Normal, Lognormal, S_B de Johnson, Beta, Gama e Weibull, e observaram que estes modelos são os mais flexíveis para ajustarem dados de diâmetros de árvores. Testaram as funções estimando seus parâmetros pelo método da máxima verossimilhança. Os ajustes foram feitos pelos testes do logaritmo da verossimilhança e pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, não recomendando o teste do Qui-quadrado.

Couto (1980) estudou seis modelos de distribuições diamétricas (Normal, Lognormal, Gama, Weibull, S_B de Johnson e Beta) em plantações de *Pinus caribaea* no Estado de São Paulo, concluindo que as distribuições Weilbull e Normal apresentaram os melhores ajustes, não havendo uma correlação muito alta entre os estimadores de ambas, seguida pela Beta e S_B; as distribuições Gama e Lognormal não foram boas para ajustar os dados.

Barros (1980) estudou sete modelos de distribuições diamétricas na Floresta do Planalto do Tapajós-Pará (Exponencial Tipo I, Exponencial Tipo II, Potencial Mevart, Hipérbole Pierlot, Polinomial Goff & West de potências sucessivas até 5º grau, Weibull e Beta) e concluiu que a função Weibull apresentou boa estimativa da porcentagem do número de árvores até um diâmetro especificado, sendo que os melhores modelos foram a função Polinomial de Goff & West, a função Beta e a Exponencial Tipo I de Meyer.

Machado *et al.* (1982), estudando os modelos de distribuição Meyer - Tipo I, Tipo II, Potencial Mevart, Polinomial Goff & West - 2º grau, Goff & West - 3º grau, com amplitudes de classes de 5 cm e 10 cm para uma área florestal localizada nos Municípios de Tefé e Juruá, no Estado do Amazonas, concluíram que a função Goff & West - 3º grau foi a que melhor ajustou os dados, com amplitude de classes de 10cm.

Finger (1982) estudou a distribuição diamétrica da Acácia negra (*Acacia mearnsii* de Wild.), em diferentes povoamentos e idades, testando as distribuições Normal, Lognormal, Gama, Beta, Weibull e S_B pelo método de máxima verossimilhança. Pelo teste de Kolmogorov-Smirnov a distribuição S_B foi a que melhor ajuste apresentou, seguida da Beta e Weibull.

Glade (1986) estudou seis modelos (Normal, Lognormal, Gama, Weibull, S_B e Beta) em uma floresta equiânea de *Eucalyptus grandis,* concluindo que as funções Weibull, S_B e Beta apresentaram-se como as melhores, com pouca diferença entre elas e ajustes satisfatórios.

Higuchi (1987a), numa floresta tropical úmida ao norte de Manaus, utilizou as funções Weibull e Exponencial. Na estimativa dos parâmetros pela função Weibull usou o método dos percentis e de Máxima verossimilhança, concluindo que a função Weibull calculada pelos percentis foi a que apresentou melhor ajuste para a distribuição diamétrica.

Batista (1989) utilizou a função Weibull como modelo para distribuição de diâmetros em espécies arbóreas tropicais, e relatou não ter observado relações consistentes entre os parâmetros da distribuição e as características fitossociológicas das espécies estudadas.

Higuchi (1987b), usando a Cadeia de Markov , concluiu que não houve evidência de que a probabilidade de mortalidade aumentou com o aumento da classe de diâmetro, acontecendo o mesmo com as mudanças nas classes de diâmetro, ou seja, as mudanças estavam ocorrendo independentemente do tamanho da classe. A Cadeia de Markov é um processo estocástico para estudar fenômenos que passam por uma seqüência de estados, a partir de um estado inicial, onde a transição de um determinado estado ocorre segundo uma certa probabilidade. Freitas (1992) estudou o comportamento da distribuição diamétrica numa floresta tropical úmida ao norte de Manaus, utilizando também a Cadeia de Markov, e considerou este processo como um valioso instrumento para projetar a distribuição de freqüência (diâmetro e mortalidade).

Soares (1993), estudando funções de densidade de probabilidade em um povoamento de *Eucaliptus sp.*, adotou o método da máxima verossimilhança nas distribuições Normal, Lognormal e Weibull, e o método dos momentos nas distribuições Beta e Gama. Para a seleção da função de densidade de melhor ajuste, utilizou o teste de Kolmogorov-Smirnov, concluindo que o melhor ajuste foi pela função Beta.

Ribeiro (1994) testou cinco modelos

(Normal, Lognormal, Gama, Beta e Weibull) para duas áreas da Amazônia Brasileira: uma no Estado do Acre e a outra na Reserva Florestal Ducke em Manaus, concluindo pelo teste de Kolmogorov-Smirnov que a função Beta foi melhor para ajustar a distribuição diamétrica em ambas as localidades.

Cunha Neto *et al.* (1994) relatou que as funções de densidade de probabilidade mais utilizadas são as funções Beta e Weibull. Cunha (1995) estudou as funções Weibull, Beta e Exponencial em uma Floresta Tropical Úmida localizada na Estação Experimental de Curuá-Una, Estado do Pará, concluindo que a função Beta foi a mais adequada para descrever a distribuição diamétrica.

A maioria dos trabalhos sobre distribuições diamétricas em Florestas Tropicais, utilizando o modelo Weibull, demonstrou até então pouco sucesso no seu uso. Isto pode ser observado nos trabalhos de Barros (1980), Ribeiro (1994) e Cunha (1995). Portanto, isso significa que apenas em condições especiais é que se poderá esperar bons resultados pelo emprego deste modelo em florestas tropicais (Cunha, 1995).

O objetivo do presente trabalho é testar três distribuições diamétricas probabilísticas (Beta, Gama e Weibull) para árvores de floresta tropical úmida, incluídas ente as mais importantes, e determinar a função que ajusta melhor os dados dos diâmetros medidos.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O estudo foi realizado na empresa Dois Mil Madeireira, localizada entre os paralelos 2°43' e 3°04' de latitude Sul e 58°31' e 58°57' de longitude W, compreendendo uma área total de 82.884 hectares. Localiza-se no quilômetro 227 da rodovia Manaus-Itacoatiara (AM-10), distando 140 Km de Manaus e 25 Km de Itacoatiara.

Os solos da área são Latossolos Amarelos Distróficos, com uma textura muito argilosa, argilosa e média, sob relevo semi-ondulado e ondulado. São solos ácidos, bem drenados, bastante porosos e permeáveis, razão pela qual têm significativa resistência à erosão. A baixa fertilidade natural, associada à ocorrência em locais sem infra-estrutura suficiente, condiciona um aproveitamento limitado desses solos, muito embora apresentem condições físicas e relevo favorável à mecanização e o uso de fertilizantes (Radambrasil, 1976).

O clima da área, segundo a classificação climatológica de Köppen é do tipo Ami. "A" significa Clima Tropical Chuvoso, onde a temperatura média dos meses nunca chegam abaixo de 18° C, limite abaixo do qual não é possível normalmente o desenvolvimento de certas plantas tropicais. "Am" (chuvas do tipo monção) significa uma estação seca de pequena duração, mas por causa dos totais elevados de precipitação possui umidade suficiente para alimentar florestas de características tropicais. "i" indica isotermia, ou seja, as oscilações anuais de temperatura média não chegam a 5° C. A temperatura média anual oscila em torno de 26°C, com uma pequena amplitude térmica, e a umidade relativa é sempre superior a 80%. A precipitação média anual está em torno de 2.100 mm (Vieira & Santos, 1987).

Os meses de junho, julho, agosto, setembro, outubro e novembro apresentaram os menores valores de precipitação e maiores de evapotranspiração, caracterizando-se como representantes da estação seca (Fig. 1). O mês de menor precipitação foi agosto com média de 54 mm. Os demais meses (dezembro, janeiro, fevereiro, março, abril e maio) apresentaram maior precipitação e menor evapotranspiração, caracterizando-se como representantes da estação chuvosa, com maior precipitação (330 mm) no mês de abril.

A área encontra-se na região de Floresta Tropical Densa, Sub-região dos Baixos Platôs da Amazônia. Esta fisionomia refere-se à floresta localizada principalmente nos platôs Terciários e terraços antigos e recentes, apresentando-se em estratos distintos.

Na área as principais espécies que caracterizam o estrato emergente são: *Dinizia excelsa* e *Cedrelinga catenaeformis*. O estrato dominado é caracterizado por *Manilkara* sp., *Protium* sp. e *Pouteria* sp. Outras espécies características desta floresta são *Minquartia guianensis*, *Diplotropis* sp., *Goupia glabra* e *Scleronema micranthum* (Oikos Engenharia, 1994). Comparando-se com outras áreas da Amazônia, esta floresta apresenta um sub-bosque limpo, com boa regeneração natural e fácil penetração, porém, em termos volumétricos é mais pobre do que as florestas do Alto Amazonas e Sul do Pará (Barros, 1980; Machado *et. al.*, 1982; Cunha, 1995).

Metodologia

Nas florestas tropicais da Amazônia Central, segundo Brüniig & Klinge (1976) *apud* Alencar (1986), amostras pequenas, tais como 40mx50m, 20mx100m, apresentam vantagens tanto para estudo de composição de espécies quanto para estudos de biomassa. Aumentando-se

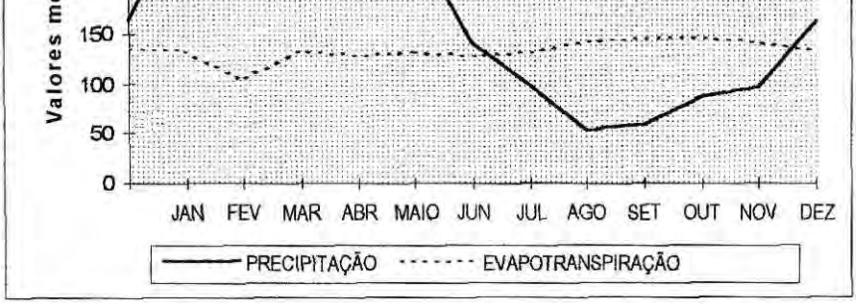

Figura 1. Balanço hídrico (mm) e evapotranspiração (mm) potencial da Estação Meteorológica de Itacoatiara, Amazonas, Brasil.

o tamanho da amostra, para áreas superiores a 0,2 e 0,5 ha, introduz-se uma excessiva heterogeneidade, uma vez que se incluem diferentes sítios e diferentes composições florestais. Assim sendo, à medida que aumenta o número de amostras ocorrem mudanças na composição florística, dada a alta diversidade da floresta tropical, porém, do ponto de vista fisionômico e paisagístico, a floresta amazônica vista como um todo é uniforme, mas, é encontrada muita variabilidade florística para quem a estuda em detalhes (Pires, 1974).

A floresta tropical úmida de terra firme é relativamente uniforme na sua heterogeneidade (Alencar *et al.*, 1972), ou seja, a diversidade de espécies é muito alta, mas a floresta apresenta padrões muito similares na sua estrutura diamétrica e volumétrica.

Foi realizado um Inventário Florestal pela empresa Oikos Engenharia Ltda., utilizando o método de amostragem em dois estágios. Foram delimitadas oito unidades primárias de 5 x 5 Km e dentro de cada uma foram alocadas 20 unidades secundárias de 20 x 250 metros, agrupadas em 5 grupos de 4 unidades cada um, dispostas em forma de cruz (Fig.2). Os resultados deste Inventário Florestal revelaram que as unidades amostrais apresentaram pouca variabilidade na sua estrutura e no número de indivíduos por hectare, estando localizadas em áreas de platô ondulado com solos muito parecidos.

Por estas razões, para a realização deste trabalho, foi sorteada somente uma unidade amostral, com dez hectares de floresta, para o estudo da distribuição diamétrica. Foram medidas todas as árvores com DAP≥ 20 cm, num total de 2035 indivíduos.

Distribuições diamétricas probabilísticas testadas

De acordo com Hafley & Schreuder (1977) *apud* Cunha (1995), um dos principais problemas no ajuste de distribuições refere-se a escolha da função de distribuição estatística para descrever as probabilidades de interesse. O critério para escolher uma distribuição é que ela seja relativamente simples em termos de ajuste para obter a estimativa dos parâmetros, suficientemente flexível para ajustar-se a um espectro amplo de formas facilmente integráveis dentro de vários intervalos de classes e, finalmente, ajustar-se bem a qualquer conjunto de observações.

Por isso, e considerando a revisão da literatura, foram testadas apenas as funções Beta, Gama e Weibull.

Distribuição Beta

Segundo Hastings & Peacock (1975), uma variável aleatória "x" tem a distribuição Beta se a função de densidade de probabilidade é expressa da seguinte forma:

$$f(x) = \frac{x^{v-1}(1-x)^{w-1}}{\beta(v,w)}$$

para: Variável aleatória; $0 < x < 1$
Parâmetros de forma; $v > 0$, $w > 0$
onde: $\beta(v,w)$ é uma integral definida no intervalo 0 a 1, dependendo unicamente dos parâmetros v e w.

$$\beta(v.w) = \int_0^1 u^{v-1}(1-u)^{w-1}\,du$$

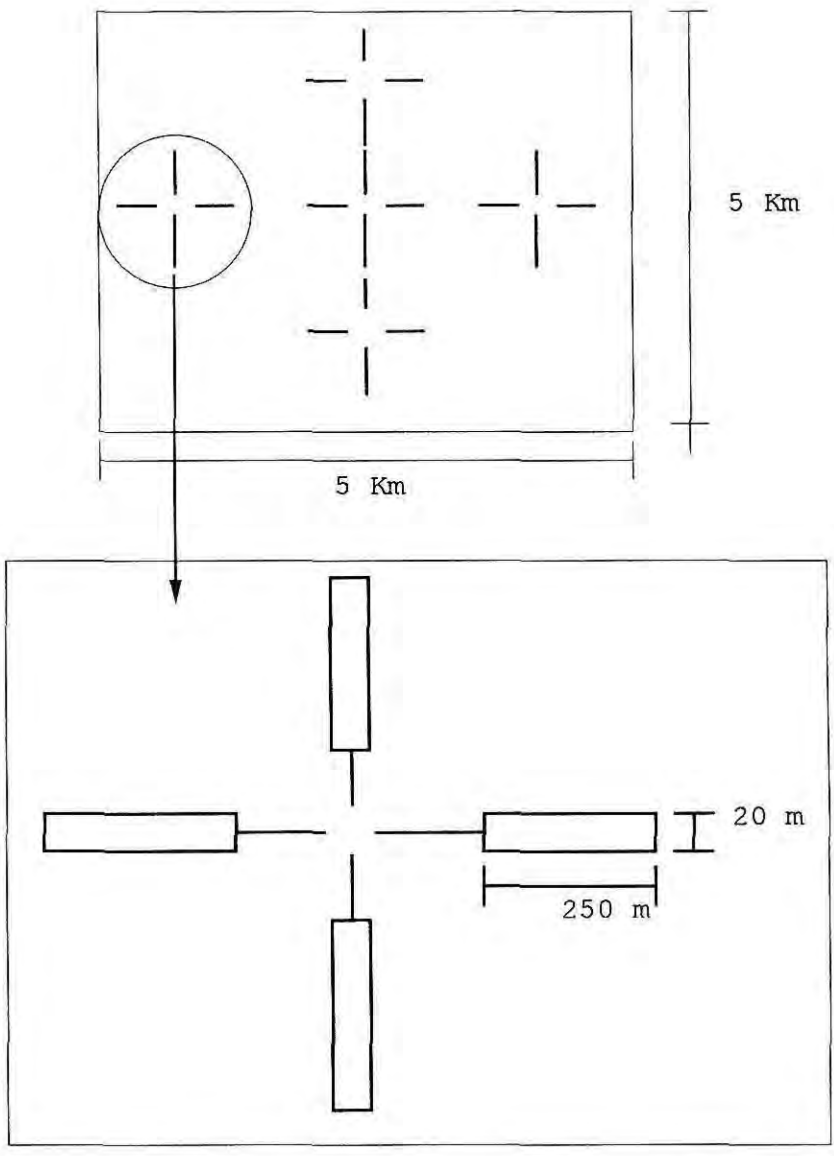

Figura 2. Forma, tamanho e disposição da unidade amostral do Inventário Florestal.

Para obter as estimativas dos parâmetros v e w da distribuição Beta usou-se o método dos momentos (Hastings & Peacock, 1975). Os parâmetros v e w foram obtidos com o auxílio dos estimadores da média x e da variância (σ^2):

$$v = \bar{x}\ \{[\frac{\bar{x}(1-\bar{x})}{\sigma^2}] -1\}\ \ \text{e}$$

$$w = (1-\bar{x})\{[\frac{\bar{x}(1-\bar{x})}{\sigma^2}] - 1\}$$

onde: $\bar{x}$ = estimativa da média aritmética da variável x

σ^2 = estimativa da variância da variável x

A freqüência estimada numa classe (F) é obtida pela multiplicação da probabilidade calculada (P_i) pelo número total de árvores.

O método da máxima verossimilhança usa aproximações para estimar os parâmetros da função Beta e, portanto, é generalizado o uso do método dos momentos para essas estimativas (Couto, 1980).

Distribuição Gama

Segundo Hastings & Peacock (1975) uma variável aleatória "x" tem uma distribuição Gama se a função de densidade de probabilidade tiver a forma:

$$f(x) = \frac{(\frac{x}{b})^{c-1}\ [\exp\ (\frac{-x}{b})]}{b\,\Gamma\ (c)}$$

Onde Γ(c) é uma integral definida no intervalo 0 a ∞, dependendo unicamente do parâmetro c:

$$\Gamma\ (c) = \int_0^\infty \exp\ (-u)u^{c-1}du$$

para: $0 < x < \infty$; e $b, c > 0$
onde: x = variável aleatória. b = parâmetro de escala. c = parâmetro de forma.

Os parâmetros b e c da função Gama foram estimados pelo método da função geradora de momentos (Hastings & Peacock, 1975) chegando-se às seguintes equações:

$$b = \sigma^2 / \times \text{ e } c = (\times / \sigma)^2$$

onde: $\bar{x}$ = estimativa da média aritmética da variável aleatória x;

σ = estimativa do desvio padrão da variável aleatória x.

Segundo Couto (1980), a estimativa dos parâmetros da distribuição Gama através do método da máxima verossimilhança envolve aproximações, razão pela qual o método da função geradora de momentos é o mais utilizado. Tal método consistiu em igualar o momento teórico ao momento amostral, utilizado na estimativa dos parâmetros das distribuições Gama e Beta, porque para estas funções foi possível se obter as fórmulas dos estimadores diretamente, sem aproximações, o que não ocorreria se houvesse sido utilizado o método da máxima verossimilhança (Ribeiro, 1994).

Distribuição Weibull

A distribuição Weibull foi proposta por Fisher e Tippet em 1928, tendo sido desenvolvida independentemente por Waloddi Weibull, físico sueco, em 1939, no estudo de resistência de materiais (Batista, 1989). Bailey & Dell (1973) introduziram a distribuição Weibull como um modelo aplicado às distribuições diamétricas, e desde então tem sido usada em florestas. Finger (1982) afirmou que esta distribuição se originou da distribuição Exponencial.

A função "Weibull-2 parâmetros", assim denominada quando a distribuição inicia-se na origem, ou seja, quando o parâmetro "a" que controla a posição da curva sobre o eixo das abcissas assume o valor zero. Nesse caso, a função de densidade de probabilidade (f.d.p.) passa a ser conforme Bailey & Dell (1973):

$$f(x) = \left(\frac{cx^{c-1}}{b^c}\right) \exp\left[-\left(\frac{x}{b}\right)^c\right]$$

para: $x \geq 0, b > 0, c > 0$

onde: x = variável aleatória. b = parâmetro de escala. c = parâmetro de forma.

A função de distribuição F(x), ou função de distribuição acumulada, foi obtida, no presente estudo, integrando-se a função de densidade de probabilidade (f.d.p.), resultando em:

$$F(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x}{b}\right)^c\right]$$

onde: F(x) = porcentagem do número de árvores menor ou igual a um diâmetro "X" especificado; b, c = parâmetros a serem estimados; exp = base do logaritmo natural.

A probabilidade (P_i) foi obtida pela diferença entre o valor da função de distribuição acumulada F(x) no limite inferior e o valor no limite superior. A freqüência dessa classe é o produto de P_i pelo número total de árvores.

A estimativa dos parâmetros de escala "b" e de forma "c" foram obtidos pelo método de máxima verossimilhança, segundo as equações (Hastings & Peacock, 1975):

$$c = \frac{n}{\left[\left(\frac{1}{b}\right)^c \sum_{i=1}^{n} x_i^c \log x_i - \sum_{i=1}^{n} \log x_i\right]}$$

$$b = \left[\left(\frac{1}{n}\right) \sum_{i=1}^{n} x_i^c\right]^{\frac{1}{c}}$$

"b" é função de "c", enquanto este é função de "b" e de si próprio. Usualmente, a solução desse sistema é obtida substituindo (2) em (1) e transformando para:

$$\frac{\sum_{i=1}^{n} x_i^c \log x_i}{\sum_{i=1}^{n} x_i^c} - \frac{\sum_{i=1}^{n} \log x_i}{n} - \frac{1}{c} = 0 \quad .$$

Determinou-se "c" resolvendo (3) por um processo iterativo, e "b" por meio de (2), a partir de "c".

Considerando Soares (1993), as estimativas dos parâmetros "b" e "c" foram obtidas por recorrência matemática, isto é, iniciou-se com uma solução e, em seguida, essa solução foi sendo refinada até que o erro fosse menor que uma tolerância pre-estabelecida.

Batista (1989) relatou que há vários métodos para estimar os parâmetros da distribuição Weibull, sendo que os principais são: máxima verossimilhança, percentis, momentos, funções lineares, regressão linear e não linear. A maior parte dos estimadores referem-se à "Weibull-2 parâmetros", pois seu ajuste é mais simples e sua utilização mais freqüente.

Segundo Bailey & Dell (1973), para a estimativa dos coeficientes "c" e "b", o método da máxima verossimilhança, que requer um processo iterativo, apresentou melhor precisão. Zarnoch & Dell (1985) também concluíram que, em geral, os estimadores de máxima verossimilhança foram mais precisos que os baseados em percentis.

A grande variedade de formas que a Weibull pode assumir é controlada pelo parâmetro "c" que define o tipo de curva, chamado parâmetro de forma. Quando $c \leq 1$ a distribuição assume a forma de "J invertido", típica da distribuição diamétrica de florestas temperadas dissetâneas e de florestas tropicais naturais dissetâneas. Para valores de c entre 1 e 3,6 a distribuição torna-se positivamente assimétrica, tomando a forma de sino praticamente simétrica, semelhante a distribuição normal quando c = 3,6. À medida que o valor de c passa de 3,6 e tende ao infinito, a distribuição torna-se negativamente assimétrica tendendo a uma forma extremamente leptocúrtica (Batista, 1989).

Escolha do número e intervalo de classes

Para a escolha do intervalo de classes, Barros (1980) concluiu que as distribuições foram melhor ajustadas quando utilizou o intervalo de 10 cm. Machado *et al.* (1982) e Ribeiro (1994) também adotaram esta metodologia na Amazônia Brasileira. Cunha (1995) testou quatro amplitudes diferentes de classes de diâmetro (6, 8, 10 e 12 cm) na Floresta Tropical Úmida de Curuá-Una no Pará, concluindo que a amplitude de 10 cm também foi a mais indicada para descrever a distribuição diamétrica da área.

Para obtenção do número aproximado de classes, utilizou-se a fórmula de Sturges: $nc = 1 + 3{,}3 \log n$ (Ferreira, 1991).

n = número de observações (=2025 árvores); nc = número de classes.

Com base nos estudos já realizados, optou-se pelo intervalo de classe de 10 cm e usou-se 12 classes diamétricas.

Estimativas dos parâmetros dos modelos

Na determinação dos parâmetros das funções de densidade de probabilidade utilizou-se o Método dos Momentos para as funções Beta e Gama e de Máxima Verossimilhança para a função Weibull. Na estimativa dos parâmetros das distribuições Gama e Beta é possível se obter as fórmulas dos estimadores dos parâmetros diretamente, sem aproximações, o que não ocorre se fosse usado o método da máxima verossimilhança (Ribeiro, 1994).

O método de máxima verossimilhança tem como objetivo estimar os parâmetros que maximizam a densidade de probabilidade de se obter a amostra observada para uma dada função. Este método utiliza a idéia de derivação desenvolvida por Gauss, em 1821, sendo o preferido para estimação porque baseia-se no princípio de que estando o modelo correto, tudo o que os dados tinham para informar sobre os parâmetros deverá estar contido na função de verossimilhança. O método utiliza o algoritmo de Newton-Raphson que é um procedimento iterativo numérico capaz de resolver equações não-lineares (Cunha, 1995).

Processamento e análise dos dados

Para a estimativa dos parâmetros das funções Gama e Weibull, houve a necessidade de transportar os dados para a origem, tendo em vista que a coleta dos dados realizado pelo inventário florestal mediu o diâmetro a partir de 20 cm. Assim sendo, foi necessário fazer a transformação pontual dos dados. Esta transformação consistiu emsubtrair o menor diâmetro d_0 de cada diâmetro d_i de um conjunto de dados. Analiticamente, o objetivo dessa transformação consistiu em fazer uma translação do eixo, a fim de que o ponto d = 20 cm pudesse ficar associado ao seu homólogo $d' \cong 0$, conservando as mesmas propriedades analíticas.

Para estimar os parâmetros da função Beta, foi necessário a construção de um vetor contendo valores variando de 0 a 1. Essa transformação foi obtida subtraindo o menor diâmetro d_0 de cada diâmetro d_i e, dividindo-se a diferença pelo resto do menor diâmetro d_0 subtraido do maior diâmetro d_m.

$$\frac{d_i - d_o}{d_m - d_o} \quad (1a)$$

Os parâmetros dos modelos Beta, Gama e Weibull foram obtidos pelo programa STATGRAPHICS. De posse dos parâmetros das funções, procedeu-se o cálculo para obtenção das probabilidades em cada classe diamétrica.

Para a função Beta, procedeu-se a integração numérica de â(v,w) cuja expressão é:

$$\beta(v,w) = \int_0^1 u^{w-1} (1-u)^{w-1}\, du$$

Encontrado o valor de β(v,w) calculou-se a função de densidade de probabilidade obtida pela integral da equação:

$$fdp = \frac{\int_{li}^{ls} x^{v-1} (1-x)^{w-1}}{\beta(v,w)}$$

onde: l_i = limite inferior da clase

l_s = limite superior da classe.

Os limites inferiores e superiores das classes também foram transformados para o intervalo entre 0 a 1 (equação 1a), que são os intervalos da integral definida. Uma vez calculadas as probabilidades, a freqüência de árvores na classe foi obtida multiplicando-a pela freqüência total.

Para a função Gama, o procedimento é muito parecido com o da função Beta. Através de integração numérica, calculou-se Γ(c) cuja equação é:

$$\Gamma(c) = \int_0^\infty \exp(-u) u^{c-1}\, du$$

Encontrado o valor de Γ(c), calculou-se a função de densidade de probabilidade obtida pela integral da equação:

$$fdp = \frac{\int_{li}^{ls} (\frac{x}{b})^{c-1} [\exp(\frac{-x}{b})]}{b\Gamma(c)}$$

onde: l_i = limite inferior da classe

l_s = limite superior da classe.

Os limites inferiores e superiores das classes também foram transformados para o intervalo entre 0 a 1 (equação 1a), que são os intervalos da integral definida. Uma vez calculadas as probabilidades, a freqüência de árvores na classe foi obtida multiplicando-a pela freqüência total.

Para obtenção da probabilidade ajustada pela função Weibull, utilizou-se a função de distribuição obtida pela integração da função de densidade de probabilidade (f.d.p.), resultando em:

$$F(x) = 1 - \exp\left[-(\tfrac{x}{b})^c\right]$$

A freqüência de uma determinada classe de diâmetro foi calculada pela multiplicação da probabilidade pelo número total de árvores.

$$P\,(li \le x \le ls) = \exp\left[-\left(\tfrac{li}{b}\right)^{c}\right] - \exp\left[-\left(\tfrac{ls}{b}\right)^{c}\right]$$

onde: li = limite inferior da classe; ls = limite superior da classe

Ajuste das distribuições

As formas de avaliar o melhor ajuste das funções são as mais variadas possíveis, pois cada método enfatiza aspectos diferentes das distribuições, originando resultados contraditórios entre si. Desta forma, para evitar confusão, Schreuder *et al.* (1978) recomendaram usar o teste "D" de Kolmogorov-Smirnov para verificar o melhor ajuste. Segundo estes autores, o teste Qui-quadrado não pode ser calculado para qualquer classe que tenha menos de cinco observações, pois o valor pode ser não real, e se for levado em consideração que a ocorrência de classes com menos de cinco observações é muito comum, esta estatística deve ser evitada. Este comentário é reforçado por Hoffmann (1991): Se X é uma variável aleatória que representa o número de resultados favoráveis em *n* ensaios, é claro que ocorrem *n* - X resultados desfavoráveis, logo, em *n* ensaios são esperados np_0 resultados favoráveis e $n\,(1 - p_0) = nq_0$ resultados desfavoráveis.

Desta forma, para $x^2 = \sum_{i=1}^{k} \frac{(Oi - Ei)^2}{Ei}$ apresentar aproximadamente distribuição de Qui-quadrado (x^2), é necessário que se tenha $np_0 > 5$ e $nq_0 > 5$, ou seja, que as freqüências esperadas sejam superiores a cinco ($E_i > 5$). Riggs (1970) também citou que o teste é mais real quando o número de classes (k) é maior, porém, com a restrição de que a freqüência observada em cada intervalo deverá ser igual ou superior a cinco. De acordo com Couto (1980), o teste de Kolmogorov-Smirnov requer menor computação que o Qui-quadrado e não perde informação pelo agrupamento dos dados.

Estatística de Kolmogorov-Smirnov

O teste não paramétrico de Kolmogorov-Smirnov compara a freqüência acumulada estimada com a freqüência acumulada observada. O ponto de maior divergência entre as duas distribuições é o valor D de Kolmogorov-Smirnov. O menor valor de D entre as distribuições indicará a melhor função que se ajusta aos dados (Campos, 1975).

A estatística de Kolmogorov-Smirnov é definida por Kendall & Stuart (1973) como sendo a diferença máxima absoluta entre a freqüência observada acumulada ($Fo_{(x)}$) e a freqüência esperada acumulada ($Fe_{(x)}$), expressada por:

$$D = \sup_x \left| Fo_{(x)} - Fe_{(x)} \right|$$

onde: D = diferença máxima absoluta.
$Fo_{(x)}$ = freqüência observada acumulada.
$Fe_{(x)}$ = freqüência esperada acumulada.

Observa-se que D é o valor da maior diferença entre os pontos de $Fo_{(x)}$ e $Fe_{(x)}$.

Para a conclusão do teste calcula-se:

$$D_{cal} = \frac{D}{N}$$

onde: D = diferença máxima absoluta. N = número total de indivíduos. D_{cal} = D calculado. Se $D_{cal} < D_{n[\alpha]}$ aceita-se o ajuste. O valor de $D_{n[\alpha]}$ é um valor tabulado a um nível $\propto$ de probabilidade para N indivíduos, conforme a tabela de Kolmogorov-Smirnov.

Análise gráfica de resíduos

A análise gráfica de resíduos visa interpretar o comportamento do erro aleatório de modo pontual, ou seja, ao nível de classe diamétrica. Com esse procedimento é possível avaliar melhor a variação do erro por classe diamétrica (Cunha, 1995). Os resíduos foram calculados pela fórmula:

$$R = \frac{Fobs. - Fest.}{Fobs.}$$

Onde: Fobs. = freqüência observada e Fest. = freqüência estimada. R= resíduos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise estatística apresentou um diâmetro médio das árvores em torno de 35,61 cm, caracterizando um diâmetro bem abaixo do que é empregado para corte pela empresa Dois Mil Madeireira (60 cm); contudo, ocorreu a presença de árvores com grandes diâmetros, sendo encontrado o DAP máximo de 146,42 cm. Conseqüentemente, o desvio padrão apresentou o valor de 15,15 cm e o coeficiente de variação, com 42%, é muito próximo dos valores já encontrados em outras florestas tropicais da Amazônia (Tab. 1).

Tabela 1. Análises estatísticas da variável DAP.

VARIÁVEL	VALORES
Número de árvores	2035
DAP médio	35,61 cm
DAP mínimo	20,00 cm
DAP máximo	146,42 cm
Desvio padrão	15,15 cm
Coeficiente de variação	42 %

Os parâmetros estimados para os três modelos apresentaram os seguintes resultados:

BETA	GAMA	WEIBULL
ν = 0,820816	b = 0,0615135	b = 15,495
b = 5,86843	c= 0,957822	c = 0,988419

As curvas das freqüências observadas apresentaram a forma de "J" invertido, característica das florestas tropicais úmidas (Tab 2).

As freqüências estimadas pelas funções Beta e Weibull apresentaram boas estimativas dos valores, observando-se que nas seis primeiras classes a função Beta apresentou valores mais próximos dos observados e, a partir das demais classes a função Weibull foi melhor na estimativa dos valores. A estimativa das freqüências pela função Gama apresentou na primeira classe uma superestimativa dos valores e subestimativas a partir das demais classes.

Analisando-se a figura 3 observa-se que a linha de ajuste desenvolvida pelo modelo Beta apresentou um ajuste satisfatório.

Pela figura 4 observa-se uma estabilidade na distribuição dos resíduos da 1ª até a 7ª classe, havendo apenas uma dispersão dos resíduos nas classes 8ª, 9ª, 11ª e 12ª, as quais excederam 0,5, não havendo porém pontos discrepantes acima de 1 desvio padrão, com exceção da 10ª classe ($\neq$ 0); estas classes indicam subestimativas acentuadas em relação às demais, porém, a variância dos pontos em torno da linha é razoavelmente uniforme para sete classes. Conclui-se que o modelo Beta pode proporcionar resultados satisfatórios.

Pela análise da figura 5, nota-se que a função Gama não apresentou um ajuste satisfatório, como pode ser

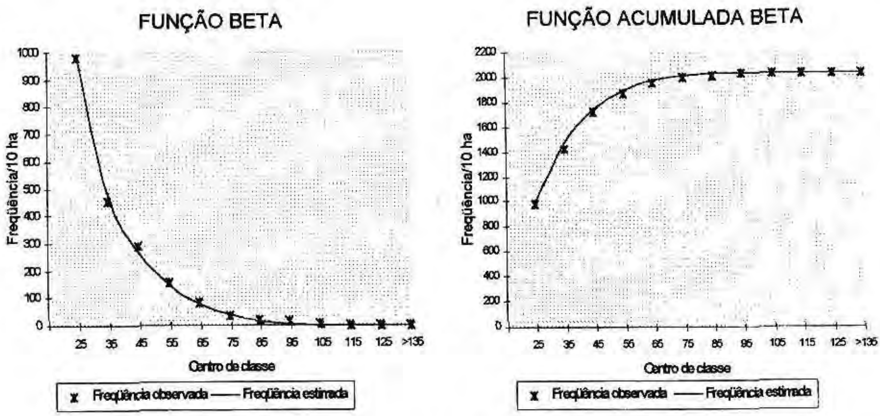

Figura 3. Distribuição diamétrica e das freqüências acumuladas ajustada pela função Beta.

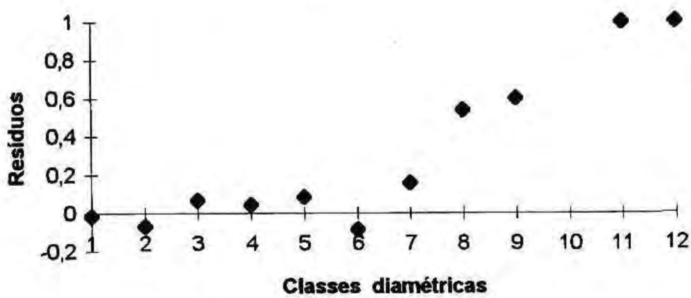

Figura 4. Distribuição de resíduos da função Beta.

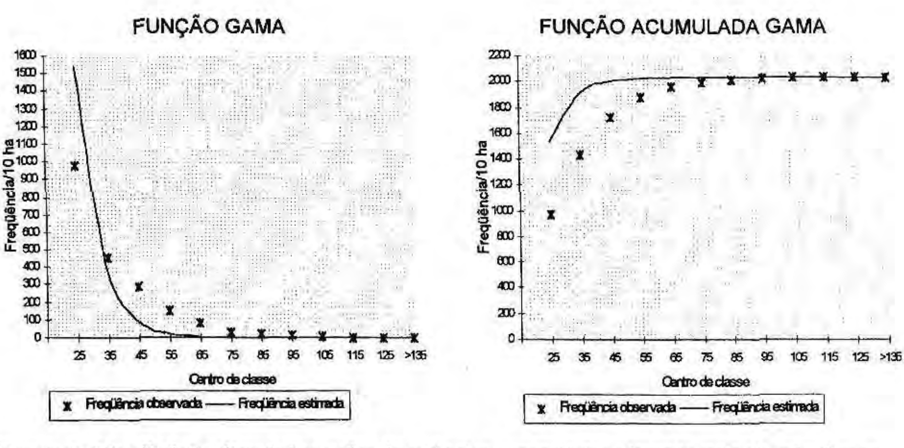

Figura 5. Distribuição diamétrica e das freqüências acumuladas ajustada pela função Gama.

Tabela 2. Freqüências absolutas e freqüências acumuladas dos dados observados e das funções propostas para dez hectares por classe diamétrica.

Nº	CLASSE (cm)	FREQ. OBSERV.	FREQ. OBSERV. ACUM.	FREQ. BETA	FREQ. BETA ACUM.	FREQ. GAMA	FREQ. GAMA ACUM.	FREQ. WEIBULL	FREQ. WEIBULL ACUM.
1	20 < 30	980	980	995,6	995,6	1539,7	1539,7	964,4	964,4
2	30 < 40	452	1432	483,2	1478,9	370,3	1910,0	498,3	1462,7
3	40 < 50	290	1722	269,8	1748,7	93,2	2003,2	262,1	1724,7
4	50 < 60	155	1877	148,0	1896,6	23,7	2026,9	138,6	1863,3
5	60 < 70	84	1961	77,2	1973,8	6,1	2032,9	73,5	1936,8
6	70 < 80	34	1995	37,2	2011,0	1,5	2034,5	39,1	1975,9
7	80 <90	19	2014	16,1	2027,1	0,4	2034,9	20,8	1996,7
8	90<100	13	2027	6,0	2033,1	0,1	2035,0	11,1	2007,8
9	100 < 110	5	2032	1,8	2034,9	0,0	2035,0	5,9	2013,7
10	110 < 120	0	2032	0,4	2035,3	0,0	2035,0	3,2	2016,9
11	120 < 130	2	2034	0,0	2035,3	0,0	2035,0	1,7	2018,6
12	> 130	1	2035	0,0	2035,3	0,0	2035,0	0,9	2019,5

avaliado também pela distribuição gráfica dos resíduos (Fig. 6). Observa-se um espalhamento dos resíduos, onde apenas na 1ª classe houve uma superestimativa; nas demais classes, com exceção da 10ª, observou-se subestimativas, com resíduos ≤ 1. Nota-se que a predição de erros não é satisfatória, pois um modelo é factível se apenas um ou dois pontos refletirem falta de ajuste. Desta forma, este modelo não apresentou bom ajuste.

A função Weibull é a mais indicada para descrever a distribuição diamétrica deste sítio florestal pois a linha de ajuste desenvolvida pelo modelo apresentou um ajuste satisfatório (Fig. 7), confirmado pela análise da distribuição gráfica dos resíduos da função (Fig. 8). Nota-se que não existem pontos discrepantes, ocorrendo uma variância monótona, ou seja, a variância dos pontos em torno da linha é uniforme para todas as classes, com exceção da 10ª classe (≠ 0). Conclui-se que a utilização do modelo Weibull é bastante adequada para predizer a freqüência do diâmetro para a floresta estudada.

Comparando-se os resíduos das funções Beta e Weibull, percebe-se que a partir da 8ª classe os valores estimados pela função Beta começam a apresentar subestimativas (os resíduos excedem 0,5), o que não ocorreu para a função Weibull que apresentou para onze classes resíduos uniformes, e menores que 0,5. Os valores do teste de ajustamento de Kolmogorov-Smirnov foram os seguintes:

Função / ValorK-S	BETA	GAMA	WEIBULL
D_{cal}	0,023*	0,275 $^{n.s.}$	0,015**

Significativo ao nível de 5% de probabilidade; n.s. não significativo.

$D_{n[5\%]}$ = 0,1340 (NEAVE, 1980).

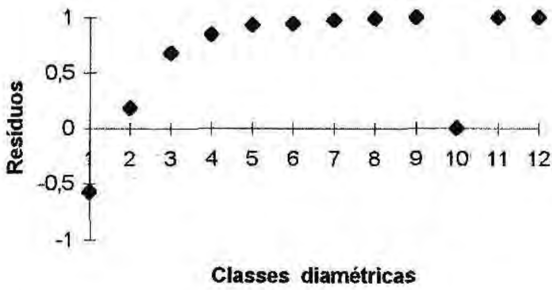

Figura 6. Distribuição de resíduos da função Gama.

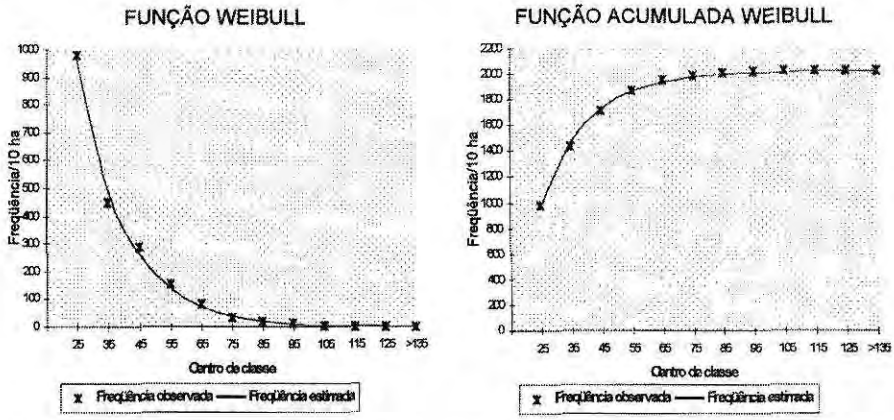

Figura 7. Distribuição diamétrica e das freqüências acumuladas ajustada pela função Weibull.

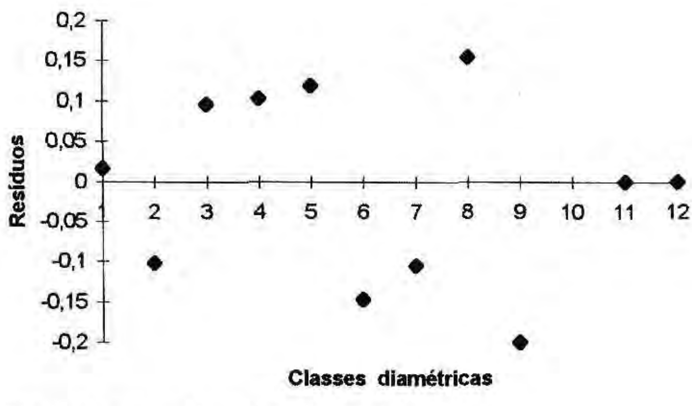

Figura 8. Distribuição de resíduos da função Weibull.

Observa-se que a função Weibull foi a que apresentou melhor ajuste por possuir o menor valor de D, seguida da função Beta. As funções Weibull e Beta foram significativas ao nível de 5% de probabilidade, pois D_{cal} foi menor que $D_{n[5\%]}$. A função Gama não foi significativa. Pode-se concluir que o modelo Weibull foi o que apresentou melhor ajuste para esta tipologia florestal, o que não descarta a utilização da função Beta, uma vez que a diferença do valor de D_{cal} entre ambas foi de apenas 0,08.

Visando uma interpretação mais objetiva para fins de Manejo Florestal, realizou-se uma análise das freqüências por classes diamétricas por hectare. Nota-se que a partir das classes acima de 80 cm de DAP, as freqüências são muito baixas e até nulas (Tab. 3). Isto reflete o fato desta floresta não apresentar grande potencial volumétrico quando comparada com outras localizadas fora da Amazônia Central.

Comparando-se as freqüências estimadas por hectare pelas funções, observa-se que a função Gama diferiu significativamente das demais, pois na classe 60 < 70 a freqüência estimada foi menor que um, enquanto que para as funções Beta e Weibull as freqüências estimadas (7,7 e 7,4) foram muito próximas das freqüências observadas, igual a 8,4 (Tab. 3).

Observa-se que as linhas de ajuste desenvolvidas pelas funções Beta e Weibull apresentaram formas muito parecidas e próximas das freqüências observadas (Fig. 9 e 10). Fazendo-se uma análise dos três modelos em conjunto com os dados observados, percebe-se tal similaridade entre as funções Beta, Weibull e os dados observados, e a discrepância com relação a função Gama (Fig.11).

Tabela 3. Freqüência por hectare dos dados observados e dos estimados pelas funções Beta, Gama e Weibull.

Classes	Freqüência por hectare			
(cm)	Observada	Beta	Gama	Weibull
20 < 30	98,0	99,6	154,0	96,4
30 < 40	45,2	48,3	37,0	49,8
40 < 50	29,0	27,0	9,3	26,2
50 < 60	15,5	14,8	2,4	13,9
60 < 70	8,4	7,7	0,6	7,4
70 < 80	3,4	3,7	0,2	3,9
80 < 90	1,9	1,6	0,0	2,1
90 < 100	1,3	0,6	0,01	1,1
100 < 110	0,5	0,2	0,0	0,6
110 < 120	0,0	0,04	0,0	0,3
120 < 130	0,2	0,0	0,0	0,2
> 130	0,1	0,0	0,0	0,1

Estes resultados são compatíveis com aqueles obitidos por Higuchi (1987a) em uma floresta tropical úmida ao norte de Manaus - AM, onde concluiu que a função Weibull foi a que apresentou melhor ajuste.

Nos estudos realizados na Floresta do Planalto do Tapajós - PA, Barros (1980) concluiu que a função Weibull apresentou boa estimativa da porcentagem do número de árvores sendo que, de modo geral, os melhores modelos foram os seguintes: Polinomial Goff & West de potências sucessivas até 5º grau, Beta e Exponencial Tipo I de Meyer.

Utilizando os modelos Normal, Lognormal, Beta, Gama e Weibull para duas áreas da Amazônia Brasileira (Estado do Acre e Reserva Florestal Ducke - AM), Ribeiro (1994) concluiu que a função Beta foi a

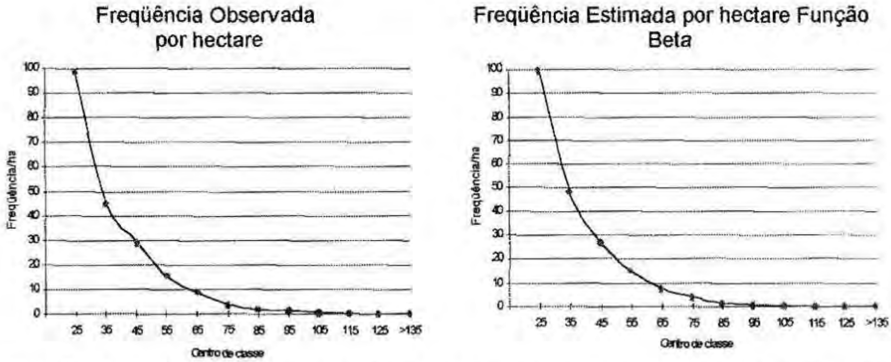

Figura 9. Distribuições diamétricas por hectare dos dados observados e dos estimados pela função Beta.

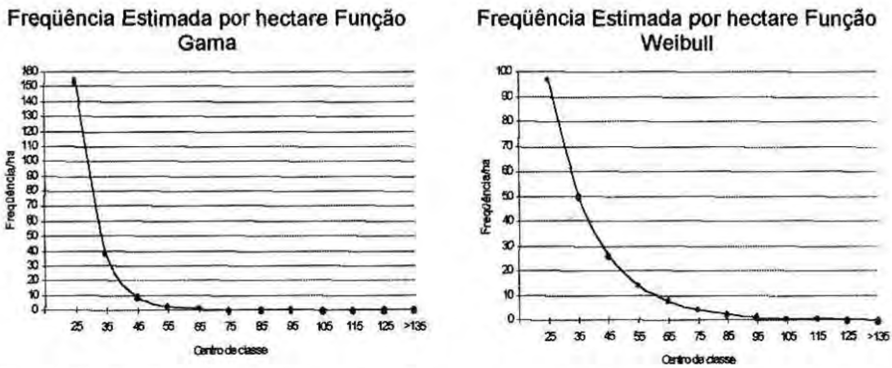

Figura 10. Distribuições diamétricas por hectare dos dados observados e dos estimados pelas funções Gama e Weibull .

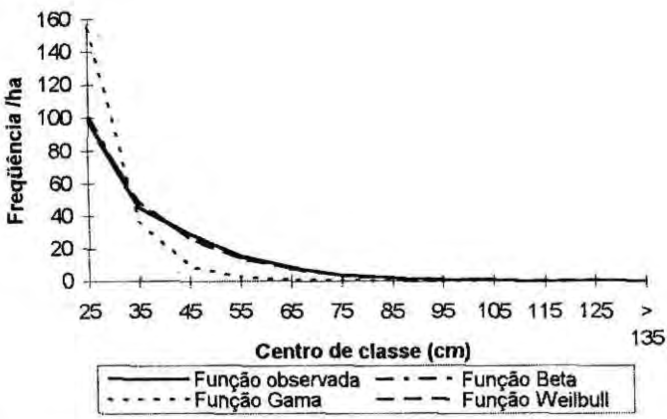

Figura 11. Distribuições diamétricas por hectare das freqüências observadas e das estimadas pelas funções Beta, Gama e Weibull.

melhor para ambas as localidades, porém com ressalvas, tendo em vista que os dados oriundos da Reserva Florestal Ducke referem-se a somente uma parte dos dados de uma comunidade onde ocorre Pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke) obtidos por Alencar (1986), onde não foram encontradas árvores com diâmetros superiores a 40 cm, não se tratando portanto de uma amostragem global para a floresta desta Reserva, onde ocorrem árvores com diâmetros maiores que 40 cm.

Entre os modelos Beta, Exponencial e Weibull estudados na Estação Experimental de Curuá-Una - PA, Cunha (1995) concluiu que a função Beta foi a mais adequada para descrever a distribuição diamétrica daquela floresta.

De modo geral, os estudos de distribuição diamétrica realizados na Amazônia Brasileira apresentaram a função Beta como sendo a melhor. Isto pode ser observado pelos trabalhos desenvolvidos no Estado do Acre, Estação Experimental de Curuá-Una - PA e Floresta do Planalto do Tapajós - PA. Dos poucos trabalhos desenvolvidos no Estado do Amazonas, observou-se que a função Weibull apresentou os melhores resultados, que confirmam o comentário de Cunha (1995), quando relatou que somente em condições especiais poderão ser esperados bons resultados pelo emprego do modelo Weibull em florestas tropicais.

De modo genérico, pode-se concluir que os bons resultados com o modelo Beta e Weibull dependem da intensidade de amostragem e das características de cada floresta, estrutura dos povoamentos, tipos florestais (floresta rica/pobre), os hábitos de crescimento das espécies, condições ambientais, práticas de manejo e características do estoque em crescimento, apresentando desta forma, diferentes tipos de distribuições na sua forma.

Assim sendo, o uso da função Weibull para a floresta tropical localizada no Estado do Amazonas merece ser mais estudada, tendo em vista que, em poucos trabalhos aqui desenvolvidos, esta função apresentou bons resultados.

Os resultados da estrutura diamétrica mostrou que a partir da classe 60 < 70 cm ocorreram poucas árvores por hectare. Em média, ocorreram 15 indivíduos por hectare, mas por se tratar de uma floresta tropical mista, a freqüência de árvores de importância madeireira é muito baixa. É fundamental considerar as peculiaridades das principais espécies comerciais tropicais, avaliando cuidadosamente os fatores ecológicos de cada espécie, pois apenas estudos descritivos das distribuições diamétricas são insuficientes para fornecer subsídios para planos de manejo visando um rendimento sustentado.

CONCLUSÕES

Com base nos resultados alcançados concluiu-se que, de acordo com o teste de Kolmogorov-Smirnov e Análise Gráfica dos Resíduos, a função Weibull foi a que apresentou melhor ajuste. A função Beta também pode ser utilizada, porém, com algumas restrições tendo em vista que, em algumas classes, os valores das freqüências podem ser subestimados. A função Gama não é recomendada.

Bibliografia citada

Alencar, J. C. da. 1986. *Análise de associação e estrutura de uma comunidade de floresta tropical úmida onde ocorre Aniba rosaeodora Ducke (Lauraceae)*. Manaus. Tese de Doutorado. INPA/FUA. 206p.

Alencar, J. C.; Vieira, A. N.; Barros, J. C. M. 1972. *Inventário Florestal do Distrito Agropecuário da Zona Franca de Manaus*. SUFRAMA. 177p.

Bailey, R. L.; Dell, T. R. 1973. Quantifying diameter distributions with the Weibull function. *Forest Sci.*, 19(2):97-104.

Barros, P. L. C. de. 1980. *Estudo das distribuições diamétricas da floresta do Planalto Tapajós - Pará*. Curitiba. Dissertação de Mestrado. UFPr. 123p.

Batista, J. L. F. 1989. *A função Weibull como modelo para a distribuição de diâmetros de espécies arbóreas tropicais*. Piracicaba-SP. Dissertação de Mestrado. ESALQ - USP. 116p.

Campos, H. 1975. *Estatística experimental não-paramétrica*. 3 ed., Piracicaba, S.P., ESALQ. 343p.

Campos, J. C. C.; Ribeiro, J. C.; Couto, L. 1983. Emprego da distribuição diamétrica na determinação da intensidade de corte em matas naturais submetidas ao sistema de seleção. *Revista Árvore*, 7(2):110-122.

Couto, H. T. Z. do. 1980. *Distribuições de diâmetros em plantações de Pinus caribaea Morelet var. caribaea*. Piracicaba-SP.(Tese Livre Docente). ESALQ - USP. 79p.

Cunha Neto, F. R. da ; Scolforo, J. R. S.; Calegário, N; Oliveira, A. D. de; Kanegae e Júnior, H. 1994. Modelo para predição da produção por classe de diâmetro para *Eucalyptus grandis*. *Cerne*, 1(1):108-122.

Cunha, U. S. da. 1995. *Análise da estrutura diamétrica de uma floresta tropical úmida da Amazônia brasileira*. Curitiba. Dissertação de Mestrado. UFPr. 134p.

Ferreira, P. V. 1991. *Estatística experimental aplicada a agronomia*. Maceió. Edaful. 437p.

Finger, C. A. G. 1982. *Distribuição de diâmetros em Acácia Negra (Acacia mearnsii de Wild.) em diferentes povoamentos e idades*. Curitiba. Dissertação de Mestrado. UFPr. 129p.

Freitas, J. V. de. 1992. *Projeções da distribuição diamétrica de uma floresta tropical úmida de terra firme com a utilização da Cadeia de Markov*. Manaus. Dissertação de Mestrado. INPA/FUA. 125p.

Glade, J. E. 1986. *Prognose de volume por classes diamétricas para Eucalyptus grandis Hill ex-Maiden*. Curitiba. Dissertação de Mestrado. UFPR. 94p.

Hastings, N. A. J.; Peacock, J. B. 1975. *Statistical distribuitions - A handbook for students and practitioners*. London, Butterwoths ; Co Ltd. 130p.

Heinsdijk, D.; Bastos, M. A. 1965. A distribuição dos diâmetros nas florestas brasileiras. *Setor de Inventário Florestal*, v11. 56p.

Higuchi, N. 1987a. *Short-term growth of an undisturbed tropical moist forest in the Brasilian Amazon*. Tese de Doutorado. Michigan State University. Michigan. 129p.

Higuchi, N. 1987b. O uso da Cadeia de Markov para projetar a distribuição de freqüência (diâmetro e mortalidade) em uma floresta tropical úmida de terra firme. *Anais*. Encontro sobre silvicultura e manejo *florestal na Amazônia, Manaus*. v.1 p. 30-37.

Hoffmann, R. 1991. *Estatística para economistas*. 2ª Ed. Revista e ampliada. Livraria Pioneira Editora, São Paulo. 426p.

Hubbell, S. P.; Foster, R. B. 1987. La estructura espacial en gran escala de um bosque neotropical. *Rev. Biol. Trop.*, 35 (Supl. 1):7-22.

Jardim, F. C. da S.; Hosokawa, R. T. 1986/87. Estrutura da floresta equatorial úmida da estação experimental de silvicultura tropical do INPA. *Acta Amazonica*, 16/17 (nº único):411-508.

Kendall, M. G.; Stuart, A. 1973. *The advanced theory of statistics*. 3ª ed., London, Charles Griffen. Vol 2, 723p.

Lamprecht, H. 1990. *Silvicultura nos trópicos: ecossistemas florestais e respectivas* *espécies arbóreas - possibilidades e métodos de aproveitamento sustentado.* Instituto de Silvicultura da Universidade de Göttingen, 343p.

Loetsch, F.; Zörher, F.; Haller, K. E. 1973. *Forest Inventory.* Munique. BVL. v2. 469p.

Machado, S. do A.; Rosot, N. C.; Figueiredo Filho, A. 1982. Distribuição diamétrica de uma floresta tropical úmida da Amazônia Brasileira. *IN: Congresso nacional de essências nativas.* Campos do Jordão. São Paulo. 1399-1406p.

Meyer, H. A. 1952. Structure, growth, and drain in balanced uneven-aged forests. *Journal of Forestry*, 50:85-92.

Meyer, W. H. 1928. Rates of growth of immature douglas-fir as shown by periodic remeasurements of permanent sample plots. *Journal of Agricultural Research*, 36(3):193-215.

Neave, H. R. 1980. *Tabelas estatísticas para matemáticos, engenheiros, economistas e profissionais de ciências administrativas e do comportamento.* Difel S.A. São Paulo. 88p.

Oikos Eegenharia Ltda. 1994. *Plano de manejo em regime de rendimento sustentado das glebas de propriedade de MIL - Madeireira Itacoatiara Ltda.* Manaus. 60p.

Pires, J. M. 1974. A diversificação floristica da mata Amazônica. *IN: XXV Congresso Nacional Botânico,* Mossoró, RN. 241-243 p.

Radambrasil. 1976. *Folha S.A. 21 Santarém; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra:* Volume 10. Departamento Nacional de Produção Mineral. Rio de Janeiro.

Ribeiro, T. C. da S. 1994. *Estudo de distribuições diamétricas em duas áreas da Amazônia Brasileira.* Manaus. Monografia. UTAM. 30p.

Riggs, J. L. 1970. *Production systems:* Planning, Analysis and Control, New York, Wiley. 604p.

Schreuder, H. T.; Hafley, W. L.; Whitehorme, E. W.; Dare, B. J. 1978. Maximum likelihood estimation for selected distributions. School of Forest Resourses, North Carolina State University, *Technical Report,* nº 61, 21p.

Soares, J. B. 1993. *Otimização do sortimento de produtos florestais a partir de funções de distribuição diamétrica e funções de forma.* Viçosa. Dissertação de Mestrado. UFV. 105p.

Stevenson, W. J. 1981. *Estatística aplicada à administração.* São Paulo. Ed. Harper e Row do Brasil Ltda. 495p.

Swaine, M. D.; Lieberman, D.; Putz, F. E. 1987. The dynamics os tree populations in tropical forest: a review. *Journal of Tropical Ecology.* 3:359 - 366.

Troup, R. S. 1966. *Silvicultural sistems.* Jones, E. W., 2 ed., Oxford, Claredon Press, 216p.

Vieira, L. S.; Santos, P. C. T. C. dos. 1987. *Amazônia: seus solos e outros recursos naturais.* São Paulo. Editora Agronômica Ceres. 416p.

Zarnoch, S, J.; Dell, T. R. 1985. An evaluation of percentile and maximum likelihood estimators of Weibull parameters. *Forest Science,* 31(1): 260 - 268.

Zöhrer, F. 1970. The Beta-distribution for best fit of stem-diameter-distributions. *IN: I.U.F.R.O. 3ª Conference Adisory Group of Forest Statisticians:* 91-106.

Aceito para publicação em 05.03.98