



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
FLORESTAIS E AMBIENTAIS - PPGCIFA**

**COMPARAÇÃO DE MODELOS MATEMÁTICOS DE
VOLUME DE MADEIRA COM CASCA NA REGIÃO DE
MANAUS, AM**

MEREIDE XAVIER FONSECA

**MANAUS
2010**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
FLORESTAIS E AMBIENTAIS - PPGCIFA**

MEREIDE XAVIER FONSECA

**COMPARAÇÃO DE MODELOS MATEMÁTICOS DE
VOLUME DE MADEIRA COM CASCA NA REGIÃO DE
MANAUS, AM**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais da Universidade Federal do Amazonas como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais e Ambientais, área de concentração Manejo e Tecnologia dos Recursos Florestais Tropicais.

Orientador: Prof. Dr. Joaquim dos Santos

**MANAUS
2010**

Ficha Catalográfica
(Catalogação realizada pela Biblioteca Central da UFAM)

Fonseca, Mereide Xavier

F676c Comparação de modelos matemáticos de volume de madeira com casca na região de Manaus, AM / Mereide Xavier Fonseca. - Manaus: UFAM, 2010.

50 f.; il. color.

Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) — Universidade Federal do Amazonas, 2010.

Orientador: Prof. Dr. Joaquim dos Santos

1. Manejo florestal, 2. Madeira - Equação de volume, 3. Modelos alométricos I. Santos, Joaquim dos II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

CDU 630*3(811.3)(043.3)

MEREIDE XAVIER FONSECA

**APLICAÇÃO DE MODELOS ALOMÉTRICOS DE VOLUME
COM CASCA NA REGIÃO DE MANAUS, AM**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais da Universidade Federal do Amazonas como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais e Ambientais, área de concentração Manejo e Tecnologia dos Recursos Florestais Tropicais.

Aprovado em 12 de Dezembro de 2009.

BANCA EXAMINADORA

Joaquim dos Santos
Orientador – INPA/CPST

Francisco Adilson dos Santos Hara
DEAS/UFAM

Dr. Luiz Marcelo Brum Rossi
EMBRAPA

Aos meus pais **José Matos Fonseca**
e Maria Auxiliadora, aos meus irmãos:
Guadalupe, José Júnior e Jaquelim.

Ao meu ex-esposo **Ewerton Ferreira**
que sempre esteve ao meu lado, dando-me
incentivo e muito carinho.

*Dedico-lhe mais essa conquista como
gratidão.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à DEUS, pela saúde, fé que me mostrou o caminho mesmo nas horas mais difíceis, onde pensei em desistir.

À minha Vó Alaíde Xavier de Freitas (*in memorian*), que não poderia jamais esquecer, que prometeu estar presente em minha comemoração.

À Universidade Federal do Amazonas e ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia pelo aprendizado e pela oportunidade.

Aos meus orientadores Drs. Joaquim dos Santos e Niro Higuchi, pela paciência, incentivo, orientação e apoio.

Em especial agradeço a ajuda prestimosa de meu professor, Dr. Celso Paulo de Azevedo, pela paciência e carinho com que sempre me acolheu;

Aos companheiros de estudo: Adriano, Vilany, Liliane, Fabiana, Alberto, Romeu, que sempre estiveram presentes me auxiliando quando necessário;

A meu amigo Silvio Romero, que me ajudou muito mesmo estando ocupado com seu trabalho, só tenho a agradecer-lo.

Aos meus colegas de trabalho Soraia, Gabriela, Cinthia, Mara Rúbia, Crystianne, Marcelo Cortês, Saturnino, que me deram muita força, a Diretora Albertina que soube me compreender, quando precisei, enfim agradeço a todos com todo carinho.

À minha família, meu Pai José Matos Fonseca e minha Mãe Maria Auxiliadora X. de Freitas, meus irmãos Maria de Guadalupe, José Júnior e Jaquelim Xavier que compreenderam e me deram muita força quando tudo parecia estar contra mim.

Não deixando de citar meu ex-esposo Ewerton e seu pai Sebastião Ferreira que sempre me incentivaram e lutaram para que eu não trancasse meu curso, em especial ao Ewerton que me incentivava bastante para que eu terminasse, compreendendo minha ausência e muitas vezes minhas impaciências para com ele e minha família.

De coração devo agradecer todas as pessoas que diretamente e indiretamente me ajudaram para mais um conquista, e que sem a participação de todos, não seria possível a concretização deste trabalho.

Obrigado.

*Ainda que eu fale as línguas
dos homens e dos anjos, se eu não
tiver amor, serei como o bronze que
soa ou como o címbalo que retine.*

1 Coríntios 13:1

RESUMO

O volume de madeira é uma variável extremamente importante durante o planejamento e execução de um projeto de manejo florestal, que inclui a exploração madeireira e se encerra com o monitoramento das parcelas permanentes. O volume é a variável com maior poder de informação tanto no meio acadêmico e científico como no setor produtivo. Desta forma, este trabalho teve como objetivo aplicar equações de regressão que servirão para estimar o volume de árvores em pé na região central de Manaus – AM. A base de informações para o desenvolvimento deste estudo foi obtida na Estação Experimental de Silvicultura Tropical do INPA, Manaus – AM, sendo composta de 121 árvores cubadas, selecionadas aleatoriamente. Para o cálculo do volume, foi utilizada uma adaptação do método de Hohenadl com método de Smalian, usada pelo laboratório de manejo florestal do Centro de Pesquisa de Silvicultura Tropical – CPST. Foram testados sete modelos alométricos, sendo três aritméticos, dois logarítmicos e dois não lineares, a fim de selecionar o que melhor estimasse o volume. Para a escolha do melhor modelo, alguns critérios de seleção foram adotados: maior coeficiente de determinação ajustado, maior coeficiente de correlação, menor erro padrão da estimativa absoluto, menor erro padrão da estimativa percentual e a melhor distribuição dos resíduos. Todas as equações testadas podem ser utilizadas para estimativa de volume com casca das árvores de floresta de terra firme da região de Manaus, pois apresentaram bons resultados de coeficiente de determinação ajustado, correlação e erro padrão da estimativa, embora a equação não linear $V = -0,000673 d^{2,4067}$ foi a que melhor atendeu aos critérios de seleção com apenas uma variável independente, o DAP, apresentando resultados tão consistentes e precisos quanto os modelos que utilizam também a variável altura comercial, sendo, portanto, a equação selecionada para estimar volume.

Palavras Chaves: manejo florestal, equação de volume, modelos alométricos.

ABSTRACTS

Timber volume is one of the most significant variable for planning and execution of forestry activities that includes logging and concludes with the monitoring of permanent plots. The volume is the variable with the greatest power of information in both the academic and scientific as in the productive sector. Thus, this study aimed to apply the regression equations used to estimate the volume of trees standing in the central region of Manaus – AM. The base of information for the development of this study was obtained at the Estação Experimental de Silvicultura Tropical of INPA, Manaus - AM and is composed of 121 trees, selected randomly. The measurement of volume of the trees was calculated using methodology Smalian. Was tested seven allometrics models, which tree of them are arithmetic, two are logarithmic and the other two are non-linears in order to select the one that better estimate the volume of trees. To choose of the best model some selection criteria was considered: higher adjusted coefficient of determination; lower absolute standard error of estimate; lower standard error of the estimated in percentage and better residual distribution. All the tested models can be used to estimate the volume with bark of the Terra-Firme trees in the region of Manaus, cause they showed good results in the adjusted coefficient of determination and the correlation and standard error of estimation, although the not linear equation $V = -0,000673 d^{2,0967}$ was the one that best met the criteria for selection with only one independent variable (DHB) presenting results so consistent and accurate as the models that also use the commercial height variable and thus that equation was selected to estimate the volume.

Key words: forest management, volume equation, allometric models.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estação Experimental de Silvicultura Tropical do INPA, Manaus-AM, núcleo ZF-2. (GISLAB/INPA, 2001).....	25
Figura 2: Procedimento para o cálculo do volume de uma árvore	28
Figura 3: Distribuição gráfica dos resíduos em porcentagem.	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Modelos de equações testadas para estimativa do volume de madeira, partindo de dados da cubagem e análise do tronco.....	29
Tabela 2: Distribuição de árvores por classe diamétrica (10 cm em 10 cm).....	34
Tabela 3: Estatística descritiva dos dados (Hc, DAP, V)	34
Tabela 4: Estimativa dos coeficientes de regressão e medidas de precisão para os modelos ajustados.	35

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Fatores de correções para modelos logarítmicos e não lineares.....	37
--	----

SUMÁRIO

RESUMO	vi
ABSTRACTS	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE QUADROS	x
INTRODUÇÃO.....	13
2. OBJETIVOS.....	15
2.1. Objetivo Geral	15
2.2. Objetivos Específicos	15
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
3.1 Manejo Florestal Sustentável	16
3.2 Estimativa de Volume	19
3.3 Alometria.....	22
3.3.1 Modelos Alométricos	23
4 MATERIAL E MÉTODO	25
4.1 Caracterização da área de estudo.....	25
4.1.1 Localização da área	25
4.1.2 Vegetação	26
4.1.3 Clima	26

4.1.4 Geologia e Relevo	27
4.1.5 Solos	27
4.2 Coleta e análise dos dados	27
4.2.1 Cubagem	27
4.2.2 Análise Descritiva dos dados	28
4.2.3 Equações de volume testadas	29
4.2.4 Seleção dos modelos	30
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
5.1 Estatística Descritiva dos Dados	34
5.2 Resultados do ajuste dos modelos	35
5.2.1 Equações aritméticas	36
5.2.2 Equações logarítmicas	36
5.2.3 Equações não lineares	36
5.2.4 Distribuição dos Resíduos	38
CONCLUSÃO	44
BIBLIOGRAFIAS	45

INTRODUÇÃO

Na maioria dos planos de manejo florestal do Estado do Amazonas, o volume de madeira ainda é estimado usando equações não apropriadas (HIGUCHI & RAMM, 1985). Em alguns casos, o volume é estimado usando a fórmula do cilindro que é corrigido com um fator de forma comum para toda a região amazônica, arbitrada em 0,7, desde os primeiros inventários florestais realizados pela FAO, nos anos 50.

Alguns engenheiros florestais utilizam para medição do volume, equações desenvolvidas ou na FLONA de Tapajós ou na área do INPA em Manaus. Nos dois casos, as equações são robustas e precisas e poderiam ser usadas em outras regiões desde que, além do DAP, a altura da árvore fosse também incluída no modelo. No entanto, a altura não é uma variável fácil de ser medida no campo, demanda um tempo muito longo para sua obtenção e custa caro, por essas razões, as alturas não são exatas.

O Código Florestal, editado em 1965, já estabelecia que, exceto no caso de desmatamento autorizado, a exploração das florestas da Amazônia deveria seguir técnicas de manejo. As normas sobre o manejo deveriam ter sido estabelecidas dentro de um ano após a edição do código. Entretanto, 21 anos de descaso se passaram antes da edição das primeiras regras sobre manejo florestal na Amazônia em 1986. A edição destas regras ocorreu em um cenário de explosão do desmatamento, queimadas e de exploração predatória. Somente em 1995, 30 anos depois, é que foram estabelecidas as linhas gerais para o manejo florestal na Amazônia (HIGUCHI, 2005).

Com as novas exigências contidas no decreto Nº 5.975 (Do Plano de Manejo Florestal Sustentável) e Art. 3º (elaboração, apresentação, execução e avaliação técnica do PMFS), o inventário florestal e, conseqüentemente, a estimativa do volume de madeira, deixou de ser mera informação burocrática. Segundo Hummel (2001), nos anos de 1997, 1998 e 1999, as

autorizações para desmatamento na Amazônia Legal representaram, respectivamente, 19, 14 e 12% do total desmatado nesses anos e, em 1999, a área aprovada na Amazônia Legal com planos de manejo florestal sustentável (PMFS) era de 1,8 milhão de hectares, que correspondem a uma área anual de 72 mil ha.

Usando as estatísticas de produção de madeira para a região Amazônica entre 1996-1997 de NEPSTAD *et al.* (1999) e as taxas de desmatamento do INPE em 2003, do mesmo período e um volume comercial médio de 30 m³/ha, as procedências da safra de madeira de 1996-1997 podem ser decomposta da seguinte maneira: 7% de planos de MFS (Manejo Florestal Simplificado), 25% de desmatamento autorizado e 68% de desmatamento não autorizado. De acordo com INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), a área desmatada acumulada até 2005 é de, aproximadamente, 3 milhões de hectares , que dá um total de 1.000 Km² ou 100 mil hectares por ano.

O volume é uma das informações de maior importância para o conhecimento do potencial disponível em um povoamento florestal, haja vista que o volume individual fornece subsídios para avaliação do estoque de madeira e análise do potencial produtivo das florestas (THOMAS *et al.*, 2006). Os volumes médios são comumente estimados através de uma equação de regressão na qual a variável dependente é o volume e as variáveis independentes mais usadas são: diâmetro à altura do peito (DAP), altura comercial (Hc) e classe de forma (CF). Pesquisas para melhorar a precisão das estimativas volumétricas são fundamentais para o planejamento da colheita florestal (RIBEIRO, 1996).

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Determinar um modelo alométrico para estimativa do volume de árvores em pé na Região Central de Manaus - AM.

2.2. Objetivos Específicos

- ⇒ Ajustar e comparar modelos lineares, não lineares e os logarítmicos;
- ⇒ Corrigir os modelos pra fins de comparação;
- ⇒ Aplicar os critérios de seleção para a escolha do melhor modelo.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Manejo Florestal Sustentável

A crescente preocupação com as mudanças climáticas no planeta Terra faz crescer também, na mesma proporção, a necessidade de se ter estimativas confiáveis de taxas de desmatamentos e da fitomassa da Floresta Amazônica (HIGUCHI & CARVALHO JR., 1994). Nos últimos anos, as florestas tropicais tem sido alvo de muitas preocupações, do ponto de vista ambiental, principalmente pela velocidade com que esse bioma está sendo modificado, ou até mesmo destruído (SANTOS, 1996).

A exploração de madeira na Amazônia tem ocorrido há mais de 300 anos. Inicialmente, a atividade não causava grande impacto à floresta. Os madeireiros exploravam apenas um pequeno número de espécies, transportando as toras pelos rios. Entretanto, nos últimos trinta anos, a exploração tem se tornado cada vez mais intensiva e predatória. O aumento da intensidade da exploração se deve ao crescimento da demanda por madeiras da região e à abertura de estradas que permite a redução dos custos de transporte. A demanda por madeiras da Amazônia cresceu, principalmente, após a destruição da Mata Atlântica, que era a principal fonte de matéria prima do Brasil. Como não houve investimento suficiente em reflorestamento para abastecer o mercado, as florestas nativas da Amazônia tornaram-se a principal fonte de madeira para o mercado nacional e, cada vez mais, para o internacional. A velocidade da degradação da floresta na Amazônia e os protagonistas da destruição têm variado, mas é cada vez mais importante o papel das madeireiras nesta degradação. Nos anos 70, os madeireiros geralmente aproveitavam a madeira oriunda das fazendas que transformavam florestas em pastagens (MMA/IBAMA, 2000).

A partir da década de 80, os madeireiros passaram a ter um papel mais ativo na degradação e destruição de florestas na Amazônia. O desmatamento e a exploração predatória eliminaram os estoques de madeira próximos às estradas abertas pelo governo nas décadas de 60 e 70. Assim, os madeireiros passaram a abrir estradas para extrair madeira de áreas mais distantes. A abertura destas estradas tem estimulado a ocupação de novas fronteiras por agricultores e fazendeiros em várias regiões da Amazônia. Portanto, a exploração de madeira estimula o desmatamento (MMA/IBAMA, 2000).

A intensificação da exploração resulta em danos maiores, já que requer a construção de mais estradas, o uso de equipamentos de extração maiores e, conseqüentemente, a abertura

de pátios maiores. A derrubada de várias árvores grandes sem planejamento leva à abertura de grandes clareiras. As clareiras ficam ainda maiores durante o arraste, quando toras de até 25 metros são puxadas para os pátios. Um estudo em Paragominas/PA mostrou que, para cada árvore extraída, outras 59 árvores com diâmetro acima de 10 centímetros foram destruídas ou danificadas (JOHNS *et al.*, 1996)

Hummel (2003) cita “Só a exploração manejada de forma sustentável garantirá que os estimados 45 bilhões de metros cúbicos de madeira da Floresta Amazônica continuem em pé e permitam ao Brasil dominar o comércio internacional de madeira tropical neste século, tendo em vista o declínio do estoque do produto asiático”.

O Manejo florestal pode ser entendido também como a parte da ciência florestal que trata do conjunto de princípios, técnicas e normas, que tem por fim organizar as ações necessárias para ordenar os fatores de produção e controlar a sua produtividade e eficiência, para alcançar objetivos definidos (HIGUCHI *et al.*, 2005).

Na Amazônia, o artigo 15 do Código Florestal (Lei n.º 4.771, de 15 de setembro de 1965), que trata do manejo florestal da região, foi regulamentado em 1994, Decreto n. 1282 e alterado em 28.09.1998 (Decreto 2.788), definindo as regras e as condições para o aproveitamento de seus recursos florestais, que são baseados nos princípios do desenvolvimento sustentável. A Instrução Normativa nº 05 de 11 de dezembro de 2006 dispõe sobre procedimentos técnicos para elaboração, apresentação, execução e avaliação técnica de Planos de Manejo Florestal Sustentável – PMFSs nas florestas primitivas e suas formas de sucessão na Amazônia Legal.

O Manejo Florestal Sustentável, às vezes confundido como Silvicultura Tropical, tem tido esta conotação porque praticamente não há como manejar de forma sustentada sem a aplicação dos clássicos sistemas silviculturais adaptados aos países tropicais. Manejo florestal sustentado é visto também como sinônimo de manejo da regeneração natural do povoamento remanescente da exploração comercial (HIGUCHI *et al.* 2005).

Manejo Florestal em Regime Sustentável (MFS) é, enfim, a aplicação de sistemas silviculturais em florestas destinadas à produção madeireira e a condução da regeneração natural do povoamento remanescente, de modo a garantir a contínua operação da capacidade instalada para o desdobro do produto da floresta. Há dois tipos de MFS monocíclico

(uniforme) e policíclico (cortes sucessivos). O MFS monocíclico, praticamente extinto, pressupõe a colheita em um único corte e o retorno após cumprido o período de rotação da floresta. O sistema uniforme Malaio é o exemplo de MFS monocíclico. MFS policíclico, geralmente bicíclico, pressupõe cortes sucessivos com retorno de acordo com o ciclo de corte arbitrado (HIGUCHI *et al.* 2005).

As Florestas nativas têm sido historicamente apreciadas como se porventura fossem constituídas tão somente por um conjunto de árvores. Por esse motivo, a viabilidade técnica do manejo florestal tem sido examinada essencialmente pela dimensão quantitativa e, especialmente, monetária, ou seja: o sucesso do manejo florestal tem sido associado apenas ao volume e ao valor da madeira produzida pelas operações de corte seletivo (AHRENS, 1997).

O Manejo Sustentável é a melhor solução para a exploração racional de madeira e outras riquezas não-madeireiras da floresta. Uma floresta bem manejada continuará oferecendo essas riquezas para as gerações futuras, pois a madeira e seus outros produtos são recursos renováveis (FFT, 2000). O decreto de 1994 que regulamentou a exploração das florestas na Amazônia define o manejo sustentável como "a administração da floresta para a obtenção de benefícios econômicos e sociais, respeitando-se os mecanismos de sustentação do ecossistema objeto do manejo". Atualmente, o conceito foi ampliado para manejo florestal de uso múltiplo, passando a incluir "múltiplos produtos e subprodutos não-madeireiros, bem como a utilização de outros bens e serviços naturais da floresta" (AHRENS, 2003).

Ao se tratar da Floresta Amazônica, os cuidados têm de serem maiores, tendo em vista que os recursos florestais disponíveis desenvolveram-se em ecossistemas heterogêneos, complexos e frágeis (SANTOS, 1996). Os solos da Amazônia são antigos, pobres em nutrientes (especialmente para agropecuária) e ácidos. O manejo florestal na Amazônia tem de ser suficientemente sábio para manter a eficiência do sistema para a conservação e ciclagem de nutrientes, evitando romper o equilíbrio alcançado pela natureza com o passar do tempo (HIGUCHI *et al.* 1998).

Para a realização do manejo florestal, visando à produção sustentável, é de fundamental importância conhecer as diversas características da floresta, as quais podem ser obtidas pelo inventário florestal, executado por meio da avaliação de parte da população, através de amostragem. A literatura é vasta quanto aos procedimentos de amostragem que podem ser utilizados na área florestal, contudo a escolha do procedimento depende das

características da floresta, dos objetivos a serem alcançados, dos recursos disponíveis e da precisão requerida (HUCH *et al.* 1972).

3.2 Estimativa de Volume

Em todas as operações florestais que envolvem a determinação do volume de árvores, principalmente em inventários florestais, é imprescindível o uso de tabelas de volume, as quais podem ser elaboradas para determinadas espécies ou grupos de espécies (FERNANDES *et al.*, 1983). Estas tabelas fornecem o volume em função do diâmetro (tabela local), diâmetro e altura (tabela regional) e diâmetro, altura e classe de forma (tabela formal), (PAULA NETO, 1975).

Uma ferramenta amplamente utilizada nas estimativas e prognoses da produção madeireira é o emprego de equações volumétricas cujos parâmetros são determinados por regressão, constituindo um procedimento eficiente para quantificação da produção em volume de um povoamento florestal (SANTANA *et al.* 2004).

O procedimento de maior uso na estimativa do volume individual é o emprego de equações em que o volume é a variável dependente, associado a variáveis independentes de fácil mensuração na floresta, como o diâmetro à altura do peito e altura (MACHADO *et al.*, 2002). As técnicas de regressão têm demonstrado grande eficiência no desenvolvimento de modelos estatísticos para estimativa de volume em vários tipos florestais (FERNANDES *et al.*, 1983).

Thomas *et al.* (2006) citam que muitas equações matemáticas foram desenvolvidas para estimar o volume de povoamentos florestais e, apesar da eficiência de alguns modelos, estes nem sempre se ajustam a todas as espécies e condições, sendo recomendável testá-los e por meio de estatísticas adequadas, identificar o melhor para cada caso.

Machado *et al.* (2002) citam que é incontestável a importância do desenvolvimento de equações locais de volume. Atualmente são utilizadas equações genéricas para toda a Amazônia, que resulta superestimativas absurdas de volume da floresta e dos volumes individuais das principais espécies objeto do manejo. Por isso a empresa desenvolve equações para suas áreas de manejos florestais e para as principais espécies utilizadas em suas indústrias. Além de modelos para estimar os volumes das árvores em pé são desenvolvidas equações para estimar o volume de toras na atividade de manejo.

Para a região amazônica, cujo número de espécies é bastante alto e onde associações florestais diferentes ocorrem em áreas muito próximas, não sendo possível utilizar uma equação de volume, torna-se necessário a elaboração de tabelas para espécies individuais, para grupos de espécies e para cada região (FERNANDES *et al.* 1983). Isto é confirmado por Silva *et al.* (1978), os quais mostram que equações devem ser analisadas para cada espécie, região e método de regeneração, visando evitar erros significativos nas avaliações de volume dos povoamentos.

Em se tratando de florestal natural, vários fatores dificultam os levantamentos de campo, tanto de ordem econômica quanto operacional. Dentre eles podem se destacar a medição precisa da variável altura comercial. Portanto, é recomendável desenvolver, na maioria dos casos, equações de volume de simples entrada, para estimar volume de árvores em pé e de dupla entrada para estimar volume de árvores abatidas, onde a variável altura pode ser medida com maior exatidão (BAIMA *et al.* 2001).

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

Relação hipsométrica é a regressão de altura sobre diâmetro em um povoamento em uma determinada data (SMITH, 1977). Segundo o autor, as relações hipsométricas têm sido muito estudadas por diversos autores, através da utilização de um grande número de modelos matemáticos, os quais mostram ser mais ou menos eficientes conforme a composição do povoamento e qualidade do sítio.

A maioria dos estudos para determinar o volume das árvores foi e ainda é direcionada ao tronco principal, evidentemente, como uma decorrência do pouco uso comercial das demais partes que compõem a árvore, no entanto, a biomassa vem sendo estudada com mais frequência (SANTOS, 1996).

Para desenvolver equações de volume precisa-se ter o volume real de vários indivíduos. Este volume pode ser obtido por meio do método destrutivo (aproveitando áreas

exploradas ou desmatadas, autorizadas pelo IBAMA). Antes de derrubar a árvore, o DAP é medido. Com a árvore no chão, as alturas ou comprimentos (comercial e total) são determinados e o tronco é dividido em pequenas toras, tentando se aproximar à forma do cilindro (SANTOS, 1996).

A quantificação do volume de madeira de qualquer floresta é, sem dúvida, uma atividade chave para bem planejar o seu aproveitamento. A determinação dos volumes individuais das árvores com boa precisão é fundamental para determinar o estoque da floresta e para calcular a sua produtividade (BAIMA *et al.* 2001).

Na Amazônia brasileira, Heinsdijk & Bastos (1963) são considerados pioneiros na pesquisa sobre a volumetria das espécies da região. Aqueles pesquisadores determinaram um fator de forma geral (igual a 0,7) para árvores da floresta amazônica. Embora de caráter provisório, este fator ainda é hoje utilizado, apesar não obstante das facilidades computacionais existentes para o desenvolvimento de equações volumétricas.

As equações de volume permitem estimar o volume individual das árvores, onde é feita a combinação entre as variáveis. Quando se obtêm estimativas separadamente para o volume do tronco comercial e volume de copa para as árvores de grande porte, torna-se factível o uso de equações volumétricas, cujas variáveis independentes sejam de fácil medida (SILVA & CARVALHO, 1984)

A determinação volumétrica do fuste de uma árvore pode ser realizada através de equação de forma, contudo, é muito comum utilizar as equações de volumes. Os modelos matemáticos mais freqüentes são:

- Simples entrada:

$$V = b_0 + b_1 D^2 \text{ Kopezly}$$

$$V = b_1 D + b_2 D^2 \text{ Dissescu}$$

$$V = b_0 D + b_1 D + b_2 D^2 \text{ Hohenad}$$

$$V = b_0 D^{b_1} \text{ Berkhout}$$

$$\ln V = b_0 + b_1 \ln D \text{ Husch}$$

- Dupla entrada:

$$V = b_0 + b_1 D + b_2 D^2 + b_3 DH + b_4 D^2 H \text{ Meyer}$$

$$V = b_1 D^2 H \text{ Spurr}$$

$$V = D^2 (b_0 + b_1 h) \text{ Ogaya}$$

$$V = b_0 + b_1 D^2 + b_2 D^2 H + b_3 H \text{ Stoate}$$

$$V = \frac{D^2 H}{\beta_0 + \beta_1 D} \text{ Takata}$$

$$\ln V = b_0 + b_1 \ln D + b_2 \ln H \text{ Schumacher}$$

$$\ln V = b_0 + b_1 \ln D + b_2 \ln^2 D + b_3 \ln H + b_4 \ln^2 H \text{ Prodan}$$

Em virtude da diversidade de espécies e de tipos florestais na Amazônia, há carência de trabalhos relacionados com o tema (BAIMA *et al.*, 2001).

3.3 Alometria

Alometria é composta das palavras *allos* (outra) e *metron* (medida), ambas em grego (NIKLAS, 1994). É o estudo das variações das formas e dos processos dos organismos e tem dois significados: (i) o crescimento de uma parte do organismo em relação ao crescimento do organismo inteiro ou parte dele e (ii) o estudo das conseqüências do tamanho sobre as formas e os processos. Na área florestal, é o estudo do volume (todo) em função de partes do todo (DAP, altura total e altura comercial) (SILVA, 2007).

Haemig (2005) descreve que a alometria é a medição da descrição da dependência das subunidades estruturais e funcionais de um organismo, com o crescimento e a função de uma parte desses organismos e do ser vivo como um todo. Uma alometria é uma função de potencia que relaciona diferentes coisas entre si. As alometrias ecológicas são regressões e por isso não se referem aos mecanismos.

Higuchi *et al.*, (2005), cita que o estudo das variações das formas e dos processos dos organismos e tem dois significados: 1) o crescimento de uma parte dos organismos em relação

ao crescimento do organismo como um todo e de uma parte dele e, 2) é o estudo das conseqüências do tamanho sobre as formas e dos processos.

Na caracterização de espécies florestais tem-se mostrado importante o estudo de suas relações alométricas. Uma relação é dita alométrica quando uma característica física ou fisiológica sofre variação com o tamanho do organismo, apresentando assim grande importância nos estudos de comparação e da história de vida das espécies (BEGON *et al.* 1986). A alometria de árvores, ou mais especificamente, suas relações entre tamanho e forma apresentam um relevante efeito estrutural e funcional da floresta (FONTES, 1999).

O diâmetro à altura do peito (DAP) é uma variável que tem demonstrado, em qualquer situação ou bioma, correlação positiva e significativa com o volume. A altura total é uma variável que, segundo Loetsch *et al.* (1973), caracteriza o sítio em que a floresta se desenvolve. Como a altura da árvore é difícil de ser medida com precisão, o diâmetro passa a ser a variável mais importante e mais segura para estimar o volume e a biomassa de florestas tropicais de uma região como a Amazônia (HIGUCHI *et al.* 2003). A altura comercial é o comprimento do tronco que vai da base até a primeira inserção significativa de galhos. Esta variável não é tão biológica quanto o total, mas pode ser um diferenciador importante entre árvores com o mesmo DAP. Esta altura é mais fácil de ser medida no campo do que a altura total.

3.3.1 Modelos Alométricos

Dependendo do número de variáveis independentes, o modelo pode ser simples ou múltiplo e, dependendo da natureza das equações, podem ser lineares e não lineares. Em geral, os modelos não lineares são linearizados utilizando-se da transformação em logaritmo (natural ou base 10). Furnival (1961), Sprugel (1983) e Santos (1996) apresentam fórmulas para correções do erro padrão de estimativa, principalmente, quando se querem comparar modelos logaritmos e não logaritmos.

Os métodos de regressão são de grande utilidade na derivação e testes de relações empíricas entre vários fenômenos. No campo florestal, por exemplo, o volume de árvores pode ser expresso em função do diâmetro, altura e fator de forma. Análise de regressão determina modelos matemáticos que possam envolver diversas variáveis e procedimentos que possam avaliar a equação estimada (FREESE, 1964).

A regressão é utilizada como instrumento auxiliar na avaliação quantitativa dos recursos florestais, desempenhando potencial importância por suas aplicabilidades nas mais diversas formas de expressão quantitativa do potencial de uma floresta. Regressão é sinônimo de função. A palavra regressão foi incorporada a linguagem estatística por Pearson, para designar a expressão de uma variável como função de uma ou mais variáveis. É uma técnica utilizada para determinar a forma e a significância da relação entre duas ou mais variáveis (SANTOS, 1993).

Para obter-se uma idéia de regressão linear simples, é necessário considerar uma população com n indivíduos, cada um com características X_i e Y_i . Se a informação desejada é uma expressão numérica para o relacionamento entre os valores de x e y , o primeiro passo é marcar os valores num sistema de cada coordenada. Uma linha reta representa a regressão linear simples, a qual geralmente é definida pela equação $Y = \beta_0 + \beta_1 X$, sendo β_0 o coeficiente de interseção e β_1 , o coeficiente angular (HIGUCHI *et al.* 1979).

Se em uma população existe uma variável dependente de uma ou mais variáveis X_i , pode-se dizer então que existe uma função matemática na qual Y varia em função da(s) variável(is) $X(s)$. O objetivo da regressão constitui-se em expressar uma função através de um modelo estatístico ajustado que permita prever valores da variável dependente Y , a partir de valores conhecidos de uma ou mais variáveis independentes $X(s)$, (SANTOS, 1996).

4 MATERIAL E MÉTODO

4.1 Caracterização da área de estudo

4.1.1 Localização da área

O presente estudo foi realizado na Estação Experimental de Silvicultura Tropical do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (EEST/INPA) – núcleo ZF-2 – localizada no quilômetro 23 da margem esquerda da estrada vicinal ZF-2, no Distrito Agropecuário da SUFRAMA, distante cerca de 90 km a noroeste de Manaus - Boa Vista (Figura 1), coordenadas geográficas: 02°37' a 02°38' de latitude Sul e 60°09' a 60°11' de longitude Oeste (RADAMBRASIL, 1978), perfazendo 22.735 ha de área total. “Politicamente pertence à cidade de Manaus, estado do Amazonas. Os limites da área são: ao Norte – com as Terras da Comissão Executiva do Plano de Lavoura Cacaueira (CEPLAC) ao Sul – Com as terras do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e da Universidade Federal do Amazonas (UFAM); ao Oeste – com o Rio Cuieiras, e pelo Leste – com a estrada BR – 174, Manaus – Boa Vista.



Figura 1: Estação Experimental de Silvicultura Tropical do INPA, Manaus-AM, núcleo ZF-2. Imagem da região de Manaus observada por satélite (Landsat 7). Fonte (GISLAB/INPA, 2001).

4.1.2 Vegetação

A vegetação é caracterizada como floresta tropical úmida densa de terra firme amazônica, com características típicas da parte central da região amazônica, com grandes diversidades de espécies lenhosas e herbáceas, não apresentando vestígio de ação antrópica, pelo menos durante os últimos 50 anos (HIGUCHI *et al.*, 1997). Em um inventário realizado por CARNEIRO (2004), foram identificadas 737 espécies arbóreas pertencentes a 59 famílias botânicas, das quais as mais ricas em espécies foram: Sapotaceae, Chrysobalanaceae, Lauraceae, Lecythidaceae e Fabaceae. A relação das espécies estudadas neste trabalho estão em anexo 1.

RADAMBRASIL (1978) descreveu a área de sub região de baixas planícies da Amazônia com base na geomorfologia, levantamentos florísticos e inventários florestais. A cobertura florestal densa, raramente com estrato superior uniforme e floresta aberta, onde os estratos arbustivos e herbáceos são compostos por regeneração natural de espécies arbóreas, palmeiras e plantas não vasculares.

4.1.3 Clima

De acordo com Koopen, o clima da região é do tipo “Amw”. Esta classificação é caracterizada como clima tropical chuvoso, apresentando temperatura elevada, com variação térmica diurna, maior do que a variação térmica noturna. Pesquisas realizadas na área de estudo por Miranda (2002) caracterizam a temperatura (°C), precipitação (mm) e umidade relativa (%) com máximas e mínimas de valores: (34,7 e 20,8); (116,2 e 00,0) e (100 e 69,0), respectivamente.

A umidade relativa média anual apresenta um índice de 83% (INMET, 1992). A precipitação anual está em torno de 2.500 mm, distribuídos em duas épocas distintas do ano, a chuvosa que ocorre entre novembro e maio, sendo que o mês de março é o que apresenta o maior índice pluviométrico, e a seca que ocorre entre junho e outubro, sendo agosto o mês com menor índice pluviométrico (FALESI, 1971). Os valores de precipitação médios registrados pelo INMET em uma série histórica de 30 anos citam valores de 2.286,2 mm ao ano (MIRANDA, 2002).

4.1.4 Geologia e Relevo

Geologicamente, predominam os arenitos caulínicos, os argílicos, as grauvacas e as brechas intraformacionais da formação Alter do Chão. Pouco se sabe sobre a idade cenozóica, trabalhos recentes já aceitam como limite inferior o Albiano médio e o limite superior, o Cenomaniano inferior (RADAMBRASIL, 1978).

O relevo é levemente ondulado e a maioria das ondulações são formadas por pequenos platôs que variam de 500 a 1000 m de diâmetro. A diferença de nível entre as calhas dos igarapés e a superfície dos platôs que variam de 70 a 80 m (SANTOS, 1996).

4.1.5 Solos

A maioria dos solos da Amazônia são ácidos, com baixas quantidades de nutrientes, sendo assim, quase impraticáveis para atividade agropecuárias e agrárias. Estes solos são classificados de acordo com suas toposequências (FERRAZ *et al.*, 1998): As planícies apresentam textura argilosa (latossolo amarelo); Os declives, variam em argilo-arenoso e areno-argiloso (podzólico roxo-amarelo); e nos solos baixos apresentam uma estrutura arenosa (solos arenosos hidromórficos).

Os solos mais extensivamente representados nas bacias hidrográficas da ZF-2 são os Latossolos Amarelos Álicos, argilosos, que ocupam as superfícies dos platôs, cuja fase de referências sob floresta é caracterizada pela presença de um horizonte médio, poroso, fortemente microagregado, situado entre dois horizontes menos porosos. Este solo é composto pelos sedimentos terciárias do Grupo Barreiras, que são constituídos de minerais resistentes à alterações, tais como a caulinita, o quartzo, os óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio (CHAUVEL, 1982).

4.2 Coleta e análise dos dados

4.2.1 Cubagem

Foram utilizadas informações de 121 árvores, para estimação dos coeficientes das equações volumétricas através do método de regressão. Para obtenção do volume real e ajuste das equações de volume foram derrubadas e cubadas todas as árvores. Para o cálculo do volume, foi utilizada uma adaptação do método de Hohenadl com método de Smalian, usada pelo laboratório de manejo florestal do Centro de Pesquisa de Silvicultura Tropical - CPST (Figura 2), no qual se aplicou a seguinte equação:

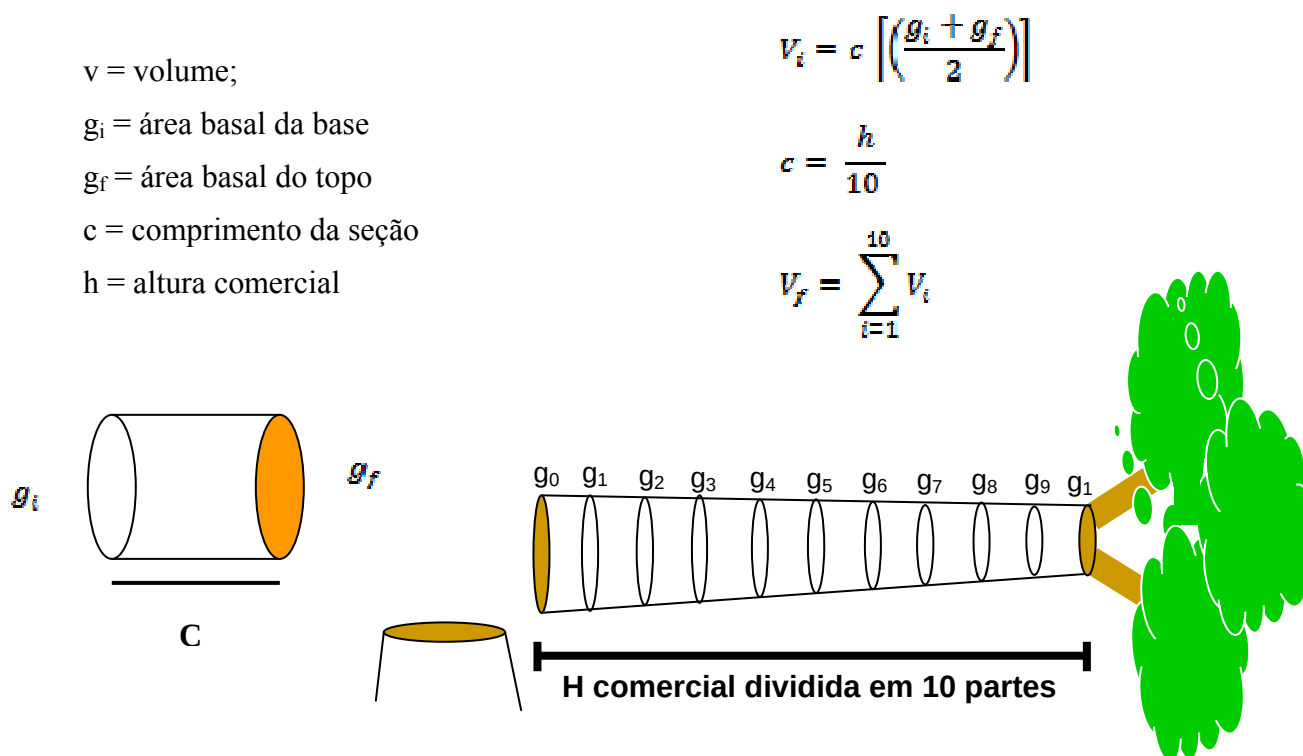


Figura 2: Procedimento para o cálculo do volume de uma árvore

Considerou-se como o tronco ou altura comercial (h) a medida da base da árvore até a inserção de galhos. O volume individual de cada árvore foi determinado usando a cubagem rigorosa de Smalian combinado com o método de Hohenad (divisão do tronco em 10 seções de iguais comprimento). Antes da derrubada da árvore o diâmetro a altura do peito (DAP) foi medido. Foi usado o programa Systat 8.0.

4.2.2 Análise Descritiva dos dados

A estatística descritiva se constitui num conjunto de técnicas que objetivam descrever, analisar e interpretar os dados numéricos de uma população ou amostra (FONSECA & MARTINS, 1994). Em geral, o volume de dados de uma pesquisa é muito grande. Os métodos de gráficos e grupamento de dados são úteis no manuseio de um grande conjunto de dados. Uma outra forma de sumarizar os dados é por meio da computação de um número, tal como a média, a qual substitui um grande número de dados por um simples número (Tabela 2).

Média é simplesmente a soma de todas as observações (altura, DAP e idade) dividida pelo número total de observações. É a medida que tem a menor variabilidade de amostra para amostra, é fácil de ser manuseada matematicamente e tem as propriedades mais desejáveis em

conexão com as distribuição de probabilidade. A variância mostra uma medida da dispersão dos valores unitários individuais em torno da média da população de indivíduos, a variância não só aparece com desvio padrão, como é o próprio, apenas ao “quadrado”. O coeficiente de variação é a razão entre o desvio padrão e a média que mostrou uma idéia da variação relativa dos dados (HIGUCHI *et al.* 2005).

4.2.3 Equações de volume testadas

Foram testados sete modelos alométricos de volume, para dados com casca obtidos pela cubagem, sendo que para os modelos lineares e os logarítmicos, o método utilizado para obter as estimativas dos parâmetros foi o de mínimo quadrado e para os não lineares, utilizaram-se métodos iterativos, empregando-se o algoritmo de Marquart.

Tabela 1: Modelos de equações testadas para estimativa do volume de madeira, partindo de dados da cubagem e análise do tronco.

<i>Ordem</i>	<i>Modelo</i>
1	$V = \beta_0 + \beta_1 d_i + \varepsilon_i$
2	$V = \beta_0 + \beta_1 d_i + \beta_2 h_i + \varepsilon_i$
3	$V = \beta_0 + d_i h_i + \varepsilon_i$
4	$\ln V = \beta_0 + \beta_1 \ln d_i + \varepsilon_i$
5	$\ln V = \beta_0 + \beta_1 \ln d_i + \beta_2 \ln h_i + \varepsilon_i$
6	$V = \beta_0 d_i^{\beta_1} + \varepsilon_i$
7	$V = \beta_0 d_i^{\beta_1} h_i^{\beta_2} + \varepsilon_i$

Onde:

V = volume;

d = diâmetro em metros;

h = altura em metros;

ln = logaritmo neperiano;

$\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_n$ = coeficientes; e

ε_i = Erro casual

Para comparar modelos da mesma natureza, utilizaram-se os critérios: coeficiente de determinação, erro padrão residual e análise dos valores residuais. Concomitantemente ao ajuste das equações de volume, foi realizada a análise gráfica dos resíduos, para verificar a ocorrência ou não de tendenciosidade nas estimativas da variável dependente volume.

4.2.4 Seleção dos modelos

Para selecionar o melhor modelo, devem-se conciliar dois critérios de sentidos opostos, usualmente envolvidos: (I) que o modelo inclua o maior número possível de variáveis independentes, para obter maior confiabilidade nos valores estimados, e (II) em virtude da quantidade de trabalho requerida para medições de campo, o modelo deve incluir o menor número de variáveis independentes (PAULA, 1975).

Os critérios adotados para a escolha do melhor modelo alométrico para estimar o volume foram baseados em relatos de PAULA NETO (1975). Procurou-se relacionar as equações que apresentam:

- I) Maior coeficiente de determinação (R^2) e menor erro padrão residual ($S_{yx}\%$);
- II) Uniformidade e não tendenciosidade na distribuição dos resíduos;
- III) Maior precisão e consistência na aplicação;
- IV) Menor dificuldade e menor custo nas medições de campo.
- V) Significância dos coeficientes

De acordo com os critérios apresentados, a melhor equação foi aquela que apresentou, simultaneamente, o maior coeficiente de determinação corrigido (R^2) e o menor erro padrão ($S_{yx}\%$). Entretanto, esses critérios não foram decisivos, pois, mesmo que uma equação atenda as pressuposições mencionadas, pode, contudo, apresentar resíduos cuja distribuição seja tendenciosa.

4.2.4.1 Coeficiente de Determinação Ajustado ($R^2_{Aj.}$)

O Coeficiente de Determinação (R^2) expressa a quantidade da variação total explicada pela regressão. Como o Coeficiente de Determinação cresce a medida que se inclui uma nova variável ao modelo matemático, foi utilizado, como critério, o Coeficiente de Determinação Ajustado ($R^2_{Aj.}$), para o número de coeficientes da equação, obtido pela expressão:

$$R^2_{Aj.} = R^2 - \left[\frac{K-1}{N-K} \right] \cdot (1 - R^2)$$

Onde: $R^2_{Aj.}$ = Coeficiente de Determinação Ajustado; K=número de coeficientes da equação; N=número de observações.

Por esse critério, quanto mais próximo de um for o valor do Coeficiente da Determinação, melhor será o ajuste da linha de regressão.

4.2.4.2 Erro Padrão da Estimativa ($S_{yx}\%$)

O Erro padrão da estimativa indica a precisão do ajuste de um modelo matemático, e somente deve ser utilizado como comparador quando as variáveis dependentes apresentarem a mesma unidade de medida. Esse parâmetro é obtido pela fórmula:

$$S_{yx} = \sqrt{QM_{res.}}$$

Em que: S_{yx} = Erro-padrão da estimativa; $QM_{res.}$ = Quadrado médio do resíduo, obtido na análise de variância.

Assim, quanto menor o erro padrão da estimativa, melhores são as estimativas obtidas com a equação.

4.2.4.3 Coeficiente de Determinação

Segundo Hoffmann e Vieira (1987), o coeficiente de determinação (R^2) é uma medida descritiva da qualidade do ajustamento obtido. Entretanto, o valor do coeficiente de determinação depende do número de observações da amostra, tendendo a se estabilizar quando n diminui.

n = número de observações

Meyer (1941) cita que o coeficiente de variação é uma importante opção para a comparação de equações com variáveis dependentes de diferentes unidades. Esse coeficiente na forma percentual é obtido pela fórmula:

$$S_{yx} = \frac{S_{yx}}{Y} * 100$$

Em que: CV. Coeficiente de variação em percentagem; S_{yx} = Erro padrão da estimativa; $\bar{Y}$ = média aritmética da variável dependente.

Dessa forma, quanto menor o valor do coeficiente de variação, melhor e mais precisa é a estimativa.

Para comparar modelos de diferentes naturezas, utilizou-se além dos critérios já mencionados, um fator de correção que corrige o EPR dos modelos não lineares, o índice de Furnival para modelos logaritmos, que foi utilizado em alguns trabalhos (FERNANDES *et al.*, 1983; HIGUCHI *et al.* 1985), portanto, o mesmo critério foi adotado neste estudo para comparar os modelos 4, 5 e com as demais equações aritméticas. A análise estatística foi realizada no programa estatístico Systat 8.0 para Windows.

$$IF = \exp \left(\frac{\sum_{i=1}^n \ln(V_{real_i})}{n} \right) * S_{yx}$$

$$IF = Syx\% * \text{antilog } \Sigma \log y$$

Para estudos de equações volumétricas, autores como MEYER (1941), cita que o erro padrão da estimativa (do resíduo) tende a variar com o tamanho das árvores, de forma proporcional.

4.2.4.4 Distribuição dos Resíduos

Ao final do processo de seleção dos modelos matemáticos, foi analisada a distribuição gráfica dos resíduos, com o objetivo de verificar se o modelo selecionado apresentava alguma tendência na estimativa da variável dependente o volume.

Azevedo (1993) cita que os resíduos obtidos pelo processo de ajustamento são importantíssimos dentro da metodologia de diagnóstico por observação. A grande vantagem do uso das técnicas gráficas é que elas, além de indicarem os problemas de heterogeneidade de variância, a não-linearidade dos modelos e a auto-correlação dos resíduos, indicam também a forma mais adequada de resolvê-los, como, por exemplo, a inclusão de novos componentes, o que pode melhorar, significativamente, um modelo. O resíduo é definido

como a diferença entre os valores observados e estimados ($\hat{e}_i = Y_i - \hat{Y}_i$). O resíduo padronizado é obtido como segue:

$$Res.Pad_i = \frac{e_i}{s_{yx}}$$

A partir das condições $e_i/\sigma \equiv N(0,1)$, é estabelecido um intervalo em que deverá estar a maioria das observações. Assim, pode-se dizer que, aproximadamente, 95% dos seus valores estarão entre -2 e 2 (MACHADO, 1989).

A existência ou não de tendenciosidade na estimativa do volume foi verificada, visualmente, pela distribuição gráfica dos resíduos, em percentagem [Res(%)], calculada assim:

$$Res (\%) = \frac{I_o - I_e}{I_o} * 100$$

4.2.4.5 Significância dos coeficientes

O teste de significância para os coeficientes indica, pelo teste t de Student, se o parâmetro β_j é significativo, isto é, se ele está influenciando, significativamente, a variável ingresso, em nível de probabilidade. A expressão do teste t é definida assim:

$$t = \frac{\beta_j - \beta_j}{s(\beta_j)}$$

Onde: $j = 1, 2, \dots, p$.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Estatística Descritiva dos Dados

A estatística descritiva teve como objetivo sumarizar e organizar os dados dos arquivos utilizados para testar as equações que estão apresentadas nas Tabelas 2 e 3. Foram realizadas análises de 121 árvores. Os DAPs mínimos e máximos da floresta primária foram respectivamente 48,5 e 122. As características básicas de DAP, altura e volume médios encontrados foram de 70,48 cm, 16,70 m e 5,27 m³ respectivamente (Tabela 3).

Tabela 2: Distribuição de árvores por classe diamétrica (10 cm em 10 cm)

Classe de Diâmetro	Nº de árvores
45,0-54,9	08
55,0-64,9	44
65,0-74,9	35
75,0-84,9	16
85,0-94,9	10
95,0-104,9	5
105,0 -114,9	2
115,0-124,9	1

Tabela 3: Estatística descritiva dos dados (Hc, DAP, V)

Variáveis	DAP (cm)	Hc (m)	V (m ³)
Média	70,48	16,79	5,27
Variância	29,50	2,52	1,11
Desv. Padrão	5,43	1,59	1,06
Erro Padrão	0,14	0,49	0,09
CV (%)	7,70	9,47	20,11
Máximo	122	27	16,10
Mínimo	48,5	8,0	1,43

DAP = Diâmetro à altura do peito, em cm; Hc = altura comercial de árvores, em m; V = volume do tronco em m³.

5.2 Resultados do ajuste dos modelos

Todos os indicadores de desempenho dos modelos testados foram utilizados neste trabalho, recomendados na literatura pertinente (ex: DRAPER e SMITH, 1996 e SANTOS, 1996). Como já foram testados modelos que já tinham bons desempenhos em outras situações e sítios, os coeficientes de correlação foram positivos e altamente significantes ($P < 0,0001$). A decisão para a escolha do melhor modelo foi baseada nos seguintes indicadores: coeficiente de determinação, desvio padrão da média em porcentagem ($S_{yx\%}$) e distribuição dos resíduos. Os coeficientes de regressão de cada modelo, juntamente com seus respectivos R^2 , desvio padrão da estimativa ($S_{yx\%}$) são apresentados na tabela 4.

Os dados da tabela 4 são referentes aos parâmetros estatísticos obtidos pelo ajuste da equação de volume com casca partindo de dados da cubagem, revelam que os sete modelos testados apresentam bom desempenho estatísticos quanto aos valores $R^2_{aj.}$, variando de 0,737 a 0,927 o que demonstra um alto grau de ajuste de descrição da variável dependente (volume) pelas variáveis independentes (DAP e altura).

Com relação ao S_{yx} , os valores variaram de 0,065 a 1,350. Ao final do processo de seleção dos modelos alométricos, fez-se a análise da distribuição gráfica dos resíduos, com o objetivo de verificar se o modelo selecionado apresentava alguma tendência na estimativa da variável dependente o volume, como pode ser observado a seguir.

Tabela 4: Estimativa dos coeficientes de regressão e medidas de precisão para os modelos ajustados.

<i>Equações</i>	<i>R</i>	<i>R_{aj.}²</i>	<i>S_{xy}</i>	<i>CV(%)</i>	<i>Syx(%)</i>
1. $V = -6,814 + 0,171 d$	0,875	0,765	1,350	145,51	25,61
2. $V = -10,214 + 0,158 d + 0,259 h$	0,940	0,883	0,958	145,05	18,59
3. $V = -2,451 + 0,006 dh$	0,880	0,775	1,322	153,41	25,08
4. $\ln V = -7,487 + 2,133 \ln d$	0,859	0,737	0,398	85,476	3,81
5. $\ln V = -7,487 + 2,133 \ln d + 0,882 \ln h$	0,963	0,927	0,222	47,053	4,21
6. $V = -0,000673 d^{2,0967}$	0,951	0,775	0,120	25,144	2,28
7. $V = -0,000071 d^{1,9731} h^{0,9794}$	0,948	0,757	0,065	13,575	1,23

5.2.1 Equações aritméticas

Foram testados e analisados três modelos aritméticos para estimar o volume de árvores em pé, na qual se teve como base os primeiros critérios de seleção, todas as equações lineares testadas obtiveram resultados muito próximos o que demonstra que todas atendem aos critérios de seleção dos modelos, apresentaram um bom coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{aj.2}$) igual a 0,775 à 0,883 e com erro padrão residual (S_{yx}) variando de 0,958 a 1,350 respectivamente.

5.2.2 Equações logarítmicas

Usando os mesmos critérios de seleção dos modelos lineares foram testados e analisados dois modelos logarítmicos para estimar o volume de árvores. Os resultados das equações logarítmicas também atenderam aos critérios de seleção exigidos, sendo eles os modelos 4 e 5 descritos na tabela 4, apresentando coeficientes de determinação ajustado ($R^2_{aj.2}$) igual a 0,737 e 0,927, sendo que apenas a equação 5 chegou próximos a 1 e o erro padrão residual (S_{yx}) corrigido ficou entre 0,398 e 0,222, desta forma pode-se comparar com outros modelos para determinar o melhor para região.

5.2.3 Equações não lineares

Já os modelos não lineares, apresentam resultados iguais para as duas equações testadas, os mesmos critérios de seleção utilizados pelas equações anteriores foram utilizados para analisar os resultados obtidos, que foram ($R^2_{aj.2}$) iguais 0,757 e 0,775 e o erro padrão residual (S_{yx}) igual a 0,065 e 0,120 respectivamente. Os dois modelos produzem resultados confiáveis e dentro do limite de erro de 10%. É importante ressaltar que a escolha dos sete modelos teve a finalidade de testar o melhor para determinar resultados precisos e confiáveis.

Qualquer modelo testado, utilizando DAP e H, obter-se-á uma alta e significativa correlação, um modelo que explica mais de 75% da variação de seus dados (r^2) e um erro padrão de estimativa aceitável. O padrão de hoje é o modelo que representa $r > 0,90$, $r^2 > 0,90$ e $S_{yx} (\%) < 10$. Além disso, o modelo tem que ter uma boa distribuição dos resíduos, que é a diferença entre os valores estimados e observados, positivos e negativos, tem que se distribuir uniformemente ao longo da curva (ou reta) estimada, ou seja, estas diferenças não podem aumentar (ou diminuir) conforme aumenta o tamanho da árvore (HIGUCHI *et al.*, 2005).

Como foram testados dois modelos logarítmicos e dois modelos não lineares, as comparações foram inevitáveis. Desta forma, houve a necessidade de calcular fatores de correção para os modelos logarítmicos. Inicialmente, os erros dos modelos logarítmicos foram corrigidos de acordo com Furnival (1961), Sprugel (1983) e Santos (1996). Nos três casos, o fator de correção é o exponencial ou anti-logaritmo da média dos valores transformados em logarítmico ou do erro ($S_{yx\%}$) e o erro corrigido é o erro estimado multiplicado por este fator (SILVA, 2007).

Fatores de correção:

- I) Índice de Furnival: $EPE * \exp(\ln V / n)$
- II) Sprugel: $(EPE) * \exp(EPE^2 / p)$; onde p = número de coeficientes;
- III) Santos: $(EPE) * \exp(QMR/2)$; onde QMR = quadrado médio dos resíduos

Na prática, os índices utilizados por Sprugel (1983) e Santos (1996) produziram o mesmo resultado. No quadro 1, além dos índices de Furnival, Sprugel e Santos, são apresentados também o EPE e a magnitude da diferença entre as metodologias.

Quadro 1: Fatores de correções para modelos logarítmicos e não lineares.

Modelo	Média	EPE	Furnival	Sprugel	Santos	Magn.
4	5,27	0,399	1,129	0,433	6252,635	7,64
5	5,27	0,223	0,598	0,226	4,478	8,45
6	5,27	0,120		0,121	0,289	4,56
7	5,27	0,065		0,065	0,084	2,47

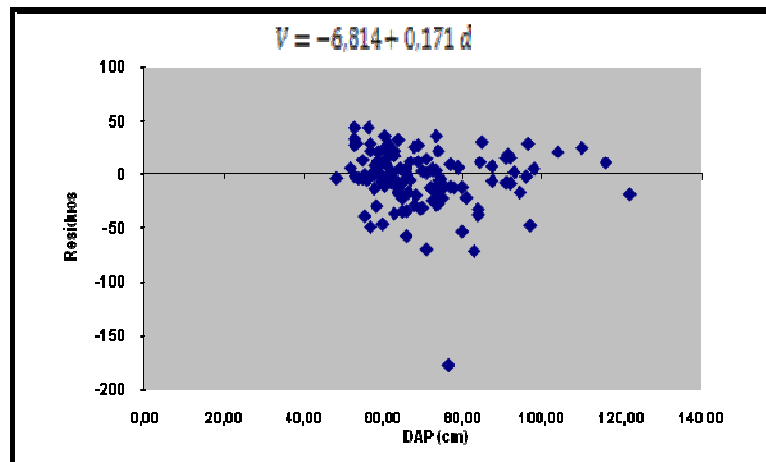
Média aritmética, EPE: erro padrão das estimativas, Magn. = magnitude em relação aos índices utilizados por Sprugel (1983) e Santos (1996).

Para Silva & Carvalho (1984), a inclusão da variável altura geralmente aumenta bastante a precisão das estimativas, porém aumenta os custos do levantamento e em certos casos, o aumento da precisão não é compensado. Trabalhos desenvolvidos pelo Laboratório de Manejo Florestal - LMF/INPA têm verificado que modelos de dupla entrada são mais precisos, do que os de simples entrada. Porém, na Amazônia a coleta da altura é complicada e na maioria dos casos são estimadas, provocando erros. Por isso, recomenda-se a utilização de modelos de simples entrada, no caso, somente o DAP, que é uma variável de fácil obtenção e mais precisa ser tomada. Facilita a coleta de dados, minimizando custos e tempo.

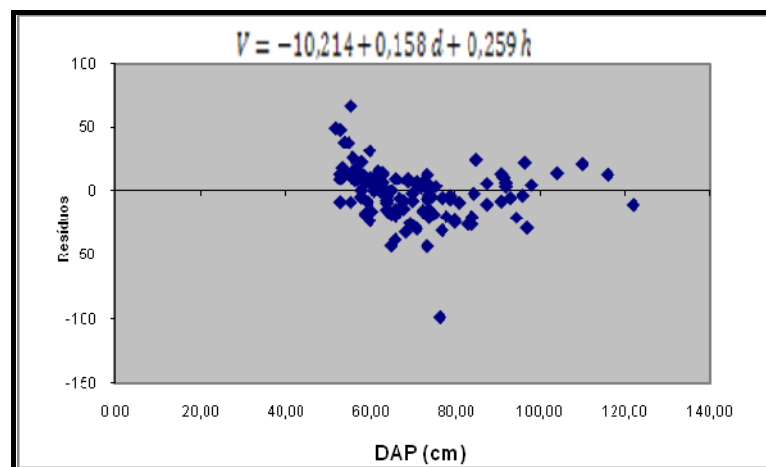
Para a escolha do melhor modelo, se faz necessária uma análise da distribuição dos resíduos que podemos ver a seguir:

5.2.4 Distribuição dos Resíduos

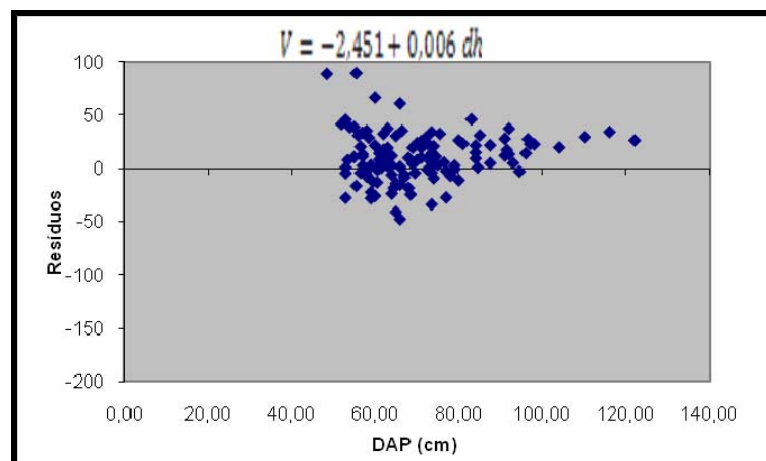
A)



B)

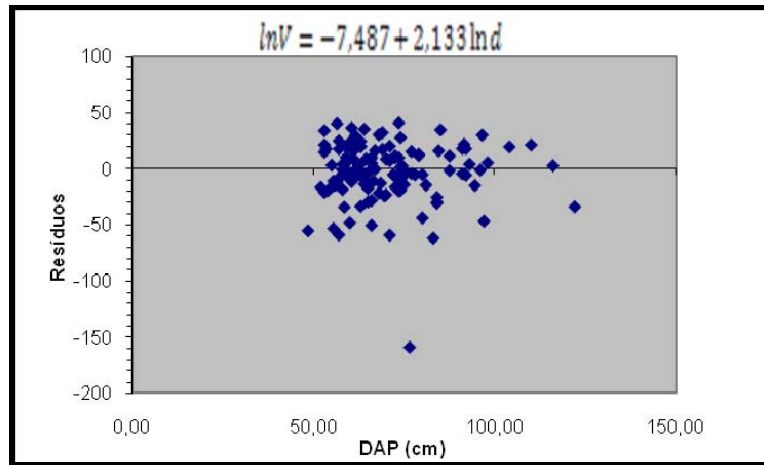


C)

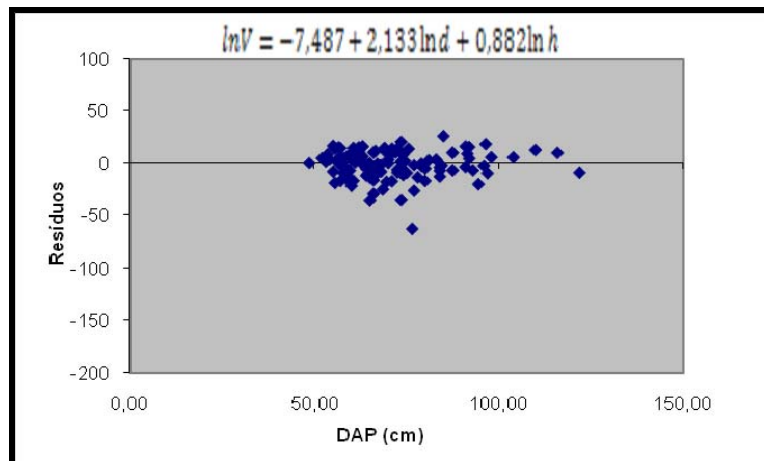


Cont. Figura 3:

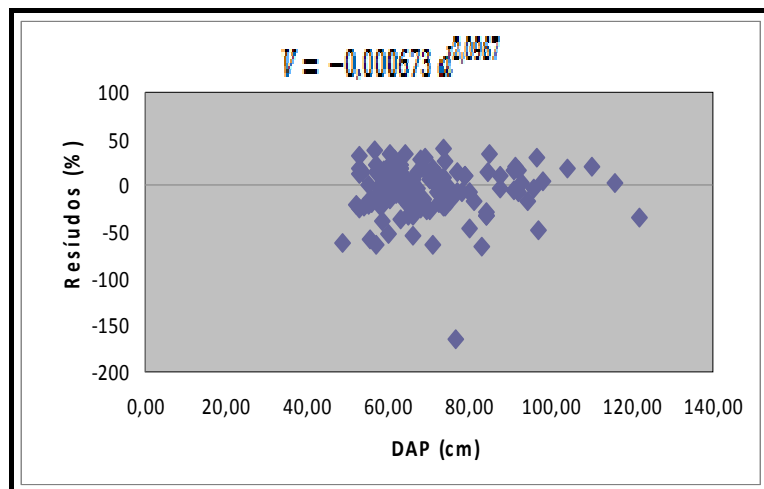
D)



E)



F)



Cont. Figura 3:

G)

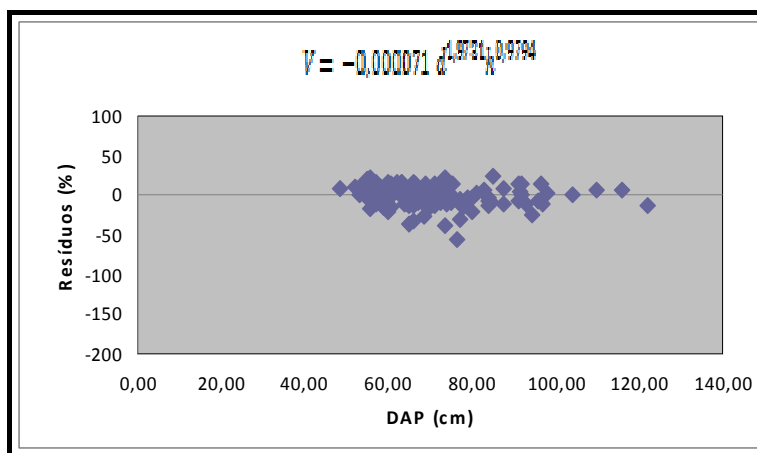


Figura 3: Distribuição gráfica dos resíduos em porcentagem.

Todos os modelos (figura 3) apresentam uma distribuição residual homogênea tanto para a parte superior e para parte inferior da linha de tendência central e também ao longo da mesma linha.

As equações logarítmicas e as não lineares testadas apresentaram erros ($S_{yx\%}$) inferiores a 10%. Desta maneira, todos os modelos testados estão habilitados para estimar o volume. Os modelos não lineares (com apenas DAP – D como variável independente) apresentaram coeficiente de determinação ($R_{aj.}^2$) igual a 0,757 e 0,775. Já os modelos aritméticos apresentaram ($S_{yx\%}$) superiores a 10%, ($R_{aj.}^2$) entre 0,7655 e 0,883 e os modelos logarítmicos ($R_{aj.}^2$) de 0,737 e 0,927.

Os valores obtidos na análise são semelhantes aos realizados por Fernandes *et al.* 1983, e por Salem *et al.*, 2000. Segundo Fernandes *et al.* 1983, que fizeram análises para a mesma região utilizando volumes com e sem casca, apresentam valores altos entre (R^2) 0,95 e 0,98, indicando uma alta correlação entre as variáveis dependentes e independentes, ou seja, volume, diâmetro à altura do peito e altura. Quanto ao erro padrão da estimativa ($S_{yx\%}$), a diferença entre as equações $V = a + b D^2 H$ e $V = a + b D^2 + c D^2 H + d H$, que são diretamente comparáveis, é nula para os volumes com casca e muito pequena para os volumes sem casca. Para Fernandes *et al.*, 1983, a melhor equação foi a de Schumacher ($V = a D^b H^c$). Outro trabalho, o de Salem *et al.*, 2000, obteve como resultado a equação de Schumacher com coeficiente de determinação (R^2) 0,9613 e um ($S_{yx\%}$) 35,55. Ambos os trabalhos escolheram a equação de Shumacher.

Baima *et al.* (2001) citam que ao aplicarem os critérios utilizados para a seleção das equações de simples entrada para o volume com casca, observou que as equações logarítmicas, atendeu melhor os requisitos estabelecidos em relação às equações aritméticas. No entanto, das quatro equações logarítmicas, a de Husch ($\ln = \beta_1 \ln d$), foi selecionada para o cálculo do volume, por atender todos os critérios de seleção.

Em relação ao erro padrão da estimativa ou coeficiente de variação, tanto para equação de simples entrada como de dupla entrada, pode-se considerar aceitável, quando comparado com outros trabalhos realizados (SOUZA *et al.*, 1990; MOURA, 1994).

Moura (1994), ao fazer um estudo comparativo de métodos para estimar volume das espécies da Floresta de Tapajós, determinou um fator de forma médio de 0,75, com oscilações entre 0,62 e 0,79 para 710 árvores distribuídas em 68 espécies, porém quando foi calculado para cada espécie, a variação foi mínima. O autor chamou a atenção a respeito dos inventários florestais na Amazônia, onde o fator de forma utilizado é 0,7, o qual pode proporcionar erro de -10,96 até +12,85%, quando são realizadas estimativas volumétricas.

Todos os modelos são altamente significantes. As distribuições dos resíduos de todos os modelos testados estão apresentadas na figura 3 (A a F). Quando se analisou a distribuição dos resíduos padronizados, observou-se que todas as equações apresentaram distribuição homogênea. Os modelos não lineares apresentaram erros baixos (inferior a 10%). Utilizando apenas o DAP nos modelos não lineares como variável independente, o $R_{aj.}^2 = 0,775$ e quando é acrescentada a altura o $R_{aj.}^2$ passa a ser igual a 0,757. Os modelos que foram utilizados apenas o DAP como variável dependente apresentaram bons indicadores e podem ser utilizados na região. Os modelos aritméticos e os não lineares têm desempenhos similares, mais devido aos critérios utilizados eles não são se enquadram devido o custo benefício.

De acordo com os dados observados os modelos que apresentam as melhores distribuições de resíduos são os modelos não lineares e os mais usados para determinação do volume são os seguintes:

$$1) V = -0,000673 d^{2,0967}$$

$$2) V = -0,000071 d^{1,9731} h^{0,9794}$$

Em um outro trabalho realizado por Silva (2007), para biomassa de floresta primária revela que os modelos logarítmicos com a variável independente DAP, o R^2 é igual a 0,97, e quando é acrescentada a altura total (HT), ou a comercial (H) ou a combinada (D^2HT), o R^2 passa a ser igual a 0,98. Os modelos de dupla entrada acrescentam apenas 1% da explicação da variação dos dados. Segundo Silva (2003), diminuir o erro do modelo (que é em torno de 6%) seria muito difícil e caro. Neste caso, a porção “custo” ficará mais pesada do que “benefício”.

Obtendo os melhores modelos e apresentando a melhor distribuição dos resíduos, sendo ambas não-lineares e tendo ambas, as medidas de precisão muito boa, se considerou um último critério de seleção que é a de menor dificuldade e menor custo nas medições de campo. A equação 7, por sua vez, necessita da variável independente a altura, que para tal caso esta variável nem sempre apresenta medidas exatas e os custos para esta é um pouco mais alto com relação a equação 6, onde só se trabalha com diâmetro a altura do peito (DAP), o qual é uma variável independente mais exata e o custo é muito menor. Utilizando apenas o DAP como variável dependente à coleta tende a ser mais rápida e o tempo para coleta dos dados mais curto.

Loestch *et al*, (1973) enfatizaram que, principalmente para as espécies tropicais, pode ocorrer que árvores com formas geométricas idênticas, com alturas diferentes, podem apresentar fatores de forma absolutos também diferentes.

Silva & Carvalho (1984), ao testarem quatro modelos para uma floresta secundária, em Belterra, mencionaram que a precisão obtida com os modelos de uma entrada foi inferior aos verificados com os modelos de dupla entrada. A inclusão da variável altura, em geral, aumenta consideravelmente a precisão das estimativas, porém pode tornar-se inviável economicamente, pelo aumento dos custos do levantamento. Santos (1996), ao estudar a estimativa da biomassa para uma floresta tropical na Estação de Silvicultura Tropical – INPA, em Manaus, cita que as equações que consideram tanto o diâmetro quanto a altura, produzem estimativas melhores em relação àquelas que consideram apenas o diâmetro.

Scolforo *et al*. (1998) ao estudarem as relações quantitativas para estimar o volume do fuste em Floresta Estacional Semidecídua Montana na Região de Lavras, Minas Gerais, chegaram à conclusão que é possível estimar o volume das espécies nativas com segurança utilizando equações de volume ou fatores de forma. Esses autores preferem equações de

volume em relação ao fator de forma, pois estas proporcionam o erro das estimativas médias bem menores em relação à média verdadeira.

Poucos trabalhos foram realizados em se tratando de Amazônia, no sentido de conhecer os volumes das espécies tropicais, embora alguns esforços tenham sido aplicados no estudo de volumetria de florestas e de algumas espécies, há necessidade de aumentar esse esforço, de modo a cobrir o maior número de espécies comerciais e de tipos florestais (BAIMA *et al.*, 2001).

Silva & Carvalho (1984), chamaram a atenção para a dificuldade na medição da variável altura, quando se trata de florestas tropicais. Por esse motivo, alguns autores recomendam a utilização de equações de volume de uma entrada, utilizando a variável diâmetro que, via de regra, pode ser medida com facilidade e relativa precisão. Os modelos de equação logarítmicos produzem melhores resultados quando comparados com os aritméticos. Porém, dependendo da natureza dos modelos testados há necessidade da utilização de índices mais apropriados para comparação entre os modelos. Um caso específico é mostrado por Poe eles, que recomendam o uso do índice de Furnival quando se deseja realizar comparações entre erros padrões de estimativas de equações logarítmicas e aritméticas, em função de suas unidades serem diferentes.

Ao se aplicar todos os critérios utilizados para a seleção das equações para o volume com casca de árvores em pé na região central de Manaus, observou-se que as equações não lineares (*modelos 6 e 7*), preencheram melhor os requisitos estabelecidos em relação às equações aritméticas e logarítmicas. No entanto, das duas equações não lineares testadas a selecionada foi $V = -0,000673 d^{2,0967}$, por preencher todos os critérios de seleção.

CONCLUSÃO

As equações obtidas para a Região Central da Amazônia (Tabela 4) são válidas para árvores distribuídas na faixa de tamanho compreendida entre 45 cm DAP < 115 cm, e para florestas da região com estruturas semelhantes.

Para o modelo de simples entrada (apenas o DAP como variável independente), o modelo $V = -0,000673 d^{2,0967}$ é o melhor. No caso de dupla entrada, o melhor modelo é o $V = -0,000071 d^{1,9731} h^{0,9794}$ (DAP e altura comercial). Levando em consideração os resultados dos modelos testados serem parecidos a escolha final pôde ser feita em função da praticidade de cada modelo.

Para o cálculo do volume de árvores em pé, a equação $V = -0,000673 d^{2,0967}$ é a mais indicada pela facilidade e maior precisão na mensuração da variável diâmetro.

BIBLIOGRAFIAS

ACTA AMAZÔNICA. 1998. *Estimativa de biomassa de sistemas agroflorestais das Várzeas do Rio Juba*. Cametá, Pará . 28 (2): 153-165. IBGE. Homepage: acta.inpa.gov.br

AHRENS, SÉRGIO. O “novo” Código Florestal Brasileiro: conceitos jurídicos fundamentais. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 8. Anais. São Paulo: SBS; Brasília, SBEF, 2003. 1 CD-ROM. 14 p.

AHRENS SERGIO. 1997. *Tópicos em Manejo Florestal Sustentável*. Colombo: EMBRAPA-CNPQ. P. 31-39. Curitiba. Homepage: www.ibap.org

AZEVEDO, C. P. 1993, *Predição da Distribuição Diamétrica de Povoamentos Florestais Inequiâneos pelo emprego da Matriz de Transição*. MG. BAIMA, A. M. V., SILVA, S. M. A., SILVA, J. N. M. *Equações de volume para floresta tropical de terra firme em Moju, PA*. 2001.

BAIMA, A. V.; SILVA, S.M.S.; SILVA, J.N.M. 2001. *Equações de volume para floresta tropical de terra firme em Moju, PA*. IN: SILVA, J.N.M.; CARVALHO, J.O.P.; YAREDE, J.A.G. (Eds). *A silvicultura na Amazônia Oriental: contribuições do projeto silvicultura tropical (Embrapa/DFID)*. Vol. 2. Embrapa Amazônia Oriental, Belém. P. 367-392.

CARNEIRO, V.M.C. 2004. *Composição florística e análise estrutural da floresta primária de terra firme na bacia do rio Cueiras, Manaus – AM*. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. 77p.

CHAUVEL, A. 1982. Os latossolos amarelos, álicos, argilosos dentro das bacias experimentais do INPA. *Acta Amazônica*, 12 (3): 47-60.

DRAPER, N. & SMITH, H. 1966. *Applied Regression Analysis*. John Wiley & Sons, Inc., EUA. 407 p.

FALESI, I.C. 1971. *Solos do Distrito Agropecuário da Suframa*. Bol. Instituto de Pesquisa e Experimentação Agropecuária da Amazônia Ocidental. Série: Solos. Vol. 1(1). Manaus-AM. 99p.

FERNANDES, N.P., JARDIM, F.C.S. E HIGUCHI, N. 1983. *Tabelas de volume para floresta tropical de terra-firme da Estação Experimental de Silvicultura Tropical*. Acta Amazônica, 13:537-545.

FERRAZ, J.; OHTA, S.; SALES, P.C. 1998. *Distribuição dos solos ao longo de dois transectos em floresta primária ao norte de Manaus (AM)*. In: Higuchi, N.; Campos, M.A.; Sampaio, P.T.B.; Santos, J. dos (Eds). INPA. P. 110-143.

FONTES, M. A. L. 1999. *Padrões alométricos em espécies arbóreas pioneiras tropicais..*

FREESE, F. 1964. *Linear regression methods for forest research*. U.S. Forest Service Research Paper – FPL 17. Madison, WIS. P. 1.

FURNIVAL, G. M. 1961. *An index for comparing equation used in construction volume tables*. For. Sciece. V.7, n. 4, p. 337-41,.

GISLAB/INPA.2001. *Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – Laboratório de Geo Info Sistemas (GISLAB)*. Homepage: www.inpa.gov.br

HAEMIG, P. D. 2005. *Leyes de la Ecología Poblacional*. Ecologia. INFO. N 23.

HEINSDIJK, D.; BASTOS, A. M. 1963. *Inventários Florestais na Amazônia*. Rio de Janeiro, 100p. (Serviço Florestal)

HIGUCHI, N.; SANTOS, J.; RIBEIRO, J.R.; FREITAS, J. V.; VIEIRA, G.; COIC, A. MINETTE. 1977. *Crescimento e incremento de uma floresta amazônica de terra-firme manejada experimentalmente*. BIONTE Relatório Final. INPA-DIFID.

HIGUCHI, N.; GOMES, B. SANTOS, J. DOS; CONSTANTINO, N.A. 1979. *Tabela de volume para povoamento de Eucalyptus grandis plantado no município de Várzea Grande (MT)*. Revista Floresta. Vol. X, p.43-47.

HIGUCHI, N.; JARDIM, F.S.C.; SANTOS, J. DOS; BARBOSA, A.P.; WOOD, T.W.W. 1985. *Bacia 3 - Inventário florestal comercial*. Acta Amazônica, 15 (3-4): 327-369.

HIGUCHI, N. & RAMM, C. W. 1985. *Developing bole Wood volume equations for a group of tree species of Central Amazon (Brazil)*. Commonwealth Forestry Review, 64(1):33-41.

HIGUCHI, N.; SANTOS, J. DOS; RIBEIRO, R. J.; FREITAS, J. V.; VIEIRA, G.; COIC, A.; MINETTE, L. J. 1997. *Crescimento e incremento de uma floresta amazônica de terra firme manejada experimentalmente*. In: INPA e DFID (Eds.). Relatório final do Bionte, p. 89-132.

HIGUCHI, N.; SANTOS, J. dos; RIBEIRO, J.R.; MINETTE, L.; BIOT, Y. 1998. *Biomassa da parte aérea da floresta tropical úmida de terra firme da Amazônia Brasileira*. Acta Amazônica 28 (2):153-166.

HIGUCHI, N., CARVALHO JR., J.A. 1994. *Fitomassa e conteúdo de carbono de espécies arbóreas da Amazônia*, 125-153. In: SEMINÁRIO EMISSÃO x SEQUESTRO DE CO₂. Rio de Janeiro. **Anais**..... Rio de Janeiro: CVRD, 1994.

HIGUCHI, N., SANTOS, J., SAMPAIO, P. T. B., MARENCO, R. A., FERRAZ, J., SALES, P. C., SAITO, M. e MATSUMATO, S. 2003. *Projeto Jacaranda Fase II: Pesquisas florestais na Amazônia Central*. HIGUCHI, N. (editora). 252 p.

HIGUCHI, N. SANTOS, J. TRIBUZY, E.S.; LIMA, A.N.; TEIXEIRA, L. M.; CARNEIRO, V. M. C.; FELSEMBURG, C. A.; PINTO, F. R.; SILVA, R. P.; PINTO, A. C. M. 2005. *Noções Básicas sobre Manejo Florestal*. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. CPST/LMF. Manaus (AM) - Brasil.

HOFFMANN, R. VIEIRA, S. 1987. *Análise de regressão – Uma introdução a econometria*. São Paulo, Hucitec, 379 p.

HUSCH, B.; MILLER, C. I.; BEERS, T.W. 1972. *Forest mensuration*. 2 ed. New York: The Ronald Press Company, 410 p.

HUMMEL, A.C. 2003. *Normas de acesso ao recurso florestal na Amazônia Brasileira: o caso do manejo florestal madeireiro*. Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-graduação em Ciências Florestais do INPA.

INMET, 1992. *Normas Climatológicas*. Instituto Nacional de Meteorologia. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, 84p – Brasília.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2003. *Desflorestamento na Amazônia*. Homepage: www.inpe.br/ology and Management, 89: 59-77.

JOHNS *et al.*, 1996. *Logging damage in planned and unplanned logging operation and its implications for sustainable timber production in the eastern Amazon*. Forest Ecology and Management 89: 59-77

LEI 7511/1986 regulamentada pela Portaria 486/86 – P.

LOESTSCH, F.; ZOHRER, F.; HALLER, K. E. 1973. *Forest inventory*. Reinbek: Federal Research Organization for Forestry and Forest Products, Forest Inventory Section, 469p. v. 2.

MACHADO, A. A. 1989. *Curso: Diagnóstico em regressão linear*. Lavras: ESAL. 73 p.

MACHADO, S. A.; CONCEIÇÃO, M. B.; FIGUEIREDO, D. J. 2002. *Modelagem do volume individual para diferentes idade e regimes de desbaste em plantações de Pinus oocarpa*. Ciências Exatas e Naturais, Curitiba, v. 4, n. 2, p. 185-196,

MARTINI *et al.* 1993. *Espécies madeireiras: primeira tentativa de avaliar a resistência aos impactos da exploração*. Ciência Hoje, 16 (93): 11-13.

MEYER, H. A. 1941. *A correction for a systematic errors occurring in the application of the logarithmic volume equation*. Pennsylvania: Forestry School Research, 15p. (Forestry School Research Paper; 7)

MIRANDA, E.V. DE 2002. *Padrão de desenvolvimento radial horário do fuste de três espécies florestais típicas da Amazônia utilizando dendômetros automáticos*. Dissertação de Mestrado, Instituto nacional de Pesquisa da Amazônia. 75p.

MMA/IBAMA, 2000. *Processamento e Comercialização de madeira e produtos da madeira*. Brasília, 37p. Homepage: www.greenpeace.org.br

MOURA, J.B. 1994. de. *Estudo da forma do fuste e comparação de novos estudos de estimativa volumétrica de espécies florestais da Amazônia brasileira*. Curitiba: UFPR. 113p. Dissertação de Mestrado.

NEPSTAD, D.C., A. VERÍSSIMO, A. ALENCAR, C. NOBRE, E. LIMA, P. LEFEBVRE, P. SCHLESINGER, C. POTTER, P. MOUTINHO, E. MENDONZA. M. COCHRANE & V. BROOKS. 1999. *Large-Sale Impoverishment of Amazonian Forests by logging and fire*. *Nature*. 398:505-508.

NIKLAS, K. J. 1994. *Plant Allometry: The Scaling of Form and Process*. The University of Chicago Press. Chicago. 395 p.

PAULA NETO, F. 1975. *Construction of standard volume table for Eucalyptus saligna in the iron region of Brasil*. Lafayette. 101 p. Tese (Ph.D). Purdue University.

PRODAN, M. 1968. *Forest biometrics*. New York: Pergamon Press, 447p.

RADAMBRASIL. 1978. *Programa de Integração Nacional. Levantamento de Recursos Naturais*. V.18 (Manaus) – RADAM (Projeto) DNPM, Ministério das Minas e Energia. Brasil. 626p.

RANZANI, G. 1980. *Identificação e caracterização de alguns solos da Estação Experimental de Silvicultura Tropical do INPA*. *Acta Amazônica*, 10:7-41.

RIBEIRO, J.R. 1996. *Estudos de função de forma para espécies florestais de terra firma da Amazônia Central*. Dissertação de Mestrado, INPA – FUA Manaus, AM. 78 p.

SANTANA, O. A.; ENCINAS, J. I. 2004. *Equações volumétricas para uma plantação de Eucalyptus urophylla destinada a produção de lenha*. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE MANEJO FLORESTAL, 3. **Anais...**Santa Maria: UFSM/PPGEF, p. 107-111.

SANTOS, J. 1993. *Exame de qualificação*. Universidade Federal Viçosa, MG. 35 p.

SANTOS, J. DOS. 1996. *Análise de Modelos de Regressão para Estimar a Fitomassa da Floresta Tropical Úmida de Terra-firme da Amazônia Brasileira*. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Viçosa, 121 p.

SMITH, P. B. 1977. *Determinação indireta da relação hipsométrica para povoamentos de Pinus taeda. L.* Curitiba: UFPR, 102p. Tese de Mestrado.

SCOLFORO, J. R.S. 1998 ; *Modelagem de crescimento e da produção de florestas plantadas e nativas*. Lavras: UFLA/FAEPE, 441p.

SILVA, J. A. A.; PAULA NETO, F. DE; BRANDI, R. A.; CONDÉ, A. R. 1978. *Análise de Modelos volumétricos para construção de tabelas de volume comercial de Eucalyptus spp. segundo a espécie, a região e os métodos de regeneração*. Rev. Árvore, 2 (1).

SILVA, J. N. M. 1980. *Relação hipsométrica de espécies da Floresta Nacional de Tapajós*. Belém: EMBRAPA – CPATU, 2p. (EMBRAPA – CPATU – Pesquisa em andamento).

SILVA, J. N. M.; CARVALHO, M. S. P. 1984. *Equações de volume para uma floresta secundária no planalto do Tapajós, Belterra – Pará*. Boletim de Pesquisa Florestal, 8-9:1-15.

SILVA, R. P. 2007. *Alometria, estoque e dinâmica da biomassa de florestas primárias e secundárias na região de Manaus (AM)*. Manaus: Tese de Doutorado, INPA/UFAM.

SOUZA, A. L.; JESUS, R. M. 1990. *Equações de volume comercial e fator de forma para espécies da Mata Atlântica ocorrentes na Reserva Florestal da Companhia Vale do Rio Doce*. ES. Revista Árvore, 15 (3) : 257-273.

SPRUGEL, D. G. 1983. *Correcting for bias in log – transformed allometric equations*. Ecology. V. 64, p. 209-210.

EMBRAPA-CNPQ, p. 31-39. (EMBRAPA CNPQ. Documentos, 34).

THOMAS, C.; ANDRADE, C.; SCHNEIDER, P.; FINGER C.; 2006. *Comparação de equações volumétricas ajustadas com dados de cubagem e análise de tronco*.

Anexo 1: Relação das espécies estudadas na Estação Experimental de Silvicultura Tropical (E.E.S.T.) - ZF-2 - Região Central de Manaus

Ordem	Espécie	Nome Científico	Nº indivíduos
1	amapá	<i>Brosimum guianense</i>	25
2	angelim pedra	<i>Hymenolobium heterocarpum</i> Ducke	2
3	angelim rajado	<i>Pithecellobium incuriale</i>	3
4	angelim vermelho	<i>Dinizia excelsa</i> Ducke	3
5	araçá	<i>Psidium densicomum</i>	1
6	arurá branco	<i>Osteophloeum platyspermum</i>	7
7	arurá vermelho	<i>Iryanthera paraensis</i> Huber	7
8	breu branco	<i>Protium paniculatum</i>	3
9	breu vermelho	<i>Protium decandrum</i>	3
10	castanha sapucaia	<i>Lecythis zabucajo</i>	2
11	cedrinho	<i>Cedrela odorata</i>	2
12	cumarú	<i>Dipteryx speciosa</i>	2
13	cumarurana	<i>Dipteryx trifoliata</i>	1
14	jacareúba	<i>Calophyllum lucidum</i>	1
15	louro amarelo	<i>Ocotea cymbarum</i> Kunth	1
16	louro aritú	<i>Licaria aritu</i>	7
17	louro gamela	<i>Ocotea rubra</i>	15
18	louro itaúba	<i>Mezilaurus itauba</i>	3
19	louro preto	<i>Licaria cannella</i>	9
20	maçaranduba	<i>Manilkara inundata</i>	4
21	mandioqueira	<i>Qualea glaberrima</i>	3
22	pau rosa	<i>Aniba rosaeodora</i>	1
23	piquiá marfim	<i>Aspidosperma desmanthum</i> Benth	5
24	piquiarana	<i>Caryocar glabrum</i>	2
25	sucupira amarela	<i>Hymenolobium petraeum</i>	2
26	sucupira vermelha	<i>Qualea paraensis</i>	6
27	tauari vermelho	<i>Cariniana decandra</i>	2
Total geral			121