



**Poder Executivo**  
**Ministério da Educação**  
**Universidade Federal do Amazonas**  
**Faculdade de Ciências Agrárias**  
**Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ciências**  
**Florestais e Ambientais - PPGCIFA**



**BALANÇO DO VOLUME DE MADEIRA PRÉ E PÓS-EXPLORATÓRIO DE  
PLANO DE MANEJO FLORESTAL EMPRESARIAL NA AMAZÔNIA  
CENTRAL**

SILVYA KATRINNE SANTANA DE MORAES

MANAUS – AM

2020

SILVYA KATRINNE SANTANA DE MORAES

**BALANÇO DO VOLUME DE MADEIRA PRÉ E PÓS-EXPLORATÓRIO DE  
PLANO DE MANEJO FLORESTAL EMPRESARIAL NA AMAZÔNIA  
CENTRAL**

Orientador: Dr. Adriano José Nogueira Lima

Coorientador: Dr. Alberto Carlos Martins Pinto

Fonte financiadora: Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas -  
FAPEAM

Dissertação de mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais – PPGCIFA da Universidade Federal do Amazonas – UFAM, como parte dos requisitos para a obtenção do título de mestre em Ciências Florestais e Ambientais, área de concentração em manejo florestal.

MANAUS – AM

2020

## Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

M827b Moraes, Silvy Katrinne Santana de  
Balço do volume de madeira pré e pós-exploratório de palmo de  
manejo florestal empresarial na amazônia central / Silvy Katrinne  
Santana de Moraes . 2020  
65 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Adriano José Nogueira Lima  
Coorientador: Alberto Carlos Martins Pinto  
Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) -  
Universidade Federal do Amazonas.

1. cubagem rigorosa. 2. equação volumétrica. 3. manejo florestal.  
4. volume de madeira. I. Lima, Adriano José Nogueira. II.  
Universidade Federal do Amazonas III. Título

## **AGRADECIMENTOS**

Gratidão a Deus pelo dom da vida e nossa senhora por iluminar meus caminhos.

Aos meus pais Maria do Socorro Alves Santana e Raimundo Nonato Martins de Moraes que são os grandes incentivadores não somente nesta etapa da minha vida, mas como em todas já vividas.

Ao meu companheiro Jardel Rodrigues por toda a paciência e apoio durante este período.

Os meus orientadores Adriano Lima e Alberto Pinto por aceitarem me orientar durante esta caminhada e por toda a atenção, apoio e incentivo para a realização desta pesquisa.

Ao Laboratório de Manejo Florestal do INPA – LMF por toda a assistência disponibilizada e aos amigos da ZF – 2 pelo apoio durante minha coleta de campo.

À todos os colegas da turma 2018/02 pelo companheirismo durante esta trajetória.

À Universidade Federal do Amazonas (UFAM) e ao Programa de Pós - Graduação em Ciências Florestais e Ambientais (PPG-CIFA) pela oportunidade de realização do mestrado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) pela concessão da bolsa.

À todos que de forma direta ou indireta contribuíram para a realização deste trabalho.

## RESUMO

A legislação florestal estabelece a obrigatoriedade de empresas que realizam Manejo Florestal Sustentável na Amazônia de apresentar um volume comparativo por meio de equação volumétrica entre o volume licenciado e o explorado. Empresas que trabalham com manejo florestal apresentam diferenças acentuadas de volume licenciado com volume produzido, influenciando a sustentabilidade do manejo florestal sustentável e viabilidade econômica. Esta pesquisa teve como objetivo estudar a influência de diferentes métodos de estimativa de volume de madeira em um plano de manejo florestal empresarial no estado do Amazonas. A coleta de dados foi realizada na área de manejo florestal da empresa Mil Madeiras Preciosas. Foram aplicados três diferentes métodos para a cubagem rigorosa das toras: método combinado (Smalian e Hohenadl), Smalian e Huber e a equação que utiliza o fator de forma 0,7 e assim comparado com as estimativas obtidas por uma equação de volume utilizada pela empresa. Foram cubados 103 indivíduos divididos em 19 espécies. Além da comparação entre as formas de se obter o volume de uma árvore, os dados da cubagem foram utilizados para gerar uma nova equação de volume para a área manejada. Na cubagem rigorosa foram coletados os diâmetros das várias seções e a altura comercial de cada tora. As médias de DAP e altura comercial foram de  $69,9 \pm 2,8$  cm e  $15,2 \pm 0,7$  m respectivamente. O volume total cubado foi de  $478,61 \text{ m}^3$  com volume médio de  $4,65 \pm 0,44 \text{ m}^3/\text{tora}$ . Houve pouca variação dos volumes médios obtidos pelos diferentes métodos testados e a equação que utiliza o fator de forma 0,7. O método de Smalian apresentou o menor desvio -  $0,28 \pm 4,28$  % comparado aos demais métodos de cubagem enquanto que a equação que utiliza o fator de forma 0,7 apresentou o maior desvio. De maneira geral, a equação utilizada pela empresa superestima em sua grande maioria todas as formas de obtenção de volume utilizadas na pesquisa. A análise de variância entre os métodos de cubagem e a equação que utiliza o fator de forma médio 0,7, apresentou fortes evidências de que há diferença entre as médias de volume.

**Palavras chave:** cubagem rigorosa, equação volumétrica, manejo florestal, volume de madeira.

## ABSTRACT

The forestry legislation establishes the obligation of companies that carry out Sustainable Forest Management in the Amazon to present a comparative volume by means of a volumetric equation between the licensed volume and the explored volume. Companies that work with forest management present marked differences in licensed volume with volume produced, influencing the sustainability of sustainable forest management and economic viability. This research aimed to study the influence of different methods of estimating the volume of wood in a business forest management plan in the state of Amazonas. Data collection was carried out in the forest management area of the company Mil Madeiras Preciosas. Three different methods were applied for the strict cubing of logs: combined method (Smalian and Hohenadl), Smalian and Huber and the equation that uses the form factor 0,7 and thus compared with the estimates obtained by a volume equation used by the company, 103 individuals were divided, divided into 19 species. In addition to comparing the ways to obtain the volume of a tree, the cubing data was used to generate a new volume equation for the managed area. In rigorous cubing, the diameters of the various sections and the commercial height of each log were collected. The mean DBH and commercial height were  $69,9 \pm 2,8$  cm and  $15,2 \pm 0,7$  m respectively. The total cubed volume was  $478,61 \text{ m}^3$  with an average volume of  $4,65 \pm 0,44 \text{ m}^3/\text{log}$ . There was little variation in the average volumes obtained by the different methods tested and the equation that uses the 0,7 form factor. The Smalian method showed the smallest deviation –  $0,28 \pm 4,28\%$  compared to the other cubing methods, while the equation that uses the 0,7 form factor presented the largest deviation. In general, the equation used by the company mostly overestimates all forms of obtaining volume used in research. The analysis of variance between the cubing methods and the equation that uses the average form factor 0,7, presented strong evidence that there is a difference between the volume averages.

**Keywords:** rigorous cubing, volumetric equation, forest management, wood volume.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01. Formas geométricas associadas aos tipos de fustes de árvores.....	20
Figura 02. Esquema ilustrativo da cubagem pelo método de Hohenadl de 5 seções .....	24
Figura 03. Mapa de localização da área do projeto Mil Madeiras .....	27
Figura 04. Corte direcional. a) base com presença de sapopemas e b) base retilínea ....	30
Figura 05. A) Guinchamento de tora (pré-arraste) e b) Toras na trilha de arraste .....	31
Figura 06. Disposição das UT's na UPA SBT.....	32
Figura 07. Método combinado. a) Mensuração das extremidades b) Mensuração das seções com a suta c) Divisão do comprimento da tora em 10 partes de mesmo comprimento e d) Leitura do diâmetro em cada seção.....	34
Figura 08. Esquema do método de cubagem não rigorosa (método geométrico): a) e b) Medição dos diâmetros nas duas extremidades da tora (base e topo); c) e a medição do comprimento da tora em metros.....	36
Figura 09. Mensuração do diâmetro no ponto médio da seção pelo método de Huber..	37
Figura 10. Espécies amostradas.....	43
Figura 11. Estimativa de volume absoluto por espécies obtidas pelos três métodos utilizados no estudo .....	45
Figura 12. Distribuição residual para as estimativas de volume pelos diferentes métodos de cubagem.....	49
Figura 13. Intervalos de confiança entre os métodos de cubagem testados e o uso do fator de forma médio para estimativas de volume obtidas pela equação de volume utilizada pela empresa .....	50
Figura 14. Desvios (%) para o volume médio de toras por método de cubagem: Combinado (Hohenadl-Smalian), Geométrico, Huber e fator de forma 0,7 para árvores agrupadas em três classes de comprimentos.....	53
Figura 15. Distribuição gráfica de resíduos para o volume estimado pelas equações de simples entrada .....	56
Figura 16. Distribuição gráfica de resíduos para volume estimado pelas equações de dupla entrada.....	57
Figura 17. Dispersão dos volumes em função do diâmetro a altura do peito (DAP) .....	58

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Histórico de atividades da Mil Madeiras Preciosas Ltda.....	28
Tabela 2. Escala probabilísticas adaptada do relatório do IPCC (2010). .....	39
Tabela 3. Modelos testados para o ajuste de equações.....	40
Tabela 4. Indivíduos por espécie que foram amostrados no estudo .....	42
Tabela 5. Valores mínimos, máximos e médios das variáveis DAP e altura comercial das espécies amostradas.....	43
Tabela 6. Frequência de árvores-amostras por classes de DAP e altura comercial.....	44
Tabela 7. Volume ( $m^3$ ) por espécie, obtidos pelos métodos de cubagem e fator de forma médio 0,7, e seus respectivos desvios (%). .....	46
Tabela 8. Volumes ( $m^3$ ) mínimos, médios e máximos pelos métodos de cubagem, fator de forma médio 0,7 e seus respectivos desvios em relação ao volume obtido pela equação utilizada pela empresa. ....	48
Tabela 9. Volume médio ( $m^3$ ) por classe de diamétrica, obtidos pelos métodos de cubagem e respectivos desvios em %.....	52
Tabela 10. Coeficientes dos modelos ajustados .....	55
Tabela 11. Comparação entre o volume pré-exploratório com o volume efetivamente produzido obtidos pelos diferentes métodos de cubagem utilizados no estudo .....	59

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1: Análise de variância (ANOVA) para os métodos de cubagem .....	66
---	----

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ANOVA – Análise de variância  
AMF – Área de Manejo Florestal  
CELOS – Centro de Pesquisa Agrícola do Suriname  
CERFLOR – Programa Brasileiro de Certificação Florestal  
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente  
DAP – Diâmetro à Altura do Peito  
DIC – Delineamento Inteiramente Casualizado  
DMC – Diâmetro Mínimo de Corte  
FSC – Forest Stewardship Council  
IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis  
IFC – Inventário Florestal Contínuo  
INMET – Instituto Nacional de Meteorologia  
INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia.  
OIMT/ITTO – Organização Internacional de Madeiras Tropicais  
LO – Licença de operação  
MF – Manejo Florestal  
PEFC – Programa para o Reconhecimento da Certificação Florestal  
PMF – Plano de Manejo Florestal  
POA – Plano Operacional Anual  
PWA – Mil Madeiras Preciosas  
SBT – São Sebastião  
UC – Unidade de Campo  
UPA – Unidade de Produção Anual  
UT – Unidade de Trabalho

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	13
2.	OBJETIVO GERAL.....	15
2.3	Objetivos específicos .....	15
2.4	Hipóteses.....	15
2.5	Problemática .....	15
3.	REVISÃO DE LITERATURA .....	17
3.1.	Legislação florestal .....	17
3.2.	Volumetria de madeira.....	19
3.2.1.	Métodos de determinação do volume.....	21
3.2.2.	Principais métodos diretos para cubagem de volume em tora.....	21
3.2.3.	Principais métodos indiretos para determinação do volume .....	25
3.2.3.2.	Equações volumétricas .....	25
3.2.3.3.	Fator de forma.....	26
4.	MATERIAL E MÉTODOS.....	27
4.1.	Área de estudo .....	27
4.1.1.	Histórico da área de estudo (Mil Madeiras Preciosas) .....	28
4.2.	Caracterização da área .....	29
4.3.	Descrição das etapas de manejo.....	29
4.3.1.	Inventário florestal.....	29
4.3.2.	Exploração florestal.....	30
4.4.	Coleta de dados .....	31
4.4.1.	Definição da área .....	31
4.4.2.	Seleção dos indivíduos .....	32
4.5.	Cubagem das árvores e métodos utilizados para comparação .....	33
4.5.1.	Combinação dos métodos de Smalian e Hohenadl.....	33
4.5.2.	Método Smalian (geométrico).....	35
4.5.3.	Método de Huber .....	36
4.5.4.	Base de referência.....	37
4.5.5.	Comparação dos métodos.....	38
4.6.	Equação de volume .....	39
4.7.	Volume pré-exploratório x volume efetivamente produzido.....	40
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	42
5.1.	Análise descritiva dos dados.....	42
5.1.1.	Árvores cubadas .....	42
5.1.2.	Caracterização dos dados.....	43
5.1.3.	Estimativas de volume.....	44

5.2.	Comparação dos métodos de cubagem e fator de forma médio 0,7 .....	45
5.2.1.	Comparação entre classes de diâmetro .....	51
5.2.2.	Comparação entre classes de comprimento (altura comercial) .....	52
5.3.	Equações de volume .....	54
5.4.	Comparação entre volume licenciado e o efetivamente produzido .....	58
6.	CONCLUSÃO.....	60
7.	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	61
8.	APÊNDICES .....	64

## 1. INTRODUÇÃO

A diversidade florística das florestas amazônicas é reconhecida mundialmente. O número exato de espécies ainda não é factível de ser apresentado, primeiramente por conta do esforço de coletas que ainda é pouco, e as constantes evoluções tecnológicas na identificação fazem com que esse valor se altere com relativa frequência. Mesmo assim, é razoável afirmar que há entre 700 e 1.000 espécies de árvores na floresta (ter Steege et al. 2013; Higuchi, 2015). O mercado de madeira tropical, geralmente, concentra-se em poucas espécies e grandes volumes, resultado da dificuldade em inserir novas espécies no mercado externo (Sabogal, 2005). Historicamente, as principais espécies consumidas no Amazonas eram de florestas alagadas (várzeas) com as espécies de baixa densidade como *Ceiba pentandra* (sumaúma) e *Hura crepitans* (assacú). Com a superexploração, o mercado passou a demandar madeira dura (alta densidade), originada de florestas de terra firme que até então não eram espécies desejadas para este mercado.

De acordo com a Revisão anual do mercado de madeira tropical (2018) da Organização Internacional de Madeira Tropical – ITTO, nos anos de 2017 e 2018, os países com maior destaque para produção de madeira em tora foram Indonésia, Índia e o Brasil ocupando a terceira posição neste ranking, seguido de Vietnã e Malásia que juntos produziram cerca de 253,1 milhões de m<sup>3</sup>. O Brasil contribuiu com cerca de 29,2 milhões de m<sup>3</sup> de madeira tropical em tora produzida, esta produção está concentrada na região Amazônica e têm os estados Pará, Amazonas e Mato Grosso como maiores produtores de madeira em tora (Almeida et al., 2010). Diante deste cenário é evidente que o conhecimento dos estoques de volume torne uma ferramenta providencial, na elaboração eficiente do planejamento das atividades do setor a curto, médio e longo prazo (SOARES *et al.*, 2007).

Quando pensamos em determinar a volumetria de uma floresta (estoques) o fator “alta diversidade de espécies na Amazônia” se torna um empecilho, uma vez que a volumetria da floresta é parte fundamental para o manejo e aproveitamento dos recursos florestais de maneira coerente (Thaines et al., 2010). Como também as inúmeras variedades de formas de fustes causam impactos consideráveis na determinação da volumetria das florestas tropicais na Amazônia (Lansanova et al. 2013). E para dificultar mais esta situação a principal variável de um plano de manejo está sendo determinada de forma inadequada. Esta variável é estimada empregando-se o cálculo do

volume com casca pela fórmula do volume do cilíndrico, corrigido pelo fator de forma de 0,7 recomendados por Heinsdjik & Bastos (1963), onde este é um valor médio para todas as espécies da Amazônia. Porém, a variável volume ainda é obtida de forma inadequada, enquanto são comprovados a existência de métodos confiáveis e transparentes para gerar esta informação por meio de equações alométricas de volume (madeira em pé), método do xilômetro, cubagem rigorosa e funções de afilamento (madeira produzida) (Murta Júnior et al., 2015).

Com o avanço das questões florestais, as equações de volume de madeira tornaram-se uma ferramenta obrigatória para a estimativa dos estoques de madeira dos planos de manejo (Ribeiro et al., 2014). Com a Resolução CEMAAM n° 30 de 31/10/2018 em concordância com a Resolução CONAMA n° 406 de 02/02/2009, todos os planos de manejo, deverão apresentar o volume comercial de árvores em pé, por meio de equações volumétricas desenvolvidas para a área manejada a partir do segundo POA - Plano Operacional Anual.

Sabe-se que equações volumétricas ajustadas para a própria área, refletem em melhor precisão das estimativas de volume uma vez que estão respeitando as regras da estatística, evitando contrariedades como: colineariedade, dados heterogêneos e dados não normais. E assim, melhorar a precisão do cálculo de volume com estimativas mais próximas do real da floresta (Ribeiro et al., 2014).

Tendo em vista este cenário problemático diante das questões relacionadas as estimativas dos estoques de madeira, esta pesquisa tem como objetivo realizar cubagem rigorosa por diferentes métodos e por meio da cubagem ajustar equações de regressão para volume de madeira, logo comparar as informações geradas do inventário pré-exploratório com as informações geradas da cubagem e comparar os dados estimados pela equação gerada com os dados da cubagem rigorosa e ao final realizar uma análise comparativa entre os dados.

## 2. OBJETIVO GERAL

Estudar a influência de diferentes métodos de estimativa de volume de madeira em um plano empresarial no estado do Amazonas.

### 2.3 Objetivos específicos

- i. Comparar as estimativas pré-exploratório (equação) com os métodos Smalian (geométrico), combinado (Smalian e Hohenadl) e Huber;
- ii. Ajustar uma equação para a área manejada; e
- iii. Comparar a volumetria obtida no Plano Operacional Anual – POA e a quantidade produzida (madeira cubada).

### 2.4 Hipóteses

- i. Há diferenças acentuadas no volume estimado por meio de equação com fator de ajuste no inventário florestal pré-exploratório quando comparado ao obtido pela cubagem rigorosa (combinação dos métodos Smalian e Hohenadl), Smalian (método geométrico) e Huber;
- ii. O ajuste de uma nova equação para área representará melhor representar a relação entre volume real (pré-exploratório) e volume estimado (pós-exploratório), reduzindo diferenças acentuadas nas estimativas de volume e consequentemente desperdícios e prejuízos econômicos.
- iii. Há diferenças acentuadas no volume estimado pelo inventário florestal no Plano de Manejo e o efetivamente produzido.

### 2.5 Problemática

Como parte das atividades de manejo florestal sustentável, a Resolução CEMAAM nº 30 de 31/10/2018 estabelece a obrigatoriedade de empresas que realizam Manejo Florestal Sustentável na Amazônia de apresentar um volume comparativo por meio de equação volumétrica entre o volume licenciado e o explorado.

Para este estudo a empresa Mil Madeiras Preciosas Ltda vem apresentando diferenças acentuadas de volume produzido com volume obtido pelo inventário que chegam à 15% acima do previsto, influenciando a sustentabilidade do manejo florestal sustentável e viabilidade econômica de empresas que compartilham do mesmo entrave. Então a idéia deste estudo é verificar se o ajuste de uma nova equação de volume pode ajudar a melhorar as estimativas e minimizar essas diferenças acentuadas e entender se o método de cubagem hoje utilizado pode ser responsável por estas diferenças.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1. Legislação florestal

A Amazônia vem sofrendo grande pressão quanto a utilização de seus recursos florestais por conta da exaustão de madeira tropical nos países que antes eram os principais produtores de madeira tropical dura do mundo Indonésia e Malásia (Higuchi et al., 2006). E devido ao esgotamento das florestas nos estados do Paraná e Espírito Santo, as atividades madeireiras migraram para a Amazônia (Veríssimo, 2014). Diante disso é necessária a adoção de políticas publicas que lidem para poupar artificialmente os recursos florestais e com isso criar estratégias para utilização desses recursos de forma mais intensa e de fato manejada (Veríssimo et al., 2002). Por isso se faz necessário lembrar os principais pontos da legislação florestal para a realização do Manejo Florestal Sustentável na Amazônia desde o início do processo ao final.

Dentro do manejo florestal a Instrução Normativa do MMA N° 4, de 4 de março de 2002, que trata no **Art. 1** “só será permitida a exploração das florestas primitivas da bacia amazônica de que trata o art. 15 da Lei n° 4.771, de 15 de setembro de 1965 (Código Florestal), sob a forma de manejo florestal sustentável de uso múltiplo” dentro das seguintes modalidades estabelecidas nesta IN: PMFS Empresarial, PMFS Pequena Escala, PMFS Comunitário e PMFS Palmeiras.

A Resolução/CEMAAM N. 30 de 31 de outubro de 2018 que altera a (Resolução SDS N° 17 DE 20/08/2013 que trata em seu **Art. 1** Procedimentos técnicos para elaboração, apresentação, execução e avaliação técnica de PMFS de Maior Impacto de Exploração e PMFS de Menor Impacto de Exploração nas florestas nativas e formações sucessoras no Estado do Amazonas:

- i. Entende-se como PMFS de Maior Impacto de Exploração, aqueles que prevêm a utilização de máquinas para arraste, transporte de toras e abertura de estradas, sendo vedado o desdobro, o processamento e o beneficiamento de toras.
- ii. Entende-se como PMFS de Menor Impacto de Exploração, aqueles que não prevêm a utilização de máquinas para arraste de toras, sendo autorizada a exploração e o beneficiamento de madeira com uso de equipamentos portáteis para o desdobro de toras, limitado aos produtos descritos no POE e relacionados no Sistema DOF (Documento de Origem Florestal).

Para os PMFS de Maior Impacto de Exploração, a Licença de Operação somente autoriza a exploração florestal sendo vedado o desdobro, processamento e beneficiamento de toras e nos PMFS de Menor Impacto de Exploração, a Licença de Operação autoriza a exploração e o desdobro de toras respectivamente.

Na Resolução CONAMA nº 237, de 19 de dezembro que trata do licenciamento ambiental, considerando a necessidade de revisão dos procedimentos utilizados no licenciamento ambiental e as diretrizes estabelecidas na resolução CONAMA nº 011/94, são tratados os tipos de licenças e definidos quais os órgãos responsáveis por expedi-las, considerando as especificidades, os riscos ambientais, o porte e outras características do empreendimento ou atividade.

Em 2009 por meio da Resolução nº. 406, de 02/02/2009 (sofrendo algumas alterações pela Resolução CEMAAM N. 30 de 31 de outubro de 2018), foram dispostos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), os parâmetros técnicos a serem adotados na elaboração, apresentação, execução e avaliação técnica de Planos de Manejo Florestais Sustentáveis (PMFS) com fins madeireiros, para florestas nativas e suas formas de sucessão no bioma Amazônia, estabelecendo no **Art.5:**

- i. O ciclo de corte será de no mínimo 12 anos para os PMFS de Menor Impacto de Exploração e de no mínimo 25 anos para o PMFS de Maior Impacto;
- ii. A estimativa da produtividade anual da floresta manejada para o grupo de espécies comerciais, quando não houver estudos para a área, será de 0,86 m<sup>3</sup>/ha/ano;
- iii. A intensidade a intensidade máxima de exploração é de até 25 m<sup>3</sup>/ha nas UPF, para os PMFS de Maior Impacto de Exploração e de 10 m<sup>3</sup>/ha nas UPF, para os PMFS de Menor Impacto de Exploração.

“Em **“parágrafo único”** esta resolução ainda reafirma a obrigatoriedade de empresas que desenvolve o manejo florestal na Amazônia, que a partir do segundo POE o detentor deverá apresentar a equação volumétrica, apresentando o volume comercial de árvores em pé, por meio de equações desenvolvidas especificamente para a floresta manejada”. Assim como em seu **Art. 22.** O PMFS e POE deverão ser cadastrados obrigatoriamente no Sinaflor, em arquivos digitais com todo o conteúdo, incluindo textos, tabelas planilhas eletrônicas e mapas conforme Termo de Referência, modelo IPAAM.

Visto a existência de algumas legislações para implantação de manejo florestal na Amazônia, a legislação prevê ainda procedimentos para inspeção técnica em indústrias que utilizam insumos florestais de origem nativa (Resolução CONAMA nº. 411, de 06 de maio de 2009, que passa a vigorar com as seguintes alterações feitas pela Resolução nº 474, de 6 de abril de 2016), destaca em seu **Art. 1:**

i. Define procedimentos para inspeção de indústrias consumidoras ou transformadoras de produtos e subprodutos florestais madeireiros de origem nativa, bem como os respectivos padrões de nomenclatura e coeficientes de rendimento volumétricos, inclusive carvão vegetal e resíduos de serraria. No caso de determinação do volume de tora, devem ser utilizadas para o cálculo a média dos diâmetros cruzados e a média dos comprimentos, obtidos por meio do método geométrico (equação de Smalian).

É importante registrar que a legislação ambiental do Brasil proíbe a extração de madeira em mais de 50% das florestas existentes na Amazônia, incluindo as florestas situadas nas Terras Indígenas, Unidades de Conservação de Proteção Integral (parques, reservas biológicas) assim como áreas de preservação permanente (APP) situadas em propriedades privadas, reservas Extrativistas e outras áreas de uso comunitário (Veríssimo e Pereira, 2014).

Embora a Amazônia disponha de várias legislações voltadas para o manejo florestal, no entanto apontam fragilidades em seus procedimentos. É evidente o grau de descumprimento das mesmas por parte dos interessados que necessitam cumprir estas leis, e assim assegurar a produção de madeira em pé e as alterações sofridas ao longo do tempo.

### 3.2. Volumetria de madeira

Desde o início da ciência florestal a volumetria de árvores é um tema significativo quanto a sua importância para a vida humana, moradias, utensílios, instrumentos e arte (Péllico Netto, 2004). Nas indústrias florestais, uma acurada estimativa dos estoques de volume de espécies comerciais é importante para a realização de uma correta avaliação do estoque de madeira e análise do potencial produtivo de suas florestas, como também é fundamental para o planejamento das empresas que executam ações de manejo florestal de curto e longo prazo (Ribeiro et al., 2014).

É por meio da variável volume que acontece o desenvolvimento do comércio de madeira no mundo, o abastecimento das indústrias do setor madeireiro e os inventários florestais. Pesquisas que melhorem a precisão das estimativa de volume são um passo importante para tornar mais prático o planejamento da produção e vistorias florestais quando se trata de tomada de decisão (Leite, 2010).

Na maioria das vezes a principal finalidade dos inventários florestais é estimar a volumetria da floresta, principalmente quando o objetivo do sítio é comercial, portanto, requer segura e precisa estimativa de volume da produção (Machado, 2013). Lima e cola. Lima *et al.* (2016) destacam a relevância em conhecer quais são os métodos de cubagem mais precisos na determinação de volumes individuais e testá-los nos mais diversos tipos florestais, considerando espécies, sítios, tratamentos silviculturais, regimes de manejo e idade, pois são fatores que afetam diretamente esta característica.

Leite (2010), destaca que uma vez as árvores apresentam formas de fustes diferentes, deve-se considerar o fuste de uma árvore como sendo constituído por vários sólidos geométricos. Os fustes das árvores podem externar diferentes formas geométricas (figura 01) como cilindro, cone, parabolóide e neilóide (Husch et al., 2003; Soares et al., 2007). Já Soares *et al.* (2011) retrata que um dos sólidos possa ser utilizado para descrever o perfil do fuste de uma árvore, porém os quatro formatos citados podem se apresentar ao mesmo tempo na árvore. Porém Anuchin (1970); Husch et al. (1982), afirmam que dificilmente o troco inteiro de uma mesma árvore assume uma dessas formas.

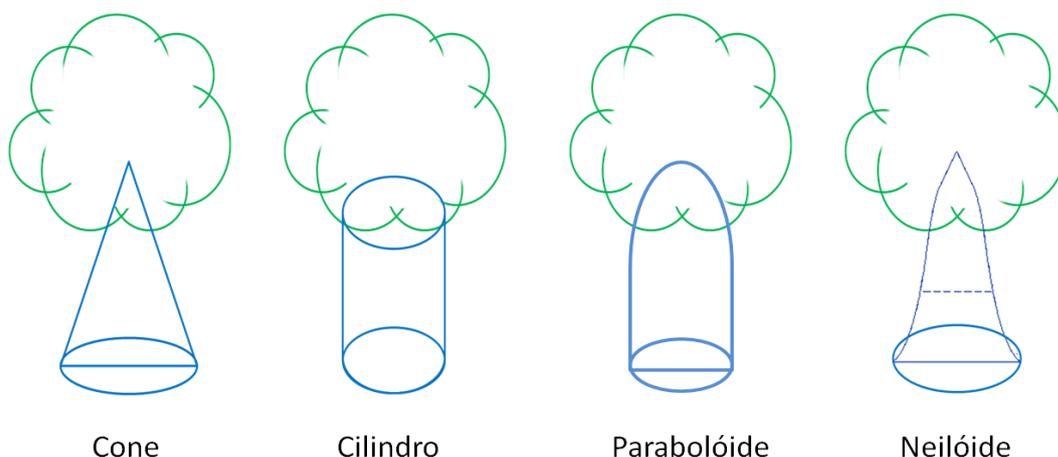


Figura 01. Formas geométricas associadas aos tipos de fustes de árvores

Sendo a árvore um sólido irregular, seu volume pode ser determinado mais precisamente analiticamente por meio da cubagem rigorosa (Machado; Figueiredo Filho, 2009), que consiste na divisão do tronco da árvore em  $n$  seções menores, com a medição sucessiva dos diâmetros ou circunferências e comprimentos das seções ao longo da tora, e o somatório dos volumes de todas as seções resultam no volume total da árvore (Gomes, 1957; Campos & Leite, 2013). Vale ressaltar que independentemente do método de cubagem empregado quando se usam seções com comprimentos menores, maior será a acuracidade da estimativa de volume calculado (Campos, 1988; Leite, 2008).

### 3.2.1. Métodos de determinação do volume

O fuste de uma árvore em sua grande maioria é um corpo geométrico com plexo (Machado, 1993), que corresponde a um sólido irregular, e assim seu volume pode ser determinado mais precisamente analiticamente, por meio da cubagem rigorosa (divisão do tronco em seções ou toras), graficamente, deslocamento de líquidos ou por meio de seu peso (Machado, 2013). Nesta pesquisa serão abordados os métodos analíticos (métodos diretos por cubagem rigorosa) e métodos indiretos (equações de volumes e fator de forma) mais utilizados no meio florestal.

Os métodos diretos (cubagem rigorosa) são divididos em métodos absolutos (com seções de comprimentos fixos) e relativos (métodos com seções de comprimento variáveis) (Cabacinha, 2003). No meio florestal os métodos de cubagem mais utilizados são Smalian, Huber e Newton pela praticidade de uso que apresentam (Nicolleti, 2011). Porém, estes métodos são recomendados quando as seções forem semelhantes a um tronco de parabolóide. No caso dos órgãos ambientais que realizam inspeções de indústrias consumidoras ou transformadoras de madeira, o método adotado é o geométrico utilizando a fórmula de Smalian para o cálculo do volume.

### 3.2.2. Principais métodos diretos para cubagem de volume em tora

Com os estudos das várias formas de fustes que as árvores podem assumir, expressões matemáticas foram desenvolvidas para determinar o volume de árvores (Husch *et al.*, 2003):

### 3.2.2.1. Deslocamento de água (Xilômetro)

Este é o método mais acurado para obter o volume real de árvores no chão. (Loestsch et al. 1973). Normalmente este procedimento tem sido adotado como referencial para avaliar a acurácia de outros métodos. Porém este método tem suas limitações por conta de dificuldades operacionais, esta limitado a troncos pequenos, ou seções curtas sendo necessário um recipiente de água muito grande para troncos maiores (Machado, 2003). E se pensarmos em Amazônia, onde temos uma diversidade gigantesca de espécies, diferentes formas de fustes e tamanhos variados, esse método se torna inviável.

Este método consiste em mergulhar as toras de árvores derrubadas em um recipiente com água e medir o volume de água deslocado por meio de um xilômetro. O xilômetro consiste de um cilindro com água até uma altura conhecida graduada em escala, podendo-se então calcular o volume de água ( $V_A$ ). O torete é imerso no recipiente e então a água é deslocada para a outra altura, e consequentemente se tem o volume da água mais o torete ( $V_{A+T}$ ). o volume do torete é a diferença entre os dois volumes ( $V_T$ ). A equação utilizada é dada por (Machado, 2003).

$$V_T = V_{A+T} - V_A \quad (1)$$

### 3.2.2.2. Método de Smalian

A cubagem rigorosa pelo método de Smalian consiste na média aritmética dos diâmetros cruzados nas extremidades da base e topo de cada de cada seção do tronco e seus comprimentos. O somatório do volume de todas as seções do tronco da árvore se obtém o volume total da mesma. O volume de cada seção é determinado pela seguinte fórmula (Machado; Leite, 2003).

$$V = \frac{\left[ \left( Db^2 \cdot \frac{\pi}{4} \right) + \left( Dt^2 \cdot \frac{\pi}{4} \right) \right]}{2} \cdot L \quad (2)$$

ou

$$V = 0,7854 \cdot \frac{(Db + Dt)^2}{L} \quad (3)$$

Onde:

V = volume em (m<sup>3</sup>);

L = comprimento da tora em m;

Db = Diâmetro da base da tora em metro (obtido a partir da média do maior e menor diâmetro na seção - em cruz).

Dt = Diâmetro do topo da tora em metro (obtido a partir da média do maior e menor diâmetro na seção - em cruz).

### 3.2.2.3. Método de Huber

Prevê a medição do diâmetro ou circunferência tomando apenas uma única medida no meio de cada seção (tora), assumindo que a área média de uma tora seccionada se encontra no seu ponto médio (Machado e Leite, 2003). O volume de cada seção é dado por:

$$V = g_m \cdot L \quad (4)$$

Onde:

V = volume da árvore (m<sup>3</sup>);

$g_m$  = área transversal em (m<sup>2</sup>) tomada no meio da tora

L = Comprimento de cada seção

### 3.2.2.4. Método de Newton

Neste método são realizadas as medições dos diâmetros ou circunferências em três posições ao longo de cada seção da tora: base, meio e topo o que resultará em um volume mais acurado (Machado & Filho, 2003).

$$V = L \cdot \frac{(g_1 + 4 \cdot g_m + g_2)}{6} \quad (5)$$

Onde:

V = Volume da seção (m<sup>3</sup>);

L = Comprimento da seção (m);

$g_1$  = área seccional da extremidade inferior do torete (m<sup>2</sup>);

$g_2$  = área seccional da extremidade superior do torete (m<sup>2</sup>);

$g_m$  = área seccional no meio do torete (m<sup>2</sup>).

### 3.2.2.5. Método geométrico

Neste método de cubagem é adotada a fórmula de Smalian, denominando-o como método geométrico. Considera a média dos diâmetros cruzados das extremidades de cada seção (base e topo) elevados ao quadrado (Machado & Leite, 2003) e multiplicando pelo comprimento, logo o volume obtido é multiplicado pelo fator de forma 0,7854 como mostrado nas fórmulas 1 e 2

### 3.2.2.6. Método Hohenadl

Este método é caracterizado pela divisão do tronco em cinco (figura 02) ou dez seções de comprimentos iguais estabelecidos em função da altura (h) da árvore. Neste método o volume é calculado com base em apenas uma medida de diâmetro e circunferência no centro de cada seção (Machado; Leite, 2003).

Cinco seções:

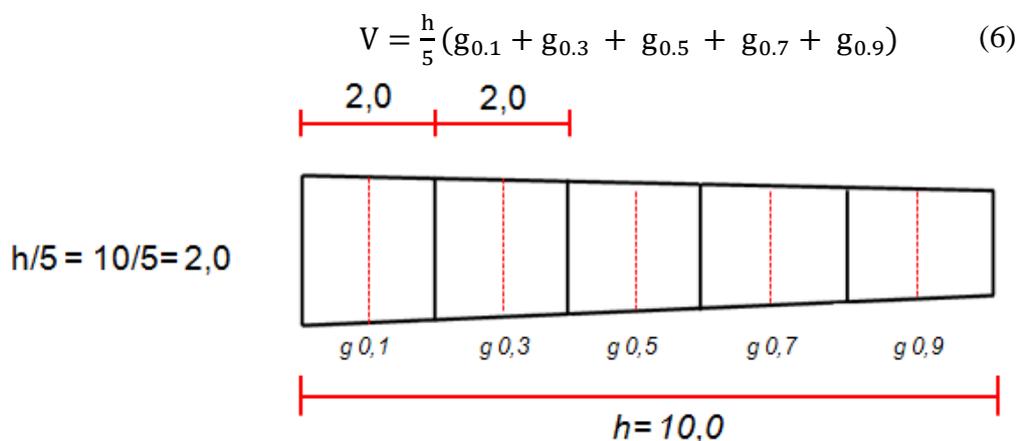


Figura 02. Esquema ilustrativo da cubagem pelo método de Hohenadl de 5 seções

Dez seções:

$$V = \frac{h}{10} (g_{0,05} + g_{0,15} + g_{0,25} + g_{0,35} + g_{0,45} + g_{0,55} + g_{0,65} + g_{0,75} + g_{0,85} + g_{0,95}) \quad (7)$$

Onde:

$V$  = volume da árvore considerada ( $m^3$ );

$g_{0.1}$  = área seccional ( $m^2$ ) com diâmetros tomados a 10, 30, 50, 70 e 90% da altura do fuste ( $h$ ) da árvore.

### 3.2.3. Principais métodos indiretos para determinação do volume

#### 3.2.3.1. Métodos para estimativa de volume de árvores em pé

Neste caso existem duas formas de estimar a volumetria de árvores em pé, conhecidas como métodos indiretos. Uma delas é por meio do ajuste de equação volumétrica e a outra forma consiste no cálculo do fator de forma médio.

#### 3.2.3.2. Equações volumétricas

A estimativa de volume de um determinado sítio pode ser estimada por meio do ajuste de modelos para gerar uma de equação volumétrica, com base em dados obtidos por cubagem rigorosa de árvores abatidas (método destrutivo), selecionadas previamente de acordo com classes de diâmetro e altura (Lima et al., 2016), apesar de amostragem de árvores caídas naturalmente apresenta-se como uma alternativa segura e menos dispendiosa (artigo em preparação).

Desde 2009 (Resolução CONAMA n° 406 de 02/02) agora alterada pela resolução (CEMAAM n° 30 de 31/10/2018), as equações de volume de madeira tornaram-se uma ferramenta obrigatória para a estimativa do estoque de madeira dos planos de manejo a partir do segundo Plano de Operação Anual, com o objetivo de melhorar a precisão da estimativa de volume da floresta, por conseguinte minorar o comércio ilegal de créditos de volume de madeira (Ribeiro et al., 2014).

No geral os modelos matemáticos utilizados para gerar equações volumétricas são de simples e dupla entrada, tendo como variáveis independentes o DAP (diâmetro a altura do peito de 1,30 m) e altura do fuste das árvores (Higuchi, 1992; Lansanova et al., 2018). Um dos modelos mais conhecidos na literatura clássica florestal é o de Schumacher e Hall, desenvolvido em 1993 (Soares et al., 2011) que utiliza duas variáveis independentes o DAP e Ht.

No ajuste de modelos são considerados como critérios de escolhas os coeficientes de determinação ajustados em porcentagem ( $R^2_{aj}$ ), erro padrão da estimativa em percentual ( $Sy_x$ ) e análise gráfica dos resíduos percentuais (Ribeiro et al., 2014).

### 3.2.3.3. Fator de forma

O volume real de uma árvore pode ser considerado uma porcentagem do volume de um cilindro, definindo pelo DAP e pela altura total ou comercial das árvores (Soares *et al.*, 2011). Esta relação entre os volumes define o chamado fator de forma. Expresso por:

$$f = \frac{V_{\text{real}}}{V_{\text{cilindro}}} \quad (8)$$

Onde:

$V_{\text{real}}$  = volume em m<sup>3</sup> obtido por cubagem rigorosa;

$V_{\text{cilindro}} = g \cdot ht$  ( $g$  = área basal, em m<sup>2</sup>;  $ht$  = altura total, em m)

Em outras palavras conceitua-se fator de forma como um fator de redução do volume do cilindro para o volume real da árvore, que multiplicado pelo volume do cilindro se obtém o volume real da árvore (Finger, 1992), portanto, só pode ser conhecido após a determinação do volume real da árvore, podendo ser empregado para isto qualquer método de cubagem rigorosa (Miranda *et al.*, 2015). Na região amazônica em muitos casos o volume individual de árvore ainda é obtido utilizando o fator de forma 0,7 determinados por Heinsdjik e Bastos (1963) com aplicação para todas as espécies da região amazônica.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1. Área de estudo

A pesquisa foi desenvolvida na área de manejo florestal (AMF) da Mil Madeiras Preciosas (PWA), localizada nas áreas territoriais dos municípios de Itacoatiara, Itapiranga e Silves no estado do Amazonas, com as coordenadas 02° 30' S; 59° 00' W e 03° 00' S; 58°30'. Hoje o total de áreas que integram o projeto MIL MADEIRAS (áreas manejadas e não manejadas) são de 425.549.04 hectares.

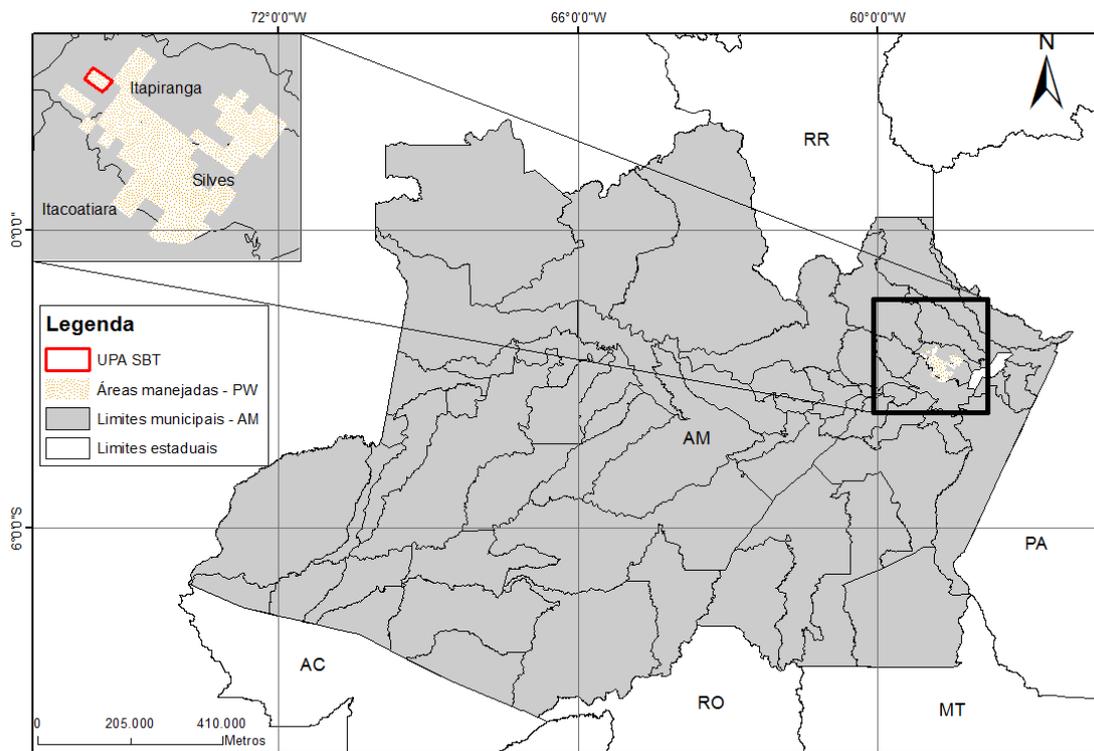


Figura 03. Mapa de localização da área do projeto Mil Madeiras

Fonte: A autora

A área de manejo florestal é composta por 12 Fazendas (figura 03), denominada de Unidades de Produção Anual (UPA) que por sua vez são divididas em Unidades de Trabalho (UT) de no máximo 100 hectares (a fim de facilitar o planejamento e execução das atividades florestais essas UT's são subdivididas em Unidades de Campo (UC) de 10 hectares cada).

#### 4.1.1. Histórico da área de estudo (Mil Madeiras Preciosas)

O projeto Mil Madeiras (integrante do grupo Precious Woods – PW) tem como principal objetivo investir em projetos florestais de acordo com os princípios e critérios da certificação do Forest Stewardship Council (FSC).

Na Amazônia Brasileira a sede da empresa está localizada no município de Itacoatiara-AM. No total a empresa conta com doze áreas de fazendas localizadas entre os municípios de Itacoatiara, Silves e Itapiranga, juntas estas áreas somam aproximadamente 425.549,04 hectares, onde atualmente 248.058,94 hectares estão sob regime de manejo florestal.

A empresa conta com uma serraria de grande porte com processamento diário superior a 100 m<sup>3</sup>. Esta serraria é constituída por um pátio de estocagem de toras, galpões utilizados para armazenamento de madeira serrada, setor de maquinários (equipamentos que constituem o layout da serraria), setor de laminação e afiação, e o setor de manutenção de equipamentos e peças.

Tabela 1. Histórico de atividades da Mil Madeiras Preciosas Ltda.

Atividade	Ano
Início das atividades florestais no Brasil	1994
Primeiro PMFS protocolado no IBAMA	1995
Primeira exploração (Fazenda Dois Mil)	1996 a 1998
Certificação florestal de acordo com o FSC	1997
Instalação e medição de parcelas permanentes (monitoramento)	2001

Fonte: Resumo público PW, 2018

Os planos de manejo florestal sustentável são de acordo com o sistema Silvicultural policíclico CELOS do Suriname, onde a exploração e os tratamentos silviculturais são integrados e a extração da madeira de maneira controlada, garantindo ao máximo à redução dos danos da exploração para a manutenção das funções ecológicas da floresta (GRAAF, 1986). Com todo esse esforço logo foi considerada pioneira na implantação deste tipo de sistema na Amazônia Brasileira, atingindo a certificação de acordo com os princípios e critérios da certificação do Forest Stewardship Council (FSC) (Precious Woods Amazon, 2014). Hoje a Mil Madeiras já aderiu a mais um selo de Certificação

Florestal independente chamado CERFLOR - Programa Brasileiro de Certificação Florestal, certificado pelo INMETRO e utilizado mundialmente pelo sistema PEFC.

#### 4.2. Caracterização da área

A vegetação típica da região é floresta Ombrófila Densa, da Sub-região de Baixos Platôs Dissecados (RADAM BRASIL, 1978). Nesta região as sete famílias botânicas que mais se destacam em número de espécies, independente das áreas serem exploradas ou não são: Chrysobalanaceae, Fabaceae, Sapotaceae, Lauraceae, Burseraceae, Annonaceae e Lecythidaceae (Carneiro; 2010).

O clima da região pela classificação de Köppen é do tipo “Amw”, característico da região tropical, quente, chuvoso e úmido com duas estações bem definidas: Inverno (época de chuvas em meados de dezembro a maio) e verão (época de calor intenso em meados de junho a outubro).

A temperatura média varia de 27 a 29 °C, com máxima de 36 °C e mínima de 21 °C. A precipitação anual varia entre 2287 mm e 2634 mm (Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, 2019).

Os solos desta região são classificados como Latossolo Amarelo Distrófico, de acordo com o Mapa Geral de Solos do Brasil, possuem baixa fertilidade natural, alta toxidez de alumínio e textura argilosa (RADAMBRASIL, 1978).

#### 4.3. Descrição das etapas de manejo

##### 4.3.1. Inventário florestal

Foi realizado para todos os indivíduos que compuseram a lista de espécies comerciais. O diâmetro mínimo para medição foi 40 cm, porém o corte foi realizado apenas para os indivíduos com DAP > 50 cm conforme estabelecido na legislação para planos de manejo empresarial (Instrução Normativa nº 5 de 11/12/2006 do MMA - Ministério do Meio Ambiente – MMA).

Neste processo foi realizado:

- Identificação das árvores (nome vernacular);
- Identificação por meio de placas com numeração crescente;
- Medição do DAP (diâmetro a altura do peito) à 1,30 m acima do solo;
- Qualidade de fuste;
- Coordenadas com referência global; e

- Localização no mapa.

#### 4.3.2. Exploração florestal

##### 4.3.2.1. Operação de corte

As árvores selecionadas são localizadas pela equipe de corte de acordo com o mapa de exploração florestal e é realizado logo após a localização das trilhas de arraste.

No momento da derrubada é avaliado:

- Direcionamento de queda;
- Caminho de fuga;
- Retirada de placa e se necessário de cipós; e
- Retirada de alguma área de influência (sapopema) se houver (figura 5a)

*Obs: retirada de cipós (somente se forem detectados riscos que possam ocasionar acidentes ou abertura de clareiras).*

O corte realizado pela equipe é o corte direcional, permitindo a queda da árvore na direção desejada (neste caso na direção das trilhas de arraste). Neste corte é realizada uma sequência de três entalhes: abertura da boca; entalhe direcional e corte de abate (figura 4b) realizado na altura da cepa.



Figura 04. Corte direcional. a) base com presença de sapopemas e b) base retilínea  
Fonte: acervo pessoal

A altura do corte pode variar de (10 a 40 cm) não podendo ultrapassar 30 e 40 cm para árvores cilíndricas e com presença de sapopemas respectivamente.

#### 4.3.2.2. Operação de Pré-arraste e arraste

A Mil Madeiras Preciosas com o intuito de reduzir o deslocamento de maquinário na floresta padronizou uma metodologia diferenciada das demais empresas que trabalham com manejo florestal na Amazônia o “Pré arraste”, que consiste em guinchar as toras por meio das picadas de arrastes com trator do tipo “track-skidder” do local de corte até as trilhas de arraste. Nesta operação as toras são guinchadas e concentradas nas margens das trilhas de arraste (Figura 05). Após o pré-arraste, é realizado o arraste das toras com o auxílio de um trator de pneu do tipo “skidder” acoplado com pinça e removendo essas toras até o pátio intermediário mais próximo.



Figura 05. A) Guinchamento de tora (pré-arraste) e b) Toras na trilha de arraste  
Fonte: acervo pessoal

#### 4.4. Coleta de dados

##### 4.4.1. Definição da área

Para a coleta foi definida a Unidade de Produção Anual São Sebastião - (SBT), por ser uma das UPAs do PMFS explorado na safra de 2019/2020.

Esta UPA dispõe de uma área de 5.900,12 hectares. O layout do planejamento para a exploração da UPA foi realizado por meio de um Sistema de Informação Geográfica – SIG. Blocos de 4x4 km foram criados, georreferenciados pelo sistema UTM, aplicados sobre um mapa topográfico e assim dividindo a UPA em 53 unidades de trabalho (UT's) (figura 06).

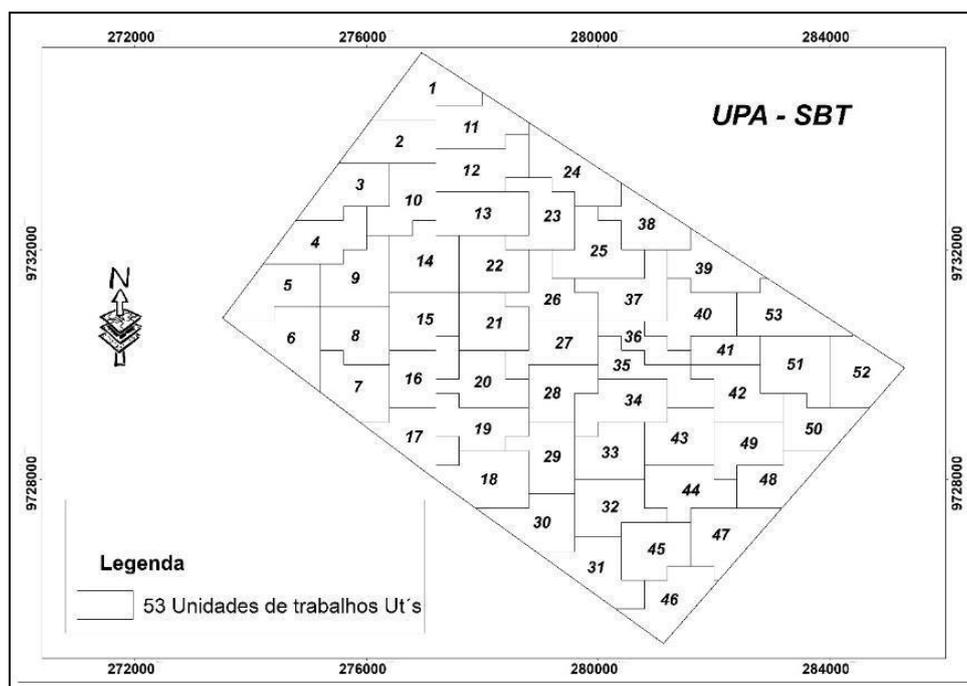


Figura 06. Disposição das UT's na UPA SBT.  
Fonte: PW, 2018

#### 4.4.2. Seleção dos indivíduos

A seleção dos indivíduos (tabela 02) seguiu o seguinte critério: indivíduos selecionados para a exploração na safra 2019/2020, uma vez que o indivíduo era derrubado e arrastado para a trilha de arraste era realizada a cubagem. A distribuição diamétrica também foi considerada durante a coleta de dados mantendo a probabilidade por classe. É importante ressaltar que no ano anterior a exploração, o inventário florestal foi realizado pela empresa e os indivíduos tiveram seus DAP's mensurados e identificação botânica realizada.

Para a identificação botânica durante a cubagem, foi mantida a mesma identificação realizada pela pelo inventário florestal da empresa por conta do Documento de Origem Florestal (DOF).

#### 4.5. Cubagem das árvores e métodos utilizados para comparação

Para atender ao primeiro objetivo foi realizada a cubagem rigorosa das toras. Este processo aconteceu durante o processo de pré arraste das mesmas com o propósito de evitar o empilhamento das toras prejudicando sua mensuração durante a cubagem. Nesta etapa foram utilizados três diferentes métodos de cubagem descritos na literatura.

Para a cubagem foram utilizadas:

- Trena de 30 metros graduada em cm (medir os comprimentos das seções);
- Fita diamétrica (mensuração dos diâmetros cruzados método Smalian);
- Suta (mensuração das seções ao longo do fuste na combinação dos métodos Smalian/Hohenadl e Huber).
- Aparelho receptor de sinais GPS (Global Positioning System)

##### 4.5.1. Combinação dos métodos de Smalian e Hohenadl

Para a combinação dos métodos foi determinado o volume individual de cada indivíduo combinando o método de *Smalian* (medição do diâmetro na base e no topo de cada seção) e o método Hohenadl (divisão relativa do comprimento da tora em dez seções de mesmo tamanho em função da altura comercial).

Neste método foram mensurados com uma trena a altura comercial (comprimento do fuste) e então realizado a divisão do fuste em dez seções de comprimentos iguais e com uma suta graduada em centímetros foram mensurados os diâmetro de cada seção da tora e suas extremidades e registradas em fichas de campo.



Figura 07. Método combinado. a) Mensuração das extremidades b) Mensuração das seções com a suta c) Divisão do comprimento da tora em 10 partes de mesmo comprimento e d) Leitura do diâmetro em cada seção.  
Fonte: acervo pessoal

O volume de cada seção foi calculado pela fórmula do cilindro (produto entre o comprimento e a área da base). O volume total do fuste de cada indivíduo foi determinado pelo somatório das dez seções (fórmula 08).

A combinação desses métodos é resumida na expressão matemática abaixo:

$$V_{com} = \frac{\pi}{4} \times \left\{ \left( \frac{D_0^2 + D_{10}^2}{2} \right) + D_1^2 + D_2^2 + D_3^2 + D_4^2 + D_5^2 + D_6^2 + D_7^2 + D_8^2 + D_9^2 \right\} \times \frac{H_c}{10} \quad (9)$$

Onde:

V<sub>com</sub>= Volume comercial em m<sup>3</sup>;

H<sub>c</sub>= Altura comercial em m;

D<sub>0</sub>, D<sub>1</sub>...= Diâmetro medido em cada seção em cm;

#### 4.5.2. Método Smalian (geométrico)

Neste método foram considerados para o cálculo do volume: a medição dos diâmetros cruzados (maior e menor) com o auxílio de uma trena em um ângulo de 90°, considerando a casca, nas duas extremidades da tora (base e topo) e obtidos os comprimentos de cada tora com o auxílio de uma trena (figura 08).

O volume das toras foram calculados com base na equação de Smalian (fórmula 09) sugerido pela Resolução CONAMA N° 474, DE 6 DE ABRIL DE 2016, item 28 (cubagem de toras).

$$V = \frac{\left[ \left( Db^2 \cdot \frac{\pi}{4} \right) + \left( Dt^2 \cdot \frac{\pi}{4} \right) \right]}{2} \cdot L \quad (10)$$

Onde:

V = Volume em m<sup>3</sup>

L = Comprimento da tora em metros

db = Média das medidas dos diâmetros na maior extremidade (obtido a partir da média do maior e menor diâmetro na seção - em cruz).

dt = Média das medidas dos diâmetros na menor extremidade (obtido a partir da média do maior e menor diâmetro na seção - em cruz).

π = 3,14



Figura 08. Esquema do método de cubagem não rigorosa (método geométrico): a) e b) Medição dos diâmetros nas duas extremidades da tora (base e topo); c) e a medição do comprimento da tora em metros.

Fonte: acervo pessoal

#### 4.5.3. Método de Huber

A mensuração dos diâmetros foi realizada com o auxílio de uma suta no ponto médio de cada seção do indivíduo bem como seus comprimentos mensurados com uma trena. Assim o volume total de cada indivíduo foi obtido pelo somatório das diferentes seções.

O volume de cada seção é dado pela fórmula abaixo:

$$V = g_m \cdot L \quad (11)$$

Onde:

V = volume da árvore (m<sup>3</sup>);

$g_m$  = área transversal em (m<sup>2</sup>) tomada no meio da tora

L = Comprimento de cada seção



Figura 09. Mensuração do diâmetro no ponto médio da seção pelo método de Huber  
Fonte: acervo pessoal

#### 4.5.4. Base de referência

Após a cubagem foi realizada a comparação dos volumes obtidos pelos métodos com o volume pré-exploratório (inventário florestal) obtido por meio de uma equação de volume ajusta para a área de manejo (POA, 2019/2020). Porém, quanto a esta equação não se tem informações pertinentes quanto: coeficiente de determinação e incerteza da equação.

O cálculo da estimativa de volume pelo inventário foi realizado em três etapas:

- i. Volumes obtidos por meio de uma equação de simples entrada, gerada para a área de manejo florestal, cuja equação é:

$$V_{inv} = 0,001602 * DAP^{1,90} \quad (12)$$

Onde:

$V_{inv}$  = Volume inventariado estimado.

DAP = Diâmetro a altura do peito obtido no inventário a 100 % da UPA

- ii. Com a necessidade de ajustar a estimativa do volume inventariado por espécie, devido à grande variação de forma do fuste e altura média, é adotada a seguinte equação para obter o fator de ajuste por espécie:

$$Faj = \frac{Vmed}{Vinv} \quad (13)$$

Onde:

Faj = Fator de ajuste

Vmed = Volume efetivamente medido durante o romaneio

Vinv = Volume inventariado estimado

- iii. É realizado o cálculo para o volume final por espécie. Para as espécies que não se obtiveram o fator de ajuste é utilizado o fator de ajuste médio 0,8990. O cálculo do volume ajustado de cada espécie é dado pela equação:

$$Vaj = Vinv * Faj \quad (14)$$

Onde:

Vaj = Volume ajustado

Vinv = Volume inventariado estimado

Faj = Fator de ajuste

#### 4.5.5. Comparação dos métodos

Aplicou-se a análise de variância (ANOVA) para comparação das médias de volume obtidas por método de cubagem. Cada árvore cubada configurou uma amostra (103 indivíduos) e cada método de cubagem um tratamento (4 métodos).

A análise de variância (ANOVA) foi realizada para comparar as médias dos volumes e aplicado o teste de comparação de médias TUKEY a 95% de probabilidade.

As análises das probabilidades resultantes dos testes estatísticos aplicados foram realizadas com base na tabela 02 de escalas probabilísticas, adaptado do relatório IPCC (2010).

Tabela 2. Escala probabilísticas adaptada do relatório do IPCC (2010).

Termo	Probabilidade
Evidência extremamente forte	< 0,001
Evidência muito forte	0,001 < 0,01
Evidência forte	0,01 < 0,05
Evidência moderada	0,05 < 0,1
Evidência pequena	0,1 < 0,2
Evidência fraca	0,2 < 0,4
Evidência muito fraca	0,4 < 0,6
Evidência extremamente fraca	> 0,6

Foram calculados os desvios em porcentagem conforme estudos da desta mesma natureza (Machado et al., 2006; Lima et al., 2016) tendo como base o volume obtido pelo inventário por meio de equação, pela seguinte fórmula:

$$DES\% = \frac{V_{inv} - V_{cub}}{V_{inv}} * 100 \quad (15)$$

Onde:

DES% = Desvio em porcentagem do volume do método de cubagem em relação ao volume determinado pelo inventário;

V<sub>inv</sub> = Volume obtido com o inventário florestal;

V<sub>cubagem</sub> = Volume calculado por cubagem de acordo com o método

Obs: desvios negativos indicam superestimativas e desvios positivos indicam subestimativas em relação ao volume observado.

#### 4.6. Equação de volume

Para atender ao segundo objetivo, foram testados quatro modelos volumétricos de simples e dupla entrada. Ambos os modelos utilizaram como variáveis independentes DAP e altura comercial. Os modelos escolhidos para o ajuste são de uso constante na modelagem volumétrica (Higuchi & Ramm, 1985; Scolforo *et al.*, 1994; Colpini, 2009, Barreto et al., 2014; Tonini & Borges, 2015).

O ajuste foi realizado para o conjunto de árvores cubadas rigorosamente combinando os métodos de Smalian e Hohenadl. Os coeficientes dos modelos foram ajustados por meio de análise de regressão utilizando o programa estatístico SYSTAT.

O critério de seleção para a escolha do melhor modelo foram os parâmetros estatísticos:

- **Coefficientes de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ):** indica o quanto da variação (em %) dos dados é explicado pelo modelo.
- **Erro padrão da estimativa ( $S_{yx}\%$ ):** demonstra a precisão do modelo.
- **Análise de distribuição de resíduos:** plotados os valores observados e os estimados, em relação a um eixo de 45°.

Tabela 3. Modelos testados para o ajuste de equações

	<b>Modelos</b>	<b>Autores</b>
1*	$V = a \times DAP^b + \varepsilon_i$	Husch
2**	$V = a \times DAP^b \times Hc^c + \varepsilon_i$	Schumacher-Hall
3*	$V = \beta_0 + \beta_1 \times DAP^2 + \varepsilon_i$	Kopezi-Gehhardt
4**	$V = \beta_0 + \beta_1 \times (DAP^2 \times Hc) + \varepsilon_i$	Spurr

\* Simples entrada

\*\* Dupla entrada

Onde:

V = Volume comercial com casca, em m<sup>3</sup>;

a, b e c = Coeficientes da equação;

DAP = Diâmetro à altura do peito;

Hc = Altura comercial;

$\varepsilon_i$  = Erro da estimativa.

#### 4.7. Volume pré-exploratório x volume efetivamente produzido

Para este objetivo foram confrontados os dados de volume total inventariado por espécie com o volume efetivamente produzido durante a safra 2019/2020 descrito no Plano Operacional Anual – POA, uma vez que neste estudo obteve-se a diferença em % de volume de madeira em pé com o volume produzido (madeira explorada). Os

cálculos dos desvios das estimativas (DES %) foi dada pela expressão (Campos; Leite, 2009).

$$DES\% = \frac{Vest - Vobs}{Vobs} * 100 \quad (16)$$

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Análise descritiva dos dados

#### 5.1.1. Árvores cubadas

No total foram cubadas 103 árvores divididas em 19 espécies (tabela 4) e 13 famílias botânicas. Este número de espécies amostrado para o estudo faz parte do grupo de 42 espécies exploradas pela empresa para atender o mercado de madeiras tropicais.

O volume total de toras cubadas foi de 478,61m<sup>3</sup>, com volume médio de 4,65 ± 0,44 m<sup>3</sup> por tora.

Tabela 4. Indivíduos por espécie que foram amostrados no estudo

Nº	Nome comum	Nome científico	Indivíduos cubados
1	Amapá	<i>Brosimum parinarioides</i> Ducke	17
2	Angelim pedra	<i>Dinizia excelsa</i> Ducke	11
3	Angelim rajado	<i>Zygia racemosa</i> (Ducke) Barneby & J.W.Grimes	3
4	Arurá vermelho	<i>Iryanthera paraensis</i>	1
5	Breu branco	<i>Protium altsonii</i> Sandwith	5
6	Cedrinho	<i>Scleronema micranthum</i> (Ducke) Ducke	8
7	Cumarú	<i>Dipteryx odorata</i> (Aubl.) Willd.	8
8	Cumarú vermelho	<i>Dipteryx</i> sp1.	3
9	Cupiúba	<i>Goupia glabra</i> Aubl.	13
10	Guariúba	<i>Clarisia racemosa</i> Ruiz & Pav.	1
11	Louro gamela	<i>Sextonia rubra</i> (Mez) van der Werff	5
12	Louro itaúba	<i>Mezilaurus itaúba</i>	2
13	Louro preto	<i>Ocotea nigrescens</i> Vicentini	16
14	Mandioqueira	<i>Vochysia</i> sp.	1
15	Massaranduba	<i>Manilkara bidentata</i> Williams subsp. <i>Bidentata</i>	2
16	Piquiá	<i>Caryocar glabrum</i> (Aubl.) Pers.	3
17	Piquiá marfim	<i>Aspidosperma desmanthum</i> Müll. Arg.	1
18	Tanimbuca	<i>Buchenavia</i> sp.	1
19	Tauari vermelho	<i>Couratari</i> spp.	2
			103

Das dezenove espécies coletadas, cinco representaram mais de 60 % do total de indivíduos amostrados (figura 10). Foram elas *Brosimum parinarioides* Ducke (amapá) (16,5%), *Ocotea nigrescens* Vicentini (louro preto) (15,5%), *Goupia glabra* Aubl.

(cupiúba) (12,6%), *Dinizia excelsa* Ducke (angelim pedra) (10,7%) e *Scleronema micranthum* (Ducke) Ducke (7,8%).

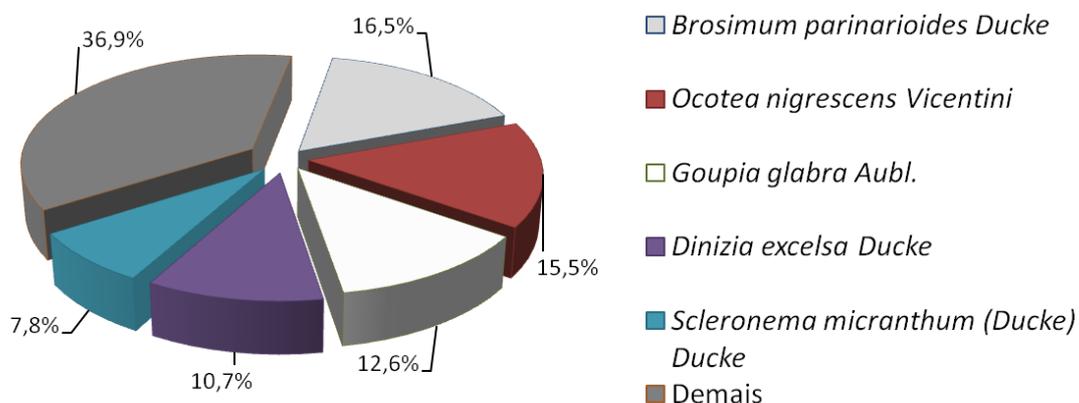


Figura 10. Espécies amostradas

#### 5.1.2. Caracterização dos dados

Na tabela 5 estão descritos os valores mínimos, máximos e médios das variáveis das principais características levantadas: diâmetro a altura do peito (DAP) e altura comercial das 19 espécies amostradas.

A espécie Tanimbuca (*Buchenavia sp.*) apresentou o maior diâmetro médio com 90,0 cm e altura mínima e máxima de 15,2 cm. Já a espécie angelim rajado (*Zygia racemosa* (Ducke) Barneby & J.W.Grimes) apresentou o menor diâmetro médio 51,9 cm e alturas que variam de 10,9 a 16,2 para esta espécie.

Tabela 5. Valores mínimos, máximos e médios das variáveis DAP e altura comercial das espécies amostradas.

Espécie	DAP (cm)			Hc (m)		
	mín	méd	máx	mín	Méd	Max
Amapá	55,0	67,6	85,0	11,8	14,9	19,2
Angelim pedra	58,0	73,3	88,0	11,2	17,8	23,8
Angelim rajado	50,0	51,9	55,8	10,9	14,7	16,2
Arurá vermelho	75,0	75,0	75,0	21,7	21,7	21,7
Breu branco	52,5	69,4	96,0	11,4	14,2	16,2
Cardeiro	51,0	55,3	72,0	12,6	15,9	18,5

Cumarú	52,5	73,1	95,0	8,5	12,3	20,1
Cumarú vermelho	53,0	70,5	92,5	9,0	11,5	13,0
Cupiúba	52,0	70,8	94,5	8,9	13,7	18,8
Guariúba	61,0	61,0	61,0	18,8	18,8	18,8
Louro gamela	61,5	84,9	109,5	15,2	17,6	20,6
Louro itaúba	61,0	68,5	76,0	13,7	14,9	16,2
Louro preto	51,5	65,7	82,0	10,4	13,9	18,7
Mandioqueira	70,0	70,0	70,0	18,9	18,9	18,9
Massaranduba	70,5	84,0	97,5	18,5	21,0	23,4
Piquiá	82,0	91,3	109,0	10,3	13,6	15,6
Piquiá marfim	63,0	63,0	63,0	17,0	17,0	17,0
Tanimbuca	90,0	90,0	90,0	16,2	16,2	16,2
Tauari vermelho	70,0	84,0	98,0	17,6	21,4	25,2

A distribuição das classes diamétricas dos indivíduos coletados adotou uma amplitude em que das seis classes trabalhadas o número mínimo de indivíduos foi  $\geq 25$  indivíduos por classes considerando os indivíduos com DAP  $\geq 50$  cm (tabela 6). A média de diâmetro para o conjunto de dados foi de  $69,90 \pm 2,75$ , bem como a altura comercial foi de  $15,16 \pm 0,65$ .

Tabela 6. Frequência de árvores-amostras por classes de DAP e altura comercial.

Classe de DAP (cm)	Classe de altura (m)							Total
	8 - 10	10 - 12	12 - 14	14 - 16	16 - 18	18 - 20	$\geq 20$	
50 - 60	2	3	9	5	6	2		27
60 - 70	1	2	9	4	5	4		25
70 - 80	1	2	8	3	4	3	5	26
$\geq 80$	1	2	5	4	5	5	3	25
Total	5	9	31	16	20	14	8	103

### 5.1.3. Estimativas de volume

Na figura 11 é possível observar as estimativas obtidas pelos três métodos de cubagem e o fator de forma médio 0,7 estudados na pesquisa. Os volume obtidos pela equação utilizada pela empresa, em sua grande maioria apresentaram tendência em superestimar os volumes cubados por espécie pelo três diferentes métodos de cubagem, com destaque para as espécies, *Iryanthera paraensis* (arurá vermelho), *Goupia glabra*

Aubl. (cupiúba), *Sextonia rubra* (Mez) van der Werff (louro gamela) e *Caryocar glabrum* (Aubl.) Pers. (piquiá) que apresentaram comportamentos diferentes das demais com volumes superiores ao obtido pela equação utilizada pela empresa.

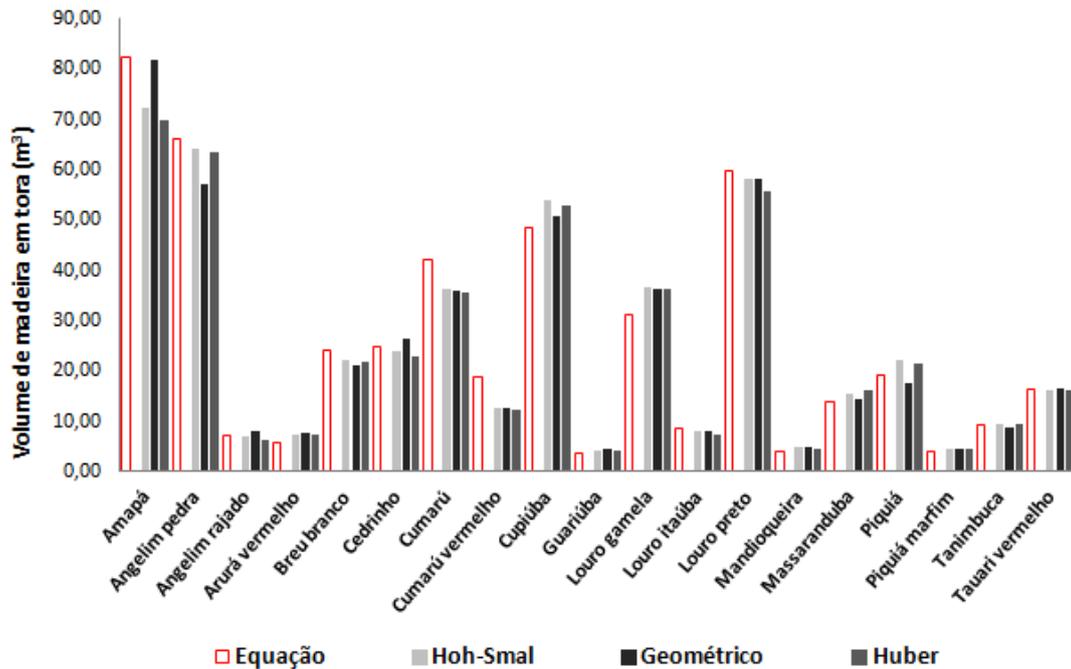


Figura 11. Estimativa de volume absoluto por espécies obtidas pelos três métodos utilizados no estudo

## 5.2. Comparação dos métodos de cubagem e fator de forma médio 0,7

Os volumes médios por espécie obtidos pelos métodos de cubagem e seus respectivos desvios em relação ao volume obtido pela equação utilizada pela empresa estão apresentados na tabela 07.

Tabela 7. Volume (m<sup>3</sup>) por espécie, obtidos pelos métodos de cubagem e fator de forma médio 0,7, e seus respectivos desvios (%).

Espécie	Vol (m <sup>3</sup> ) Comb	D%	Vol (m <sup>3</sup> ) geom	D%	Vol (m <sup>3</sup> ) Huber	D%	Vol fator 0,7	D%
<i>Brosimum parinarioides</i> Ducke	4,246	8,86	4,815	-6,06	4,109	12,24	3,460	29,10
<i>Dinizia excelsa</i> Ducke	5,834	-1,80	5,196	10,00	5,758	0,49	3,886	35,79
<i>Zygia racemosa</i> (Ducke) Barneby & J.W.Grimes	2,274	0,31	2,694	-18,28	2,114	7,22	1,928	16,62
<i>Iryanthera paraensis</i>	7,288	-30,49	7,552	-35,21	7,184	-28,62	3,811	31,78
<i>Protium altsonii</i> Sandwith	4,396	9,42	4,244	11,05	4,379	9,62	3,403	29,85
<i>Scleronema micranthum</i> (Ducke) Ducke	2,979	5,85	3,308	-6,90	2,853	10,19	2,119	32,01
<i>Dipteryx odorata</i> (Aubl.) Willd.	4,552	12,75	4,477	14,04	4,434	15,84	4,050	23,71
<i>Dipteryx</i> sp1.	4,212	32,50	4,139	34,25	4,092	34,13	4,472	29,22
<i>Goupia glabra</i> Aubl.	4,138	-10,60	3,913	-4,72	4,059	-8,22	3,163	15,61
<i>Clarisia racemosa</i> Ruiz & Pav.	4,193	-15,78	4,511	-24,55	3,993	-10,24	2,618	27,70
<i>Sextonia rubra</i> (Mez) van der Werff	7,304	-17,78	7,260	-16,49	7,261	-16,24	4,606	26,52
<i>Mezilaurus itauba</i>	3,991	7,29	3,908	8,98	3,652	15,17	2,945	30,26
<i>Ocotea nigrescens</i> Vicentini	3,632	1,72	3,630	0,19	3,483	5,41	2,990	20,07
<i>Vochysia</i> sp.	4,815	-20,16	4,879	-21,76	4,329	-8,02	2,702	32,56
<i>Manilkara bidentata</i> Williams subsp.	7,775	-17,68	7,162	-9,99	8,066	-23,02	4,814	30,05
<i>Caryocar glabrum</i> (Aubl.) Pers.	7,371	-18,47	5,859	7,87	7,163	-13,47	5,623	12,05
<i>Aspidosperma desmanthum</i> Müll. Arg.	4,487	-13,15	4,364	-10,06	4,492	-13,28	2,702	31,85
<i>Buchenavia</i> sp.	9,444	-3,98	8,692	4,30	9,491	-4,50	5,954	34,44
<i>Couratari</i> spp.	8,134	4,70	8,182	4,89	8,069	7,11	5,075	38,68
Média D%	5,319	-3,50	5,199	-3,07	5,209	-0,43	3,701	27,78

Em que:

Vol (m<sup>3</sup>) = Volume médio por espécie de cada método

D% = Desvio em porcentagem do volume do método de cubagem em relação ao volume determinado pela equação com fator de forma

Na tabela 8 estão descritos os volumes ( $m^3$ ) mínimos, médios e máximos e os desvios (%) pelos métodos de cubagem e fator de forma médio 0,7 e seus respectivos desvios em relação ao volume obtido pela equação utilizada pela empresa.

De modo geral, houve pouca variação dos volumes médios obtidos pelos diferentes métodos testados e o uso do fator de forma médio 0,7 (tabela 8). O volume médio obtido pelo equação da empresa foi de  $4,7410 m^3$ , próximo as médias de volumes obtidas pelos métodos de cubagem, porém a média de volume obtida pelo uso fator de forma médio 0,7 apresentou uma média inferior as demais.

Quando observados os desvios médios em %, o método geométrico (Smalian) mostrou o menor desvio -  $0,28 \pm 4,28$  % comparados com os demais métodos, seguidos dos métodos combinado e Huber. Já o uso do fator de forma médio 0,7 apresentou desvio superior aos demais. Resultados parecidos foram obtidos por Souza *et al* (2017) quando compararam seis métodos de cubagem para o volume de Eucalipto, entre eles Smalian, Huber e Hohenadl, verificaram que o método de Huber, além de apresentar o menor desvio, o método subestima o volume das árvores, enquanto os demais métodos superestimavam o volume. Figueiredo Filho *et al.* (2000) recomendam a utilização do método Huber, uma vez que sua pesquisa mostrou não haver diferença significativa entre os métodos analisados no trabalho, já Souza *et al.* (2017) destacam que este método é de maior facilidade de aplicação em campo uma vez que é necessário apenas uma mediação no meio de cada tora.

Ainda para os desvios %, a equação utilizada pela empresa, apresentou leve tendência em subestimar os volumes obtidos pelo método geométrico (Smalian), já em comparação aos demais métodos e ao uso do fator de forma médio 0,7, a equação utilizada pela empresa apresentou tendência em superestimar os volumes. Com destaque para o uso do fator de forma médio 0,7, em que a equação apresentou uma tendência bem maior comparados ao demais métodos, em superestimar o volume obtido desta forma.

De maneira geral, a equação utilizada pela empresa superestima em sua grande maioria todas as formas de obtenção de volume utilizadas na pesquisa.

É importante ressaltar algumas observações levantadas durante a coleta dos dados que podem ter influenciado os resultados, como:

- i. Discrepâncias de DAP, indicando que o diâmetro medido pela empresa possa não ter sido realizado a 1,30m do solo e assim configurando um erro não amostral;

- ii. A medição dos diâmetros nas bases (pelo método geométrico) eram projetados com varas, com a intenção de evitar que as extremidades da base como sapopemas entrassem no cálculo do volume.

Tabela 8. Volumes (m<sup>3</sup>) mínimos, médios e máximos pelos métodos de cubagem, fator de forma médio 0,7 e seus respectivos desvios em relação ao volume obtido pela equação utilizada pela empresa.

Métodos	Vol. Min	Vol. Méd	Vol. Máx	Desvio médio (%)
Equação	2,0695	4,7410	12,4929	-
Smalian-Hohenadl	1,6305	4,6467	12,6124	0,73 ± 4,95
Geométrico (Smalian)	1,5470	4,6051	12,7543	- 0,28 ± 4,28
Huber	1,6214	4,5373	13,0009	3,74 ± 5,13
Fator 0,7	1,6493	3,4899	9,3425	25,92 ± 1,38

Quanto à análise gráfica dos resíduos em relação ao volume obtido pela equação da empresa, nota-se uma variação para os métodos. A distribuição não apresenta comportamento homogêneo ao longo da reta, principalmente para o método geométrico (figura 12: método geométrico) onde este comportamento se apresenta desde o início da reta. Nos métodos combinado e de Huber esse comportamento é semelhante, porém essa distribuição começa a variar com o aumento de volume. Na figura que mostra a distribuição de resíduos para o uso do fator de forma médio 0,7, a distribuição dos resíduos apresenta certa uniformidade, porém esse comportamento se modifica levemente uma vez que o volume aumenta mostrada maior homogeneidade quando os volumes são menores.

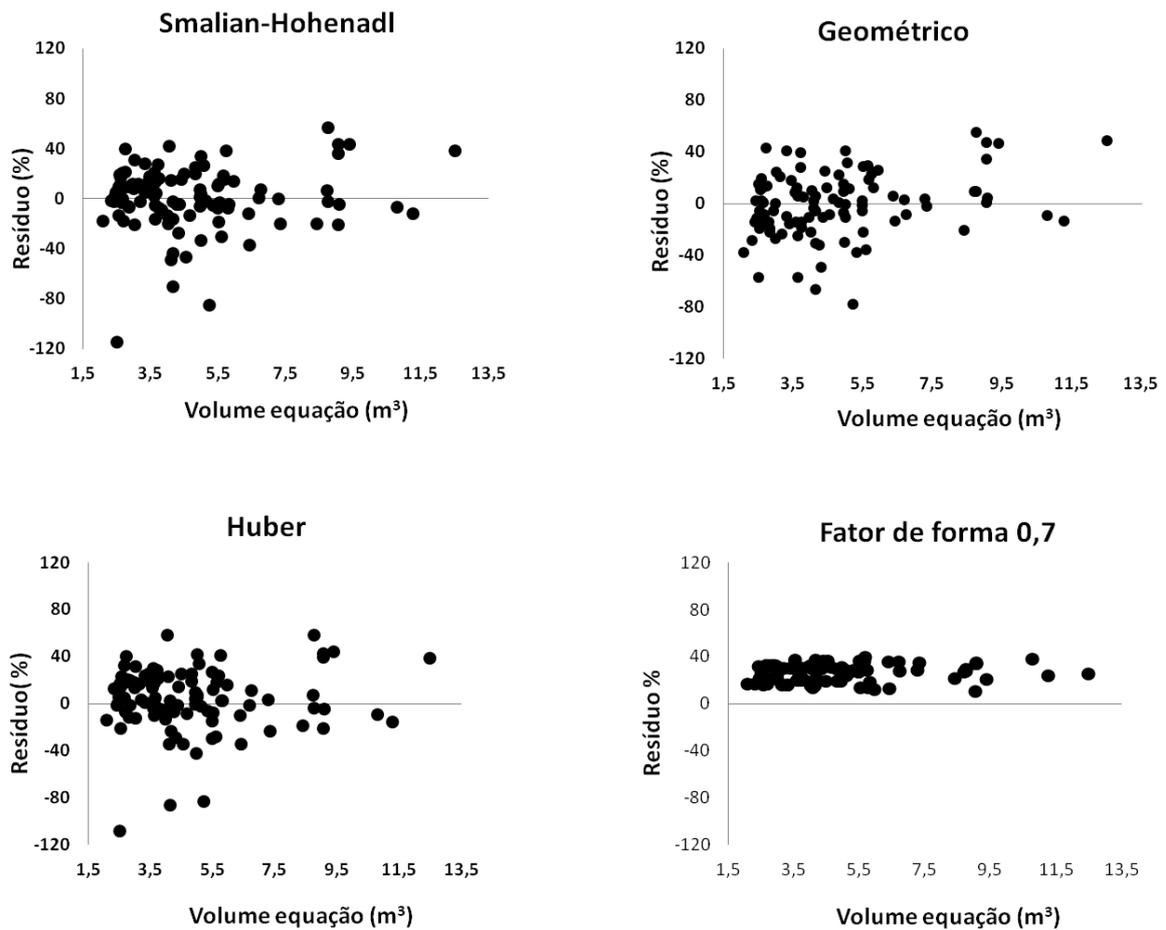


Figura 12. Distribuição residual para as estimativas de volume pelos diferentes métodos de cubagem

Todos os métodos de cubagem foram submetidos a análise de correlação ( $r$ ) (apêndice 1) e obtiveram valores superiores a 60% com variação de 94% para o método que utiliza o fator de forma médio, 65%, 64% e 60% para os métodos combinado, Huber e o geométrico respectivamente.

Na figura 13 estão plotadas as estatísticas básicas para comparação dos resultados das médias de volume e seus respectivos intervalos de confiança de cada método de cubagem em comparação ao resultado do volume obtido pela equação utilizada pela empresa.

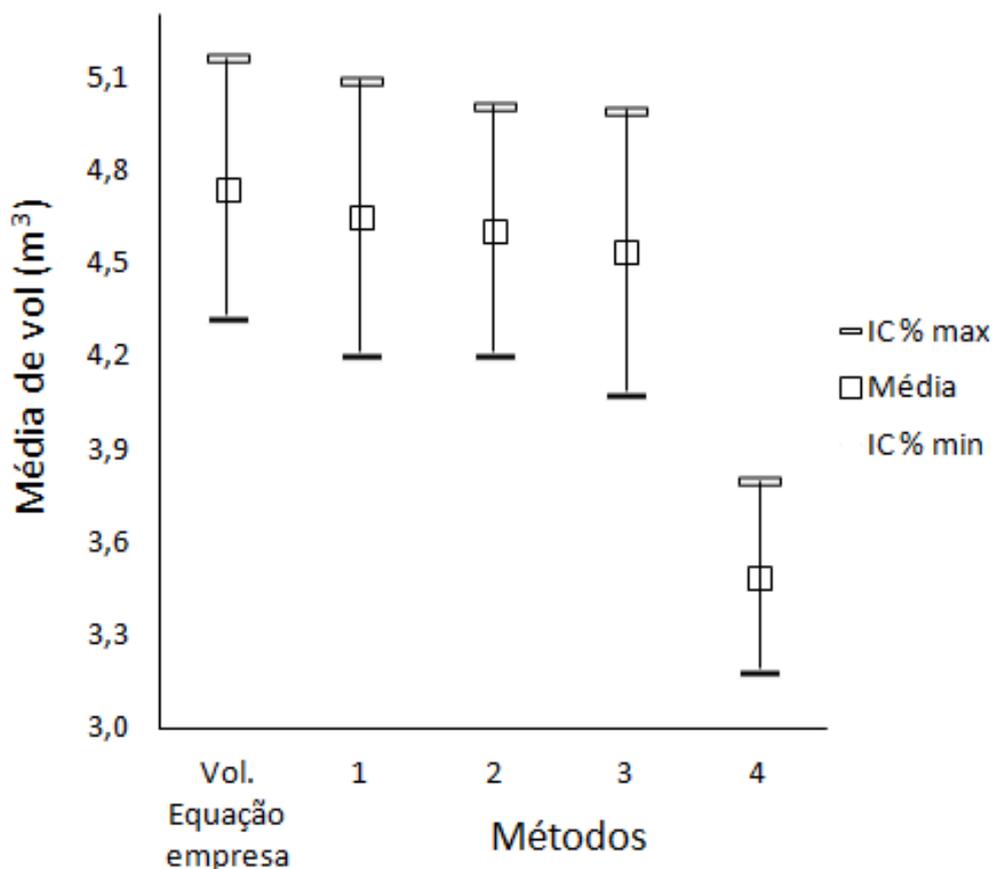


Figura 13. Intervalos de confiança entre os métodos de cubagem testados e o uso do fator de forma médio para estimativas de volume obtidas pela equação de volume utilizada pela empresa

Onde:

Vol

1 = Combinação dos métodos (Smalian e Hohenadl)

2 = Geométrico (Smalian)

3 = Huber

4 = Fator de forma médio 0,7

No gráfico é possível observar que os métodos 1, 2 e 3 mostraram resultados próximos com menor variação de erro, apresentando graficamente comportamentos semelhantes entre o volume observado e os estimados pelos métodos, com média de volume por tora de  $4,6\text{m}^3 \pm 0,44$ . Já o método 4 apresentou média de volume pouco mais distante em comparação com a média do volume observado, tornando-se inferior as médias obtidas pelos demais métodos.

No geral, os métodos 1 e 2 apresentaram menor variação de erro em relação a média de volume obtida pela equação da empresa e o uso do fator de forma médio 0,7 (4) apresentou maior variação de erro em comparação a média dos demais métodos de cubagem e a média do volume da equação da empresa.

A análise de variância entre os métodos de cubagem e o uso do fator de forma médio 0,7 (apêndice 2) mostrou fortes evidências ( $p > 0,02$ ) de que há diferença entre as médias de volume. Porém, quando realizada a ANOVA somente para os métodos de cubagem direta (combinado, geométrico e Huber) a análise de variância mostra que não há diferença entre os métodos ( $p > 0,95$ ) com evidência extremamente fraca segundo a tabela de verossimilhança do IPCC. Portanto, é indicado que pode-se utilizar qualquer um dos métodos de cubagem diretos analisados neste estudo para a obtenção do volume de árvores.

Os resultados desta pesquisa corroboram com os resultados encontrados por Miranda et al. (2013), que ao compararem três métodos de cubagem diretos (Smalian, Huber e Newton) para toras de *Mezilaurus itauba* (Meissn.) Taub., verificaram que os métodos não diferem estatisticamente entre si, e que portanto o uso de um método ou outro para a cubagem rigorosa de árvores está ligado apenas ao hábito do mensurador.

#### 5.2.1. Comparação entre classes de diâmetro

Os desvios para os volumes médios por classes de diâmetros pelos diferentes métodos foram analisados e estão apresentados na tabela 9. Porém, quando os desvios são comparados por classes de DAP as tendências observadas são de subestimativas dos volumes em sua grande maioria. De forma geral a classe superior apresentou desvios negativos, indicado superestimativas dos volumes obtidos pelos métodos de cubagem analisados e desvio positivo apenas para o uso do fator de forma médio 0,7, que por sua vez apresenta desvios positivos em ambas as classes analisadas.

Vale ressaltar que esta forma de se obter o volume de madeira, ainda é bastante utilizada em atividades de manejo florestal pela Amazônia, uma vez que as empresas que trabalham com manejo na Amazônia não têm o cuidado em obter uma equação de volume para o sítio manejado por entender que atividade de ajuste de equação é onerosa.

No método geométrico essas superestimativas são vistas nas classes inferior e superior. Porém no método de Huber é possível perceber que apenas na classe superior observou-se superestimativa de volume. Já o menor erro visto foi no método geométrico na classe inferior. Com esses resultados nota-se que o erro aumenta de acordo com o aumento de diâmetro dos indivíduos.

Em literaturas clássicas de volumetria como Machado e Nadolny (1991) e Figueiredo Filho *et al.* (2000), todos obtiveram erros menores para classes diamétricas inferiores, corroborando com este estudo, onde os menores erros foram observados nas classes inferior e média (diâmetros intermediários), porém nesta mesma pesquisa de Machado e Nadolny (1991), dos diferentes métodos testados o de Huber foi o que apresentou os menores desvios corroborando, enquanto que nesta pesquisa os menores desvios foram observados no método que utiliza o fator de forma médio.

Tabela 9. Volume médio (m<sup>3</sup>) por classe de diamétrica, obtidos pelos métodos de cubagem e respectivos desvios em %.

CD	Comb	D %	Geom	D %	Huber	D %	F 0,7	D %
Inf	2,706	7,14	2,922	-0,81	2,607	10,65	2,143	26,18
Med	4,579	5,35	4,677	2,40	4,448	8,37	3,547	27,02
Sup	7,480	-16,19	6,838	-4,16	7,394	-13,87	5,277	23,68

Classes de diâmetros

Onde:

Inf = 50 < 62,5 cm

Med = 62,5 < 80,0 cm

Sup = > 80 cm

### 5.2.2. Comparação entre classes de comprimento (altura comercial)

Para a análise do comportamento dos diferentes métodos de cubagem aplicados em diferentes comprimentos, esses comprimentos foram separados em classes e construídos gráficos com os desvios em % (figura 14).

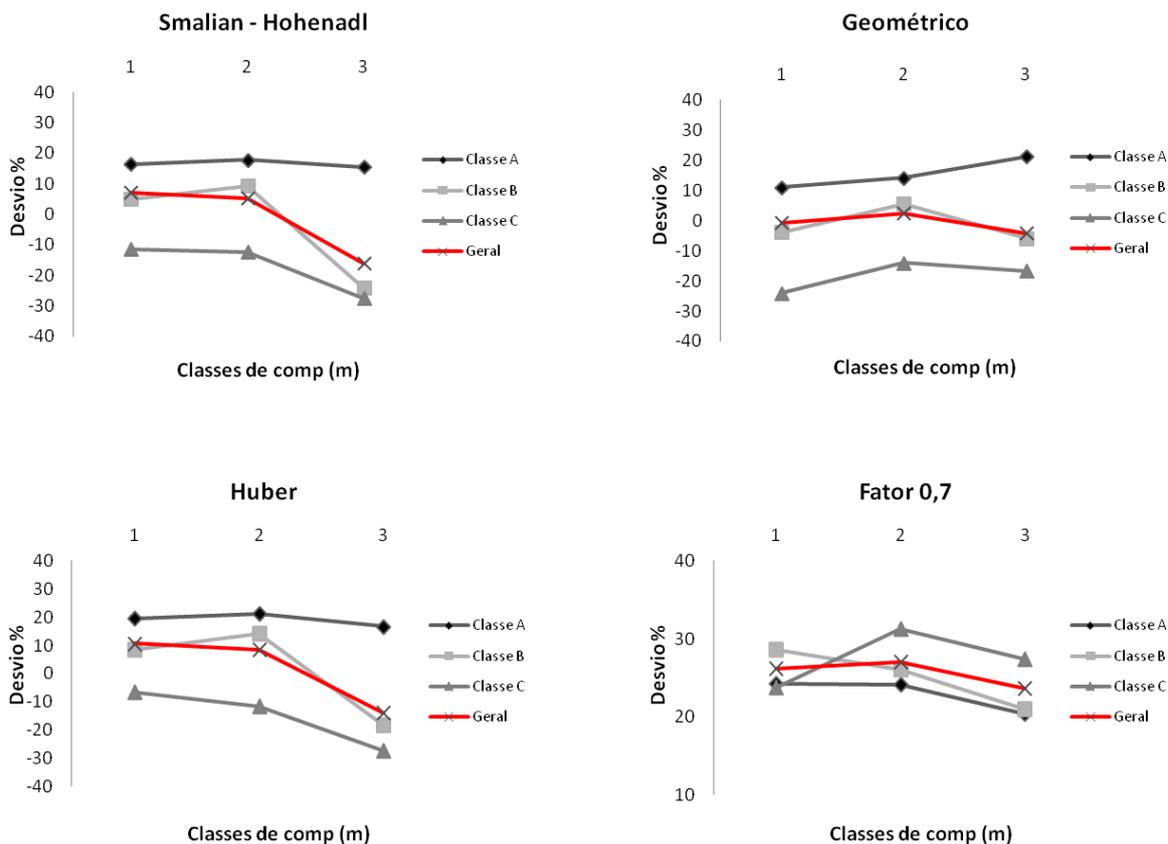


Figura 14. Desvios (%) para o volume médio de toras por método de cubagem: Combinado (Hohenadl-Smalian), Geométrico, Huber e fator de forma 0,7 para árvores agrupadas em três classes de comprimentos.

Classes de comprimento

Onde:

1 =  $8,47 < 13,35$  (inferior)

2 =  $13,35 < 16,90$  (intermediária)

3 =  $> 16,90$  (superior)

Classes de diâmetros

Classe A =  $50 < 62,5$  cm

Classe B =  $62,5 < 80,0$  cm

Classe C =  $> 80$  cm

No método combinado (Smalian - Hohenadl), observa-se que quanto maior o comprimento da tora, maior é a tendência deste método em apresentar desvios negativos, porém este comportamento é diferente para as árvores de menores diâmetros, neste caso os desvios se mantêm de forma constante não sendo influenciado pelo comprimento da tora.

No gráfico do método geométrico este comportamento é inverso ao comportamento do método anterior. Neste caso, as toras de maior comprimento apresentaram desvios menores que no método anterior nas classes de diâmetros B e C, já a classe A o desvio aumentou para as toras de maior comprimento. Na classe A, as toras de menores comprimentos e comprimentos intermediários o desvio se manteve constante, porém houve o aumento do desvio para as toras de maiores comprimentos.

Já o método de Huber apresentou tendências muito próximas às apresentadas pelo método combinado, porém com diferenças tão pouco acentuadas que se torna quase que impossível verificar no gráfico.

O uso de fator de forma médio foi o único que apresentou desvios positivos em todas as circunstâncias analisadas, mostrando desvios quase que constantes para as classes de comprimentos inferiores e intermediárias e diminuição dos desvios para as toras de maiores comprimentos, porém, o uso do fator de forma 0,7 apresentou um comportamento diferente dos métodos diretos.

Machado et al. (2006) ao analisarem quatro métodos de cubagem: Centróide, Huber, Smalian e Newton por meio de gráficos com desvios em %, combinando três comprimentos de seções 1, 2 e 4 metros, obtiveram comportamentos semelhantes aos encontrados neste estudo. Miranda et al. (2013) ao comparar os métodos Geométrico (Smalian), Huber e Newton em toras com diferentes comprimento, observou os desvios negativos que aumentaram em função do comprimento da tora acarretando superestimativa do volume das seções.

### 5.3. Equações de volume

As estimativas dos coeficientes da regressão e as estatísticas de precisão obtidas nos ajustes dos quatro modelos de simples e dupla entrada estão apresentadas na tabela 10.

Analisando a tabela 10, de maneira geral todos os quatro modelos testados mostraram desempenho satisfatórios em relação às estatísticas analisadas: coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj.}$ ) e erro padrão da estimativa ( $Syx\%$ ) apresentado ajuste superiores a 95%. No geral, a média do  $R^2_{aj.}$  de todos os modelos ajustados foi de  $0,97 \pm 0,01$  e a média do erro foi de  $1,83\% (\pm 0,44)$ , sendo os maiores coeficientes de determinação ajustados para os modelos de dupla entrada (variáveis independentes Hc e vol).

Todos os modelos ajustados apresentaram critérios de seleção satisfatórios, com coeficientes de determinação ajustados superiores a 0,90% demonstrando um excelente indicativo visto que o  $R^2_{aj}$  é de no máximo 1,0.

Tabela 10. Coeficientes dos modelos ajustados

Equação	Coeficientes estimados			$R^2_{aj}$	Sxy (%)	Incerteza
	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$			
Husch	0,000723	2,054454		0,95	2,22	4,44
Schumacher-Hall	0,000270	1,835192	0,706365	0,98	1,40	2,80
Kopezi-Gehhardt	-0,170187	0,000947		0,96	2,22	4,43
Spurr	0,687794	0,000050		0,98	1,50	3,00

Separando os modelos em simples e dupla entrada, é possível observar que dentre os modelos de simples entrada (tabela 10), o modelo de Kopezi-Gehhardt apresentou alto  $R^2_{aj}$ , onde 0,96% da variável volume foi explicada pelo modelo de regressão, sendo superior ao apresentando por Husch 0,95%. Em termos de Syx% (erro) os dois modelos apresentaram valores abaixo de 10%, sendo assim ambos podem ser indicados para o ajuste de equações de volume quando utilizado apenas uma variável independente.

Nos modelos de dupla entrada os parâmetros analisados foram superiores aos parâmetros obtidos nos modelos de simples entrada, ambos apresentaram  $R^2_{aj}$  superior a 0,95% e erro (Syx%) inferiores a 2%, assim as equações que consideram tanto o diâmetro quanto a altura produzem melhores resultados quanto ao seu ajuste, corroborando com os resultados obtidos por Lansanova et al. (2018), que compararam 10 modelos volumétricos de simples e dupla entrada em uma área de manejo na Amazônia no estado do Mato Grosso e obtiveram resultados semelhantes.

Rolim et al. (2006) ao testaram 12 modelos volumétricos de simples e dupla entrada observaram que, o modelo de dupla entrada de Schumacher Hall foi o que melhor se ajustou para estimar a volumetria de árvore em pé, corroborando com os resultados obtidos neste estudo.

No entanto, não se pode dizer que os modelos de simples entrada não são indicados para estimar a volumetria de árvores, uma vez que todos os quatro modelos testados apresentaram bons ajustes. Além das estatísticas obtidas nos ajustes, deve-se

levar em consideração a realidade com que as variáveis utilizadas nesta pesquisa são coletadas nas atividades florestais. O DAP que é mensurado a 1,30m do solo, já a altura comercial é uma variável difícil de ser mensurada e que muitas vezes é quase que impossível de ser obtida e quando medida, conseqüentemente são atribuídas incertezas em suas estimativas por conta de erros não amostrais cometidos. É necessário fazer esta reflexão antes de considerar que equações de volume de dupla entrada (considerando altura principalmente) são as opções mais indicadas para estimativas de volume.

Na análise gráfica dos resíduos (figuras 15 e 16) foi possível verificar que, os modelos ajustados forneceram uma boa dispersão residual, com proporcionalidade entre valores subestimados e superestimados, apesar de a análise de resíduos dos modelos de simples entrada mostrarem maior variação quando comparados com a análise de resíduos dos modelos de dupla entrada. Esta relação é evidente principalmente para os modelos de dupla entrada (Schumacher-Hall e Spurr) que apresentam melhor distribuição residual, com menor amplitude de erro e melhor proporção entre sub e superestimativas. Tal característica pode ser explicada por considerar duas variáveis independentes no ajuste da equação.

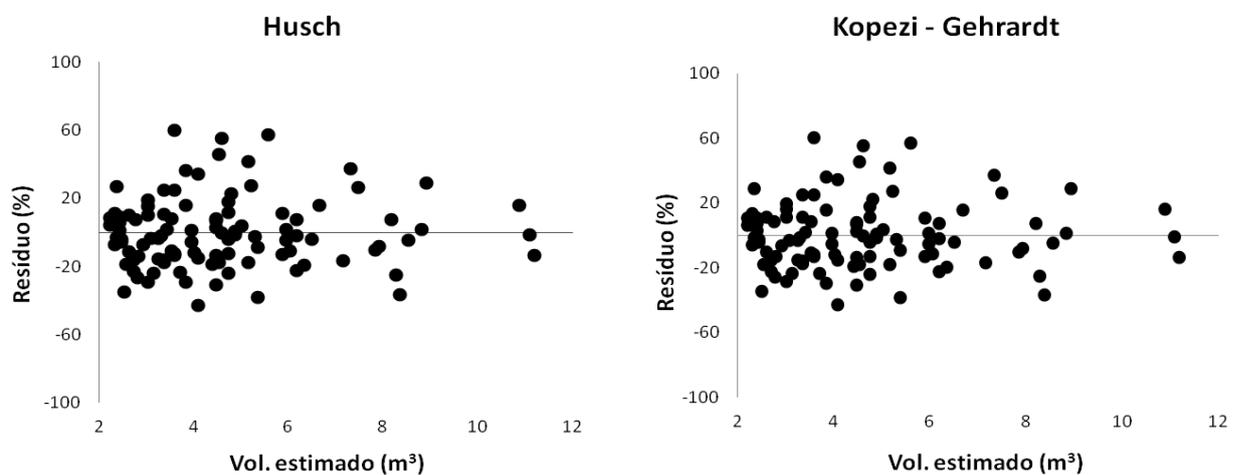


Figura 15. Distribuição gráfica de resíduos para o volume estimado pelas equações de simples entrada

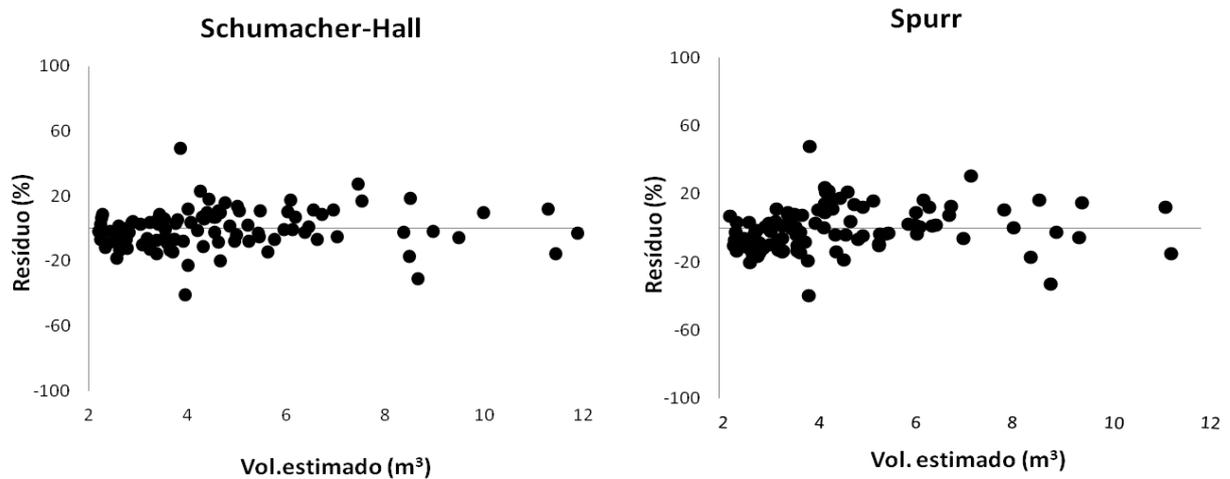


Figura 16. Distribuição gráfica de resíduos para volume estimado pelas equações de dupla entrada

Para efeito de observação (figura 17) foram plotados os volumes obtidos por meio de três equações de volume:

- Equação utilizada pela empresa MIL Madeiras (região central de Manaus);
- Equação gerada neste estudo; e
- Equação gerada por Lima, ajustada para a própria área em questão.

E assim, realizar uma comparação do comportamento dos volumes de acordo com cada equação aplicada aos dados coletados neste estudo. Entretanto as equações seguiram um padrão de coleta de dados diferente, uma vez que, para as equação utilizada para a empresa o DAP mínimo de inclusão foi  $DAP > 10$  cm, para a equação ajustada por (Lima, 2010) o DAP mínimo foi  $> 45$  cm, enquanto que para a equação ajustada neste estudo, foi considerado o DAP mínimo  $> 50$  cm, conforme legislação ambiental vigente que considera DMC superior a 50 cm.

No gráfico é possível observar que a dispersão dos volumes em relação ao DAP apresenta tendência exponencial para as três equações analisadas, destacando a equação gerada neste estudo e a gerada por Lima, 2010, com comportamentos de dispersão dos volumes constantes em relação à reta.

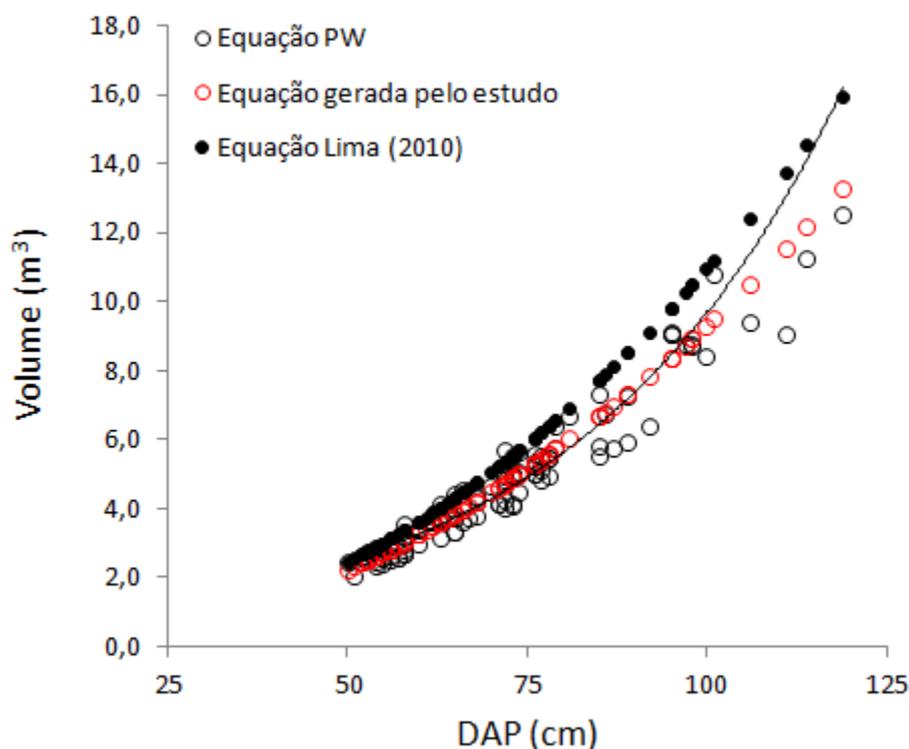


Figura 17. Dispersão dos volumes em função do diâmetro a altura do peito (DAP)

#### 5.4. Comparação entre volume licenciado e o efetivamente produzido

A safra de 2019/2020 a empresa maneja 42 espécies. O volume de madeira em tora estimado pelo inventário dessas espécies foi 179.504,5 m<sup>3</sup>. Para fins de comparação utilizou-se 19 espécies. O estudo cubou 469,10 m<sup>3</sup> de madeira em tora.

Na safra de 2019/2020 a empresa trabalhou com um número de 42 espécies selecionadas para exploração que somaram um volume estimado pelo inventário de 179.504 m<sup>3</sup> em tora. Para cumprir este objetivo foram consideradas 19 espécies (tabela 04) do número total de espécies selecionadas para exploração na safra 2019/2020, com volume total cubado de 469,10 m<sup>3</sup> em tora. Este estudo já mostrou o quanto de volume é efetivamente produzido por indivíduo e suas diferenças quando comparado com o volume de madeira em pé.

Na última linha da tabela 11 estão as diferenças em percentagem (%) das diferenças de volume obtidas neste estudo. Desta maneira foi possível confrontar estas discrepâncias com o valor licenciado para a exploração na UPA SBT.

Tabela 11. Comparação entre o volume pré-exploratório com o volume efetivamente produzido obtidos pelos diferentes métodos de cubagem utilizados no estudo

<b>Volume licenciado safra 2019/2020</b>	<b>Método combinado</b>	<b>Método geométrico</b>	<b>Método Huber</b>
179.504,5 m <sup>3</sup>	175.915,4 m <sup>3</sup>	174.299,8 m <sup>3</sup>	171.786,8 m <sup>3</sup>
29,910 m <sup>3</sup> /ha	29,319 m <sup>3</sup> /ha	29,050 m <sup>3</sup> /ha	28,631 m <sup>3</sup> /ha
Perda (%)	- 2,04 %	- 2,99 %	4,49- %

Observa-se que os volumes estimados utilizando as diferenças em (%) apresentadas pelos três métodos de cubagem, são inferiores ao volume pré-exploratório (volume licenciado). Neste caso o método de Huber foi o que apresentou o menor resultado, com uma diferença 7.718,7m<sup>3</sup> de diferença de volume em comparação ao volume observado, enquanto que o método combinado (Smalian-Hohenadl) apresentou o volume mais próximo ao observado com diferença de apenas 3.589,1m<sup>3</sup>.

Com base nesta produção de volume licenciada para a UPA SBT, nenhum método de cubagem utilizado mostrou superestimar o volume obtido pela equação de volume utilizada pela empresa.

O ideal seria realizar um comparativo deste estudo com pesquisas similares, no entanto, trabalhos desta natureza procuram comparar “métodos de cubagem direta x método de cubagem direta”, em sua grande maioria em florestas plantadas. Porém, a temática volumetria de madeira ainda é um tema que apesar de existirem bons trabalhos publicados a cerca desta problemática é necessária ser discutida e ampliada, uma vez que as estimativas de volume de madeira é a ferramenta fundamental dentro da floresta para o planejamento e monitoramento seja de florestas naturais ou plantadas (Leite et al., 2011).

Esse resultado mostra a problemática que empresas florestais enfrentam em torno de volumetria de madeira. A subestimativa do volume de madeira produzindo frente ao volume planejado (pré-exploratório), implica diretamente em todo o planejamento pré - exploratório elaborado para a execução das atividades envolvidas, comprometendo diversos cenários atribuídos a atividade de manejo florestal. Todo esse cenário implicará em:

- Maior quantidade de áreas a serem manejadas para concluir a safra planejada;
- A empresa trabalha com um rendimento médio estabelecido por espécie e produtos, desta forma toda a projeção de produtos é realizada com base no volume em tora que posteriormente foi definido com base nas estimativas do inventário, implicando diretamente nas vendas

## 6. CONCLUSÃO

- O volume autorizado está sendo estimado de forma inadequada;
- O estudo sugere que sejam ajustadas equações sítio-específicas para cada área manejada. Uma vez que a equação utilizada pela empresa não foi ajustada para o local. Uma das alternativas para o ajuste de equações é o uso de dados de árvores caídas naturalmente na floresta.

## 7. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ALENCAR, A.; NEPSTAD, D.; MCGRATH, D.; MOUTINHO, P.; PACHECO, P.; DIAZ, M. D. C. V.; MARIA, D. C. V. D.; FILHO, B. S. 2004. Desmatamento na Amazônia: Indo além da “emergência crônica”. Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia – IPAM.

ALMEIDA, A. N.; HUMBERTO, A.; SILVA, J. C. G.L.; HOEFLIC, A. 2010. Mercado de madeiras tropicais: substituição na demanda de exportação. Acta Amazônica. vol. 40 (1): 119 – 126.

AMARAL, P.H.C.; VERÍSSIMO, A.; BARRETO, P.G.; VIDAL, E.J.S. 1998. Floresta para sempre: um manual para produção de madeira na Amazônia. Belém: Imazon. 137p.

ANDRADE, K. D. C. 2017. Estimativa do coeficiente de rendimento volumétrico em serraria de grande porte no Amazonas: Uma peça-chave para disciplinar os créditos virtuais de madeira tropical. Dissertação de Mestrado em Ciências de Florestas Tropicais. Manaus: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA, 75p.

ANDRADE, V. C. L.; SOUZA, A. L.; AMARO, M. A.; COSTA, W. S.; SOARES, C. P. B. 2016. Perfil do fuste de *Anadenanthera peregrina* descrito pelo método da altura relativa. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 26, n. 3, p. 875-887.

AVERY, T.E.; BURKHART, H.E. Forest measurements. 4.ed. New York: McGrawHill, 1997. 408p. (McGraw-Hill series in forest resources).

BARROS, S. V. S.; MUNIZ, G. I. B.; MATOS, J. L. M. 2014. Caracterização colorimétrica das madeiras de três espécies florestais da Amazônia. CERNE. V. 20 n. 3. p. 337-342.

CAMPARI, J. S. 2005. The Economics of Deforestation in the Amazon. 1. ed. Cheltenham: Edward Elgar Publishing, p. 242.

CAMPOS, J.C.C. 1988. Dendrometria. Viçosa: UFV. p.43.

CAMPOS, J.C C.; LEITE, H.G. 2013. Mensuração florestal: perguntas e respostas. 4ª ed. Viçosa, MG: Editora UFV. v. 1. p.605.

FAO-FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Manual of forest inventory, with special reference to mixed tropical forest. Roma, 1973. p.200.

FERREIRA, M. D. P. 2015. Desmatamento Recente nos Estados da Amazônia Legal: uma análise da contribuição dos preços agrícolas e das políticas governamentais<sup>1</sup>.

FERREIRA, L. V.; VENTICINQUE, E.; ALMEIDA, S. 2005. O desmatamento na Amazônia e a importância das áreas protegidas

GOMES, A.M.A. 1957. Medição dos arboredos. Lisboa: Livraria Sá da Costa. p.413.

HEINSDIJK, D.; BASTOS, A. M. 1963. Inventários florestais na Amazônia. Boletim do Serviço Florestal, 6: p. 1-100.

HUMMEL, A. C. 2001. Normas de Acesso ao Recurso Florestal na Amazônia Brasileira: o caso do manejo florestal madeireiro. Dissertação de mestrado em Ciências de Florestas Tropicais. Manaus: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA, 104p.

ITTO. 2015-2016. Reseña Anual y Evaluación de la Situación Mundial de las Maderas 2011. p.10.

PÉLLICO NETTO, S. 2004. Equivalência volumétrica: uma nova metodologia para estimativa do volume de árvores. Revista Acadêmica: ciências agrárias e ambientais, v. 2, n. 1, p. 17-30.

PEREIRA, D.; SANTOS, DANIEL.; VEDOVETO, M.; GUIMARAES, J.; VERÍSSIMO, A. 2010. Fatos Florestais da Amazônia. p. 34.

LANSSANOVA, L. R.; SILVA, F. A.; SCHONS, C. T.; PEREIRA, A. C. S. 2018. Comparação entre diferentes métodos para estimativa volumétrica de espécies comerciais da Amazônia. BIOFIX Scientific Journal, Paraná, v. 3, n. 1, p. 109-115.

LEITE, F. S.; REZENDE, A. V. 2010. Estimativa do volume de madeira partindo do diâmetro da cepa em uma área explorada de floresta amazônica de terra firme. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 20, n. 1, p. 69-79.

LENTINI, M.; VERÍSSIMO, A.; PEREIRA, D. 2005. A Expansão Madeireira na Amazônia.

LIMA, G. C. P.; KOHLER, S. V.; SILVESTRE, R.; NAVROSKI, M. C.; BONAZZA, M.; ALLEGRETTI, G.; SCARIOTI, R. 2016. Acuracidade de Métodos de Cubagem para Estimativa do Volume de *Pinus taeda* L. BIOFIX Scientific Journal, Paraná, v.1, n.1, p. 74-82.

MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. 2009. Dendrometria. 2. ed. Guarapuava: Unicentro. p. 316.

RIBEIRO, R. B. da. S.; GAMA, J. R. V.; MELO, L. O. 2014. Seccionamento para cubagem e escolha de equações de volume para a floresta nacional do tapajós. CERNE. v. 20, n.4, p.605-612.

SABOGAL, C.; LENTINI, M.; POKORNY, B.; SILVA, J. N. M.; ZWEEDE, J.; VERÍSSIMO, A.; BOSCOLO, M. 2005. Manejo florestal empresarial na Amazônia brasileira: Restrições e oportunidades. *CIFOR*, Belém, Pará, 99p.

SANTANA, A. C.; SANTOS, M. A. S.; SANTANA, A. L.; YARED, A. G. 2012. O valor econômico da extração manejada de madeira no baixo amazonas, estado do Pará. Revista Árvore, Viçosa-MG, v.36, n.3, p.527-536.

SCOLFORO, J.R.S.; FIGUEIREDO FILHO, A. Mensuração florestal 2: volumetria. Lavras: ESAL/FAEPE, 1993. p.126.

SILVEIRA, L. H. C.; REZENDE, A. V.; VALE, A. T. 2013. Teor de umidade e densidade básica da madeira de nove espécies comerciais amazônicas. ACTA AMAZONICA. Vol. 43(2). p.179-184.

SOARES, C. P. B.; NETO, F. de. P.; SOUZA, A. L. 2011. Dendrometria e inventário florestal: 2. ed. Viçosa, MG: Editora UVF. p. 272.

SOARES, T. S.; GARCIA, H. G.; VALE, A. B.; SOARES, C. P. B.; SILVA, G. F. Avaliação de um modelo de passo invariante na predição da estrutura de um povoamento de *Eucalyptus* sp. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v.31, n.2, p.275-283, 2007

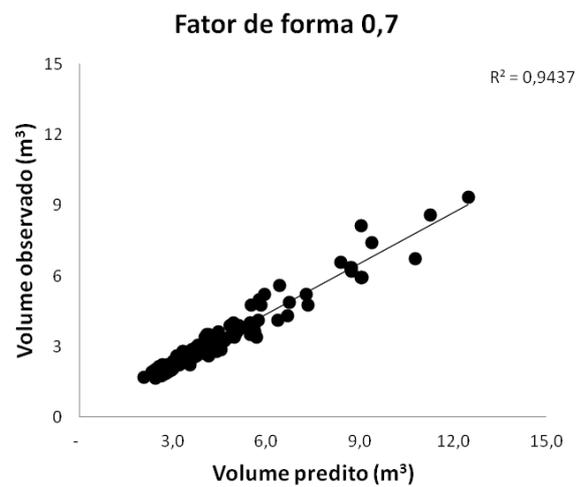
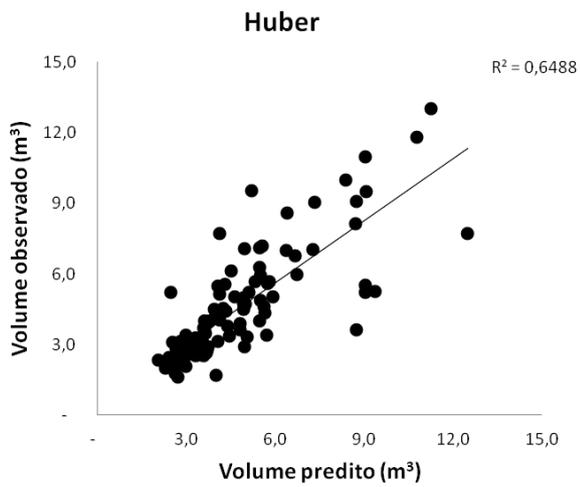
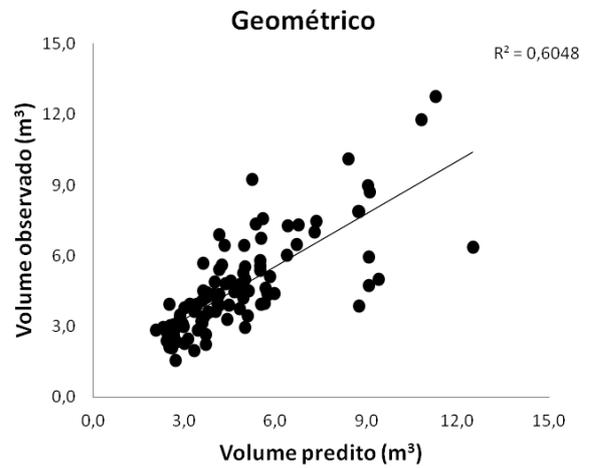
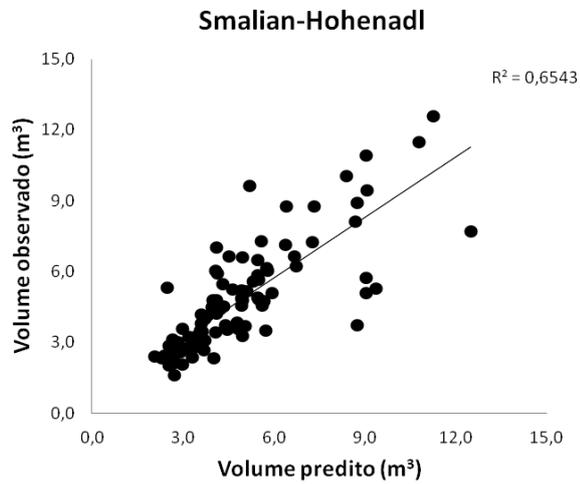
THOMAS, C.; ANDRADE, C.M.; SCHNEIDER, P.R.; FINGER, C.A.G. 2006. Comparação de equações volumétricas ajustadas com dados de cubagem e análise de tronco. *Ciência Florestal*, 16(3): p.319-327. Viçosa – MG: edição

VERÍSSIMO, A.; COCHRANE, M.; SOUZA JR., C. National forests in the Amazon. *Science*, v. 297, n. 1478. 2002.

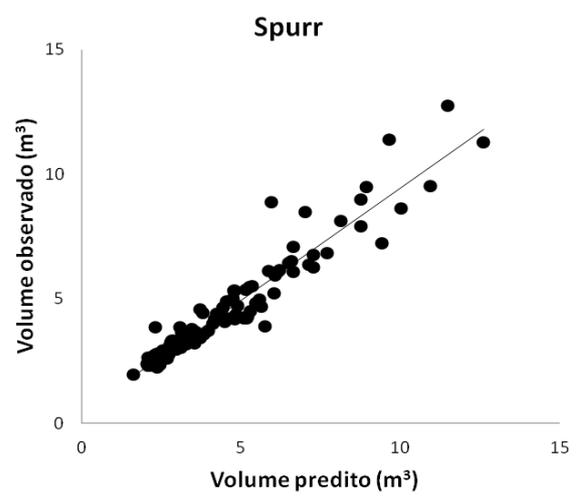
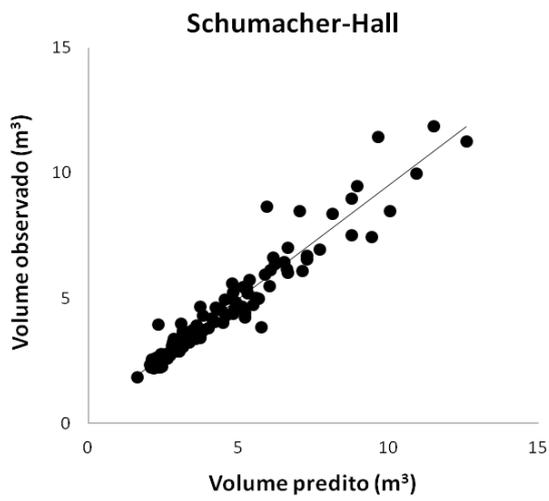
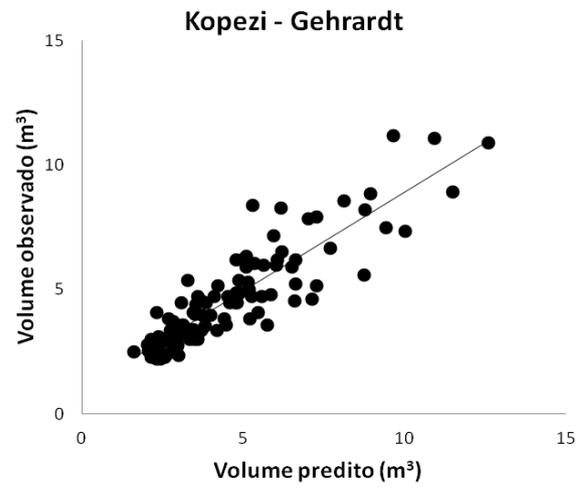
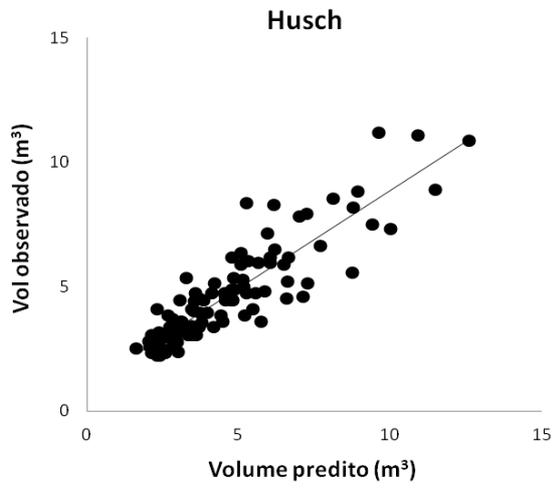
VERÍSSIMO, A.; SOUZA JR.; C., CELENTANO, D.; SALOMÃO, R.; PEREIRA, D. & BALIEIRO, C. 2006. Áreas para produção florestal manejada: Detalhamento do Macrozoneamento Ecológico Econômico do Estado do Pará. Relatório para o Governo do Estado do Pará.

## 8. APÊNDICES

### APÊNDICE 1 – Gráficos de preditos e observados por método de cubagem



APÊNDICE 2 – Gráficos de preditos e observados por equação de volume ajustada



APÊNDICE 3 – Análise de variância (ANOVA)

Quadro 1: Análise de variância (ANOVA) para os métodos de cubagem

Fonte da variação	GL	SQ	MQ	F	p
Tratamentos	4	35,49044	8,87261	2,862481	0,0277
Resíduo	90	278,966	3,099622		
Total	94	314,4564			