



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ  
INSTITUTO DE BIODIVERSIDADE E FLORESTAS**

**MODELOS GENÉRICOS E ESPECÍFICOS PARA ESTIMATIVA DO  
VOLUME COMERCIAL NA FLORESTA NACIONAL DO TAPAJÓS:  
UMA REVISÃO DE LITERATURA**

GISELE DE AGUIAR LIMA

SANTARÉM, PARÁ

Setembro de 2018



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ  
INSTITUTO DE BIODIVERSIDADE E FLORESTAS**

**MODELOS GENÉRICOS E ESPECÍFICOS PARA ESTIMATIVA DO  
VOLUME COMERCIAL NA FLORESTA NACIONAL DO TAPAJÓS:  
UMA REVISÃO DE LITERATURA**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado ao Instituto de Biodiversidade e Florestas, da Universidade Federal do Oeste do Pará, para a obtenção do título de Bacharel Interdisciplinar em Ciências Agrárias.

**Orientado:** Gisele de Aguiar Lima

**Orientador:** Renato Bezerra da Silva Ribeiro

SANTARÉM, PARÁ

Setembro de 2018

GISELE DE AGUIAR LIMA

**MODELOS GENÉRICOS E ESPECÍFICOS PARA ESTIMATIVA DO  
VOLUME COMERCIAL NA FLORESTA NACIONAL DO TAPAJÓS  
(FLONA)**

**REVISÃO DE LITERATURA**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado ao Instituto de Biodiversidade e Florestas, da Universidade Federal do Oeste do Pará, para a obtenção do título de Bacharel Interdisciplinar em Ciências Agrárias.

Aprovado em 11 de setembro de 2018

**COMISSÃO EXAMINADORA**

---

Prof. MSc. Renato Bezerra da Silva Ribeiro – Presidente/Orientador  
(UFOPA)

---

Prof. MSc. Lucas Cunha Ximenes – 1º Examinador  
(UFOPA)

---

Engenheira Florestal Karla Mayara Almada Gomes – 2º Examinadora  
(PPGCF-UFRA)



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, pelo dom da vida.

À minha família, em especial a meus pais, pelo amor recebido e apoio nos momentos de dificuldade.

Ao professor Renato Bezerra da Silva Ribeiro pela confiança, parceria e incentivo na produção deste trabalho.

A meus amigos da Engenharia Florestal 2014.

**SUMÁRIO**

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>3</b>
2.1 FLORESTA AMAZÔNICA .....	3
2.2 FLORESTA NACIONAL DO TAPAJÓS .....	3
2.3 MANEJO FLORESTAL SUSTENTÁVEL.....	4
2.4 OBTENÇÃO DO VOLUME DO FUSTE.....	5
<b>2.4.1 Fator de forma.....</b>	<b>5</b>
<b>2.4.2 Cubagem rigorosa.....</b>	<b>6</b>
2.5 ESTIMATIVA VOLUMÉTRICA.....	8
<b>2.5.1 Ajuste de equações volumétricas .....</b>	<b>8</b>
<b>2.5.2 Seleção de modelos.....</b>	<b>10</b>
<b>2.5.3 Modelos genéricos .....</b>	<b>10</b>
<b>2.5.4 Modelos específicos .....</b>	<b>11</b>
<b>3 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>13</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>13</b>

## RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo realizar uma revisão literária sobre os diferentes métodos para estimar o volume de madeira, com ênfase nos modelos genéricos e específicos, visando qual destes possui melhor aproveitamento madeireiro, para Floresta Nacional do Tapajós. A revisão aborda tópicos como fator de forma, cubagem rigorosa, ajuste de equações volumétricas – mostrando modelos de simples e dupla entrada. Os modelos genéricos podem estimar volume por unidade de área, abrangendo os indivíduos de interesse independente da espécie, mas apresentam grandes variações de erros de estimativa, pois há restrição no número de variáveis dependentes. Os modelos específicos são recomendados para florestas nativas, devido a diversidade de tamanho e de características dendrométricas que as espécies apresentam, assim o ganho em exatidão de estimativa, podendo ser maior que o de modelos genéricos. Há a necessidade da realização estudos na Floresta Nacional do Tapajós com esses modelos estudados, pois o aproveitamento de madeira pode ser melhorado quando escolhido o que tem maior precisão na estimativa volumétrica.

**Palavras-chave:** Análise de regressão; Manejo Florestal; Amazônia.

## ABSTRACT

The objective of this work is to carry out a literary review of the different methods of estimating the volume of wood, with emphasis on generic and specific models, in order to find out what is the best use of logging, for Tapajos National Forest. The review addresses topics such as form factor, rigorous copper, adjustment of volumetric equations - showing simple and double input models. Generic models can estimate volume per unit of area, including individuals of interest independent of the species, but present large variations of estimation errors, since there is a restriction on the number of dependent variables. The specific models are recommended for native forests due to the diversity of size and dendrometric characteristics that the species present, but the estimate of estimation may be greater than that of generic models. There is a need to carry out studies in the Tapajos National Forest as essays studied, since the use of wood can be improved when choosing what is most accurate in the volumetric estimation.

**Keywords:** Regression analysis; Forest manage; Amazonia.

## 1 INTRODUÇÃO

Fatores como o crescimento populacional e pressões do mercado econômico geram problemas inevitáveis como desmatamento e o aparecimento de fragmentos florestais (LEITE & REZENDE, 2010).

A contribuição da ciência florestal na questão da utilização correta e racional das florestas tropicais, com intuito de diminuir a exploração predatória e desordenada pode ser feita: primeiramente manejando de forma adequada as florestas nativas da Amazônia; e em segundo lugar, realizando a determinação de forma precisa da produção florestal, com embasamento em modelos matemáticos para estimar o volume de madeira, variável importante para realizar o planejamento do uso racional dos maciços florestais, bem como o manejo e exploração de florestas (BARROS, 2009).

Buscar o conhecimento correto do estoque de floresta, para se planejar a curto, médio e longo prazo, é justificado pelo fato de que o setor florestal ocupa um lugar importante no desenvolvimento econômico do país (CABACINHA, 2003). O volume é uma informação de suma importância para obtenção de dados do potencial disponível em uma área florestal, uma vez que o volume árvore a árvore fornece dados para a averiguação do estoque madeireiro e avaliação do potencial de produção da área em questão (THOMAS, et al., 2006).

É indispensável que a quantificação do maciço de povoamentos florestais seja realizada, para a implementação de planos de manejo de florestas. Para realizar tal atividade é necessário fazer inventários florestais - medição de parte do povoamento, por unidades de amostra ou por parcelas; com os resultados obtidos extrapola-se para a área total, com informações que fornecem subsídios para o planejamento de operações para a floresta, obtendo-se estimativas da quantidade e distribuição do estoque de madeira disponível (LEITE & ANDRADE, 2002). Pode-se dizer que a equação de volume é um apêndice do inventário florestal e que sem ela não é possível o cálculo de volume de madeira (GIMENEZ, 2014).

O ajuste de equações volumétricas desenvolvidas especificamente para as áreas dos Planos de Manejo Florestal Sustentável constitui o procedimento mais eficiente, econômico e com precisão aceitável para a quantificação da produção em volume da floresta (BARROS, 2009). As diferentes maneiras de obtenção e aplicação da quantificação da volumetria florestal é estimulado devido ao fato de que os pequenos ganhos em precisão individual resulta em ganhos significativos quando se avalia os valores da área total. (CORDEIRO et al., 2015). Segundo Akindele (2005), há três maneiras para obtenção de

equações volumétricas para florestas tropicais: a primeira é por espécies individuais, a segunda é para todas as espécies combinadas e a terceira é por grupo específico de espécies.

Diante disso, este trabalho propõe-se a discorrer sobre os métodos de estimativas volumétricas, com modelos genéricos (todas as espécies) e específicos (por espécies individuais), com base na literatura, a fim de propor a melhor alternativa a ser adotada visando um melhor aproveitamento de madeira na Floresta Nacional do Tapajós.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 FLORESTA AMAZÔNICA

Floresta é definida como uma área de terra com mais de 0,5 hectares, com árvores superiores a 5 metros e uma cobertura de dossel de mais de 10%, ou árvores capazes de atingir esses limiares *in situ*, não incluindo terra que seja predominantemente usada para fins agrícolas ou área urbana (FAO, 2004). A Amazônia é formada pela maior área florestal de nativas do Brasil, com uma alta diversidade de espécies florestais, apresentando espécies com alto valor comercial. (ANDRADE, 2016).

Segundo Leite (2008), a conservação ambiental da floresta amazônica é um dos principais desafios de governos e gestores públicos que atuam para garantir o uso e conservação dos recursos naturais na região. Uma nova expectativa de políticas relacionadas à floresta para a Amazônia iniciou após a declaração do Programa Nacional de Integração, na década de 1970, agregada a conhecimentos científicos sobre manejo florestal em atividade madeireira (LORIS, 2008).

A colheita em florestas naturais deve seguir um conceito sustentável, uma vez que novos ciclos de corte devem ser realizados, pois é necessário que as florestas gerem novos produtos para colheitas seguintes (MARTINS, 2003).

Devido às diferentes fitocenoses que a Amazônia apresenta, em virtude da diversidade de espécies, há a necessidade de realizar modelagem precisa para estimar o volume madeireiro, em diferentes áreas, pois isso é crucial para o planejamento florestal (GOMES et al., 2018).

### 2.2 FLORESTA NACIONAL DO TAPAJÓS

A lei de Nº 9.9985 de Julho de 2000, que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza, define Floresta Nacional como uma categoria de unidade de conservação que institui o Grupo das Unidades de Uso Sustentável – exploração do ambiente, de maneira a permitir novas intervenções, seguindo os quesitos do manejo sustentável (BRASIL, 2000). A Floresta Nacional do Tapajós é uma unidade de conservação federal da natureza localizada na Amazônia, criada por meio do Decreto nº 73.684, de 19 de fevereiro de 1974 (ICMBIO, 2018).

Em florestas públicas pode ser autorizada a concessão florestal, uma delegação onerosa que dá o direito de praticar manejo florestal sustentável para a exploração de produtos e serviços, à pessoas jurídicas, em consórcio ou não, por meio de licitação, e outras obrigações (BRASIL, 2006). Na Floresta Nacional do Tapajós (FNT) é realizado o manejo florestal, que detém a maior referência em manejo florestal comunitário do Brasil e América Latina (OLIVEIRA et al., 2017). O manejo florestal comunitário presente na FNT é realizado, desde 2006, por comunitários, os quais criaram a Cooperativa Mista da Flona do Tapajós (COOMFLONA), que tornaram-se referência quando se fala de gestão dos recursos florestais da região (GOMES et al., 2018).

### 2.3 MANEJO FLORESTAL SUSTENTÁVEL

A exploração feita convencionalmente não é adequada, ecológica e socialmente, pois para sua realização não há planejamento, as técnicas, equipamentos e mão de obra não condizem com as práticas corretas de manejo, com isso há maior custo de exploração na produção, danos maiores para a floresta e risco ergonômicos aos trabalhadores (BALIERO et al., 2010). O resultado dessa prática é uma floresta com grandes clareiras e dúzias de árvores danificadas (LEITE, 2008)

Para harmonizar a conservação e o uso sustentável florestal com o desenvolvimento social e econômico da região, o manejo florestal sustentável é uma ferramenta importante para parar a devastação florestal da Amazônia (LEITE, 2008). Manejo Florestal Sustentável é

a administração da floresta para a obtenção de benefícios econômicos, sociais e ambientais, respeitando-se os mecanismos de sustentação do ecossistema objeto do manejo e considerando-se, cumulativa ou alternativamente, a utilização de múltiplas espécies (BRASIL, 2009).

Para que ocorra manejo florestal, com embasamento sustentável, é importante conhecer as distintas propriedades da floresta, que podem ser obtidas por meio da realização do inventário florestal (OLIVEIRA et al., 2005). Os inventários florestais Os inventários florestais fornecem dados importantes para planejar ações como exploração florestal e o próprio manejo (ARAÚJO, 2006).

O Plano de Manejo Florestal Sustentável (PMFS) é um documento com base em diretrizes técnicas, contendo informações e metodologias para realizar a administração florestal, com base nos princípios de manejo florestal sustentável. (BRASIL, 2009). Segundo

Esse plano é uma boa alternativa, levando em consideração suas diretrizes, que garantem a produção contínua e diminui o desperdício florestal, além de agregar valor perante o mercado mundial, devido a certificação florestal; contudo, as madeiras certificadas ainda possuem a desvantagem de o preço se maior, quando comparado aos de madeiras advindas de forma ilegal, o que prejudica os investimentos na colheita sustentável (ÂNGELO et al., 2014)

O manejo florestal sustentável é a melhor maneira de extrair os recursos madeireiros e não madeireiros, pois há continuidade na disponibilidade dos mesmo para gerações futuras, visto que são recursos renováveis, além de atender os princípios do manejo sustentável, economicamente viável e menos oneroso a longo prazo (LEITE, 2008). Para realizar o manejo florestal na Amazônia, cuidados devem ser tomados, pois ela apresenta fragilidades, ecossistemas heterogêneos e alta complexidade (HIGUCHI et al., 1998).

“O manejo de florestas tropicais tem evoluído ao longo dos anos, a partir dos conceitos de exploração de impacto reduzido” (BRAZ et al., 2014). As exigências do mercado por certificação dos produtos florestais, as normativas e exigências legais são fatores que impulsionaram a criação de muitos dos PMFS da Amazônia (SABOGAL, 2006). Devido a alta diversidade e complexidade das florestas tropicais, o prognostico realizado de forma precisa da sua produção florestal é de suma importância para a implementação de manejo florestal sustentável (CYSNEIROS, 2016).

## 2.4 OBTENÇÃO DO VOLUME DO FUSTE

### 2.4.1 Fator de forma

O fator de forma do volume de madeira em pé, pode ser determinado por meio de tabelas de volume, elaboradas por meio de um fator de forma geral, comumente representado pela constante 0,7, usado para todas as espécies, classes de diâmetro e comprimentos de troncos ( HEINSDIJK & BASTOS, 1963) . A instrução normativa 05 de 10 de setembro de 2015, da Secretaria de meio ambiente e sustentabilidade do Pará define o uso do fator de forma 0,7 apenas para a primeira UPA da área, para ajustar o volume cilíndrico, tendo o DAP como diâmetro da base (SEMAS, 2015).

O volume real do fuste de uma árvore pode ser considerado uma porcentagem do volume de um cilindro, definido pelo DAP (diâmetro a altura do peito) e pela altura total ou comercial das árvores (Ht ou Hc); essa relação entre os volumes define o chamado fator de forma ( $f$ ), expresso por (SOARES, 1968):

$$f = \frac{V_{real}}{V_{cilindrico}}, \text{ sendo } f < 1.$$

De acordo com essa expressão, o volume de uma árvore (real), com ou sem casca, pode ser estimado multiplicando-se o volume do cilindro, definido pelo DAP e pela altura da árvore, por um fator de forma médio ( $\bar{f}$ ) com ou sem casca, apropriado para espécies (SOARES, 1968).

Segundo GUIMARÃES (1986), o volume de uma árvore pode ser expresso por :

$$V = g \times h \times f$$

Onde:

$g$ : área transversal relativa a um diâmetro de referência (normalmente tomado a altura de 1,30 metros da base)

$h$ : altura total

$f$ : fator de forma

O uso do fator de forma médio deve ser restrito às condições locais de sítio, pois qualquer extrapolação além desses limites pode ser perigosa sob o ponto de vista de previsão dos resultados finais (COUTO, 1987).

#### 2.4.2 Cubagem rigorosa

Segundo Miguel (2009), cubagem rigorosa pode ser definida como a medida de sucessivos diâmetros no comprimento da árvore. Os métodos de cubagem rigorosa são divididos em métodos absolutos e relativos; os métodos absolutos são aqueles em que o comprimento da seção (tora) não tem vínculo com o comprimento total da árvore, nos métodos relativos, o comprimento da seção ou tora representa um percentual do comprimento total da árvore, permitindo a comparação dos volumes individuais de árvores de tamanho diferente, porém com a mesma forma (CABACINHA, 2003).

Os métodos de cubagem relativos são os mais utilizados nas empresas florestais, e a o método relativo de preferência é o Smalian, pois apresenta maior praticidade; contudo esses métodos necessitam que as árvores sejam abatidas (CABACINHA, 2003).

Segundo Campos (2014), os métodos de cubagem absolutos são: Smalian, Huber e Newton, como mostram a seguir:

a) Smalian: Este método aplica a fórmula do Tronco do Parabolóide Ordinário para o cálculo do volume das seções intermediárias, ou seja:

$$V_i = \left(\frac{g_i + g_{i+1}}{2}\right)l_i$$

Em que:

$V_i$  é o volume da i-ésima tora

$g_i$  é a área transversal na base da i-ésima tora

$g_{i+1}$  é a área transversal no topo da i-ésima tora

$l_i$  é o comprimento da i-ésima tora

b) Huber: método que aplica a fórmula do tronco parabolóide ordinário, para calcular o volume das seções das toras intermediárias, e leva em consideração apenas a medida obtida no meio de cada seção, sendo sua fórmula:

$$V_i = g_{m_i} \cdot l_i$$

Em que:

$V_i$  é o volume da i-ésima tora

$g_{m_i}$  é a área transversal no meio da i-ésima tora

$l_i$  é o comprimento da i-ésima tora

c) Newton: método que utiliza uma média ponderada das áreas transversais da base, meio e topo da tora, sendo uma boa aproximação para o Tronco do Parabolóide, Tronco do Cone ou Tronco do Neilóide, sendo sua fórmula:

$$V_i = (g_i + 4 \cdot g_{m_i} + g_{i+1}) \cdot l_i$$

Em que:

$V_i$  é o volume da i-ésima tora

$g_i$  é a área transversal na base da i-ésima tora

$g_{m_i}$  é a área transversal no meio da i-ésima tora

$g_{i+1}$  é a área transversal no topo da i-ésima tora

$l_i$  é o comprimento da i-ésima tora

Sabe-se que situações onde se deseja saber o volume de diferentes áreas florestais, o ajuste de várias equações aumenta significativamente o esforço de trabalho, já que a cubagem rigorosa consiste em uma prática onerosa, justificativa para muitas situações em que

esta é substituída por metodologias de menor precisão, como é o caso da utilização de equações ou fatores de forma oriundos de dados que não condizem com a real característica do povoamento de interesse (MARTINS et al., 2015).

## 2.5 ESTIMATIVA VOLUMÉTRICA

Estimar o volume florestal de forma correta é de suma importância, pois ele influencia diretamente a volumetria a ser solicitada ao órgão ambiental competente e definirá o volume permitido para corte de cada espécie florestal (HIRAMATSU, 2008). A estimativa de espécies comerciais também é importante para que a empresa possa avaliar seu estoque disponível de madeira e analisar o potencial de produção de suas florestas, assim como auxiliar no planejamento de empresas que realizam o manejo florestal (SILVA-RIBEIRO, 2014).

A necessidade de quantificação do estoque de matéria-prima florestal, em floresta nativa, requer a busca por métodos eficientes de estimativa do volume comercial de madeira das árvores, que possibilite quantificar o estoque presente e futuro de maneira precisa, norteando decisões silviculturais que culminem na máxima produção e rentabilidade da floresta (THAINES et al., 2010).

A volumetria comercial de árvores derrubadas para aproveitamento deve ser estimada usando equações de volume feitas especificamente para o PMFS e baseada nos dados obtidos do inventário florestal 100%, calculada por UT (BRASIL, 2009).

Para estimar o volume por meio de equações volumétricas é necessário que seja feita a cubagem rigorosa de árvores selecionadas (CABACINHA, 2003). A partir da obtenção de equações volumétricas para árvores individuais, com um bom ajustamento, pode ser feita a análise de variações da unidade de área, pode-se utilizar essas equações para estimar volume árvores a árvores, e até para toda a população (MIGUEL et al., 2014).

### 2.5.1 Ajuste de equações volumétricas

Os modelos volumétricos são fundamentais para se realizar atividades de manejo florestal, pois através deles é possível estimar o volume individual de todas as árvores de uma população (MIGUEL et al., 2014). Atualmente, com o avanço nas discussões florestais, como o novo código florestal, as equações de volume de madeira tornaram-se uma ferramenta

obrigatória para a estimativa do estoque de madeira dos planos de manejo (SILVA-RIBEIRO, 2014).

As equações volumétricas e relações hipsométricas em inventário florestal tem se tornado uma ação de rotina para calcular o volume de madeira em pé (COUTO & BASTOS, 1987). É necessário que equações de volume sejam ajustadas para diferentes espécies, regiões e tipos fisionômicos, devido a importância que elas tem para a execução de planos de manejo florestal (TONINI & BORGES, 2015).

A vantagem das equações de volume é o cálculo de volume sólido, árvore a árvore, por meio de modelos matemáticos, especialmente testados para apresentar os menores erros possíveis (COUTO & BASTOS, 1987). Contudo, modelos volumétricos específicos para áreas de manejo florestal comunitário são escassos (BARRETO et al., 2014).

O procedimento mais comum para a estimativa de volume é usar equações que se baseiam na relação entre volume e variáveis como diâmetro, altura, etc; a confiabilidade das estimativas de volume depende de quão bem a equação de volume se ajusta aos dados. (AKINDELE, 2005).

Segundo FONSECA (2010), a determinação volumétrica do fuste de uma árvore pode ser realizada através de equação de forma, contudo, é muito comum utilizar as equações de volumes. Os modelos matemáticos mais frequentes são (Tabela 1):

**Tabela 1. Modelos volumétricos de simples e dupla entrada.**

<b>AUTOR</b>	<b>MODELOS</b>
<b>Kopecky – Gehrhardt</b>	$V = \beta_0 + \beta_1 \cdot Dap^2 + \varepsilon_i$
<b>Dissescu – Meyer</b>	$V = \beta_1 \cdot Dap + \beta_2 Dap^2 + \varepsilon_i$
<b>Hohenadl – Krenm</b>	$V = \beta_0 + \beta_1 Dap + \beta_2 Dap^2 + \varepsilon_i$
<b>Berkhout</b>	$V = \beta_0 Dap^{\beta_1} + \varepsilon_i$
<b>Husch</b>	$\ln(V) = \beta_0 + \beta_1 \ln(Dap) + \ln(\varepsilon_i)$
<b>Brenac</b>	$\ln(V) = \beta_0 + \beta_1 \ln(Dap) + \beta_2 \left( \frac{1}{Dap} \right) + \ln(\varepsilon_i)$
<b>Spurr</b>	$V = \beta_0 + \beta_1 Dap^2 h + \varepsilon_i$
<b>Schumacher-Hall</b>	$V = \beta_0 Dap^{\beta_1} h^{\beta_2} + \varepsilon_i$
<b>Honner</b>	$V = \frac{Dap^2}{\beta_0 + \beta_1 \frac{1}{h}} + \varepsilon_i$
<b>Ogaya</b>	$V = Dap^2 (\beta_0 + \beta_1 h) \varepsilon_i$

<b>Stoate</b>	$V = \beta_0 + \beta_1 Dap^2 + \beta_2 Dap^2 h + \beta_3 h + \varepsilon_i$
<b>Naslund</b>	$V = \beta_1 Dap^2 + \beta_2 Dap^2 h + \beta_3 Dap \cdot h^2 + \beta_4 h^2 + \varepsilon_i$
<b>Takata</b>	$V = \frac{Dap^2 h}{\beta_0 + \beta_1 Dap} \varepsilon_i$
<b>Spurr (log)</b>	$\text{Ln}V = \beta_0 + \beta_1 \text{Ln}(Dap^2 h) + \varepsilon_i$
<b>Meyer</b>	$V = \beta_0 + \beta_1 Dap + \beta_2 Dap^2 + \beta_3 Dap \cdot h + \beta_4 Dap^2 h + \beta_5 h + \varepsilon_i$

V - Volume; Dap - Diâmetro a 1,3 m do solo;  $\beta_i$  - Parâmetros da equação; Ln -Logaritmo neperiano e  $\varepsilon_i$  - Erro de estimativa ; h – Altura.

### 2.5.2 Seleção de modelos

Segundo GOMES & GARCIA (1993) podem-se indicar os seguintes critérios em ordem de importância para comparar equações de regressão convenientes:

1. As propriedades matemáticas das funções;
2. O coeficiente de determinação, às vezes substituído pelo coeficiente de determinação ajustado  $R^2$ ;
3. O Quadrado Médio desvios da regressão, ou o desvio padrão respectivo; e
4. A distribuição dos resíduos.

A facilidade de aplicação da equação, refere-se à quantidade de variáveis que a mesma possui, bem como a facilidade de mensurar tais variáveis com exatidão, assim sendo, deve-se selecionar as equações que possuem menor número de variáveis, desde que os critérios admitidos anteriormente tenham sido suficientes para selecionar uma boa equação (SILVA, 1979)

O  $R^2$  expressa a quantidade de variação da variável dependente, que é explicada pelas variáveis independentes; quanto mais próximo de 1 for o valor do  $R^2$ , melhor terá sido o ajuste (MACHADO et al., 2002). A distribuição uniforme dos resíduos significa que a diferença entre os valores reais e os estimados deve ser homogênea (SILVA, 1979).

### 2.5.3 Modelos genéricos

Em tabelas de volume para área total, os são volumes estimados por unidade de área, utilizando-se variáveis adquiridas por amostragem, desprezando a necessidade de se estimar o volume árvore a (FIGUEIREDO-FILHO, 1983).

Em florestais naturais, é irrealizável o uso de tabelas de produção, devido as variáveis sitio e idade serem de difícil obtenção, tornando mais praticável o uso de tabelas de volume por unidade de área, destinadas a estimar o estoque atual apenas (FIGUEIREDO-FILHO, 1983). Ajustes de modelos usados para estimar o volume de árvores individuais podem ser realizados, para estimar o volume por unidade de área (FIGUEIREDO-FILHO, 1983).

Há muito tempo modelos matemáticos são estudados e usados para estimar volume florestal, os pesquisadores da área se preocupam em adaptar modelos de equações tradicionalmente empregados em estimativas árvore a árvore, para estimar o volume por unidade de área; em florestas naturais, há maiores problemas devido a maior restrição de variáveis dependentes que ficam limitadas ao diâmetro médio (d), área basal (G), altura comercial média (h) e o número de árvores (FIGUEIREDO-FILHO, 1983).

#### **2.5.4 Modelos específicos**

O numero limitado de observações de uma espécie, há dúvidas sobre a precisão das equações produzidas para essa ocasião, por isso, esta opção não é frequentemente usada para dados de floresta tropical. Por outro lado, reunir todo o conjunto de dados de todas as espécies com o objetivo de ajustar as funções do volume certamente resultará em uma grande variação de erro e tornará as equações menos confiáveis. Consequentemente, a abordagem comum usada para modelar dados florestais é agregar espécies em vários grupos e desenvolver equações separadas para cada grupo (AKINDELE, 2005). Em todas as operações florestais que envolvem a determinação do volume de árvores, principalmente em inventários florestais, é imprescindível o uso de tabelas de volume, as quais podem ser elaboradas para determinadas espécies ou grupos de espécies (FERNANDES et al., 1983).

A modelagem do volume individual de árvores em função de variáveis independentes começou a ser desenvolvida na primeira metade do século XX, após o desenvolvimento de técnicas de análise de regressão (MACHADO et al., 2002). Esse mesmo autor diz que muitos modelos matemáticos foram sendo criados e testados para o ajuste de equações de volume e, apesar de o uso ter consagrado alguns desses modelos, nenhum deles será sempre o de melhor performance para todas as espécies e condições. Por esta razão, é

recomendável testar vários deles para, por meio de análises estatísticas, identificar o melhor para cada caso.

Considerando a diversidade de espécies que compõem os biomas brasileiros, bem como a diversidade de tamanhos das árvores, equações de volume deveriam ser ajustadas para espécies individualmente ou para grupos de espécies com características semelhantes para aumentar a exatidão das estimativas volumétricas (SOARES, et al., 2011). Nesse sentido, a determinação dos volumes individuais das árvores com a maior acurácia possível é fundamental para a estimativa volumétrica, que por sua vez infere no estoque da floresta e na sua produtividade (HIRAMATSU, 2008).

Na floresta tropical amazônica, a abundância de espécies florestais com as mais variadas dimensões, devido distribuições diamétricas, alturas variadas ou devido sua grande heterogeneidade em termos de idade, afeta sobremaneira a forma das árvores, dando-lhes diversas peculiaridades, dificultando em consequência, o emprego de fatores de forma ou o uso de equações de volume, que são as técnicas de uso mais correntes, adotadas para as estimativas dos volumes individuais (FIGUEIREDO FILHO, 1983). Devido muitos estudos de volumetria terem sido realizados na Amazônia, mesmo com uma vasta experiência, não existem equações de volume que representem a maioria das espécies arbóreas nos diferentes sítios e regiões (COLPINI et al., 2009).

Apesar da importância que as estimativas volumétricas das espécies assumem na região amazônica no contexto atual, nota-se ainda uma carência de trabalhos relacionados ao tema de estimativas volumétricas das espécies da região, o que se agrava ainda mais se considerarmos toda a grande diversidade de espécies arbóreas e tipologias florestais existentes na região (HIRAMATSU, 2008).

Para qualquer dos procedimentos de determinação volumétrica, os volumes individuais obtidos para cada árvore-amostra são utilizados no ajuste de modelos estatísticos que permitem estimar o volume de árvores individuais. Desta forma, a partir destas equações é possível a extrapolação do volume de madeira por unidade de área (talhão, hectare, etc.) (OLIVEIRA, 2010).

Para a região amazônica, cujo número de espécies é bastante alto e onde associações florestais diferentes ocorrem em áreas muito próximas, não sendo possível utilizar uma equação geral de volume, torna-se necessário elaborarem-se tabelas para espécies individuais, para grupos de espécies e para cada região (FERNANDES et al., 1983).

Estudos realizados por Cysneiros (2016) mostraram que, mesmo com o ajuste de modelos volumétricos por espécies individuais, foi possível observar uma baixa correlação

entre as variáveis dendrométricas, relevando a menor relação biológica entre elas. Esse autor ainda diz que a superioridade dos modelos de dupla entrada também foi evidente no ajuste individual das espécies, sendo os mais precisos para estimativa do volume comercial, no entanto, os resultados encontrados não comprometem a utilização dos modelos de simples entrada. Esses modelos, além de excluir a medição da altura, proporcionaram estimativas satisfatórias, próximas às resultantes dos modelos de dupla entrada.

### **3 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A revisão literária sobre os diferentes métodos de estimar o volume de madeira, com ênfase nos modelos genéricos e específicos, revela que avaliar os diferentes métodos de estimar o estoque do volume florestal é importante para a tomada de decisão sobre qual modelo resulta em melhor aproveitamento de madeira.

Para o melhor aproveitamento madeireiro para Floresta Nacional do Tapajós identificou-se que: os modelos genéricos podem estimar volume por unidade de área, abrangendo os indivíduos de interesse independente da espécie, mas apresentam grandes variações de erros de estimativa, pois há restrição no número de variáveis dependentes; os modelos específicos são recomendados para florestas nativas, devido a diversidade de tamanho e de características dendrométricas que as espécies apresentam, assim o ganho em exatidão de estimativa pode ser maior que o de modelos genéricos.

### **REFERÊNCIAS**

- AKINDELE, S. O. **Volume functions for common timber species of nigeria's tropical rain forests** . International Tropical Timber Organization (ITTO), 2005.
- ANDRADE, C. G. C. **Manejo florestal da floresta nacional do tapajós, pará, com ênfase na espécie *Minquartia guianensis* Aubl.** Dissertação. Viçosa, MG, 2016.
- ANGELO, H., SILVA, J. C. da, ALMEIDA, A. N. de, POMPERMAYER, R. de S. Análise estratégica do manejo florestal na Amazônia brasileira. **Floresta**, Curitiba, PR, v 44, n. 3, p. 341- 348, jul./set. 2014.

ARAÚJO, H. J. B. Inventário florestal a 100% em pequenas áreas sob manejo florestal madeireiro. **Revista Acta Amazônica**. Vol. 36(4) . 447 – 464. 2006.

BALIERO, M. R.; ESPADA, A. L. V.; NOGUEIRA, O.; PALMIERE, R.; LENTINI, M. As Concessões de Florestas Públicas na Amazônia Brasileira: Um manual para pequenos e médios produtores florestais. **Imaflora**. IFT, 2010.

BARRETO, W. F.; LEÃO, F. M; MENEZES, M. C. SOUZA, D. V. **Equação de volume para apoio ao manejo comunitário de empreendimento florestal em anapu, pará**. Pesquisa florestal brasileira, Colombo, v. 34, n. 80, p. 00-00, out./dez. 2014.

BARROS, P. L. C.; SILVA JUNIOR, A. T. Equação de volume para árvores de uma floresta tropical densa no município de Anapu, oeste do estado do Pará, Amazônia oriental. **Revista ciências agrárias**, Belém, n. 51, p.115-126, jan./jun. 2009.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução Conama nº 406, de 02 de fevereiro de 2009. Estabelece parâmetros técnicos a serem adotados na elaboração, apresentação, avaliação técnica e execução de Plano de Manejo Florestal Sustentável-PMFS com fins madeireiros, para florestas nativas e suas formas de sucessão no bioma Amazônia. Brasília, 2009. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=597> acesso em 01 de setembro de 2018.

BRASIL. **LEI Nº 9.985, DE 18 DE JULHO DE 2000**. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Disponível em : < [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/L9985.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9985.htm)> . Acesso em 01 de set. de 2018.

BRAZ, E.M; MATTOS, P. P. ; FIGUEIREDO, E. O. **Manejo de precisão em florestas naturais**. Agriculturas de precisão para culturas perenes e semi-perenes. 2014.

CABACINHA, C. D. Um método para a realização do inventário florestal suprimindo a cubagem rigorosa. Dissertação de Mestrado. Lavras: UFLA, 2003. 166p. : il.

CAMPOS, O. J. **Cubagem de árvores**. Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Florianópolis, SC, 2014.

COLPINI, C. ; TRAVAGINI, D. P. ; SOARES, T. S. ; SILVA, V. S. M. **Determinação do volume, do fator de forma e da porcentagem de casca de árvores individuais em uma Floresta Ombrófila Aberta na região noroeste de Mato Grosso**. Acta Amazônica. vol. 39(1) 2009: 97.

CORDEIRO, M. A., PEREIRA, N. N. de J., BINOTI, D. H. B., BINOTI, M. L. M. da S. LEITE, H. G. **Estimativa do volume de *Acacia magium* utilizando técnicas de redes neurais artificiais e máquinas vetor de suporte**. Pesquisa Florestal Brasileira (PFB). Colombo, v.35, n. 83, p.255-261, 2015.

COUTO, H. T. Z.; BASTOS, N. L. M. **Modelos de equações hipsométricas para plantações de Eucalyptos no estado de São Paulo**. IPEF, n. 27, p.33-34, dez. 1987.

CYSNEIROS, V. C. **Estratégias para modelagem do volume comercial em florestas tropicais**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências 0041grárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 18/07/2016.

FAO (2004). FRA: Terms and Definitions. Disponível em:

<<http://www.fao.org/forestry/media/7797/1/0/>> acesso em 25 de julho de 2018.

FIGUEIREDO FILHO, A. **Estudos de modelos matemáticos para estimar o volume por unidade de área em uma floresta tropical úmida na Amazônia brasileira**. 176 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1983.

GIMENEZ, B. O. **Equações Volumétricas e o modelo que utiliza fator de forma médio: um estudo de caso na Amazônia Central**. Dissertação de mestrado. Manaus, 2014.

GOMES, F. P. ; GARCIA, C. H. **A determinação de equações volumétricas na engenharia florestal**. IP EF Série Técnica, Piracicaba, 9(26): 1-36, mar.1993.

GOMES, K. M. A.; SILVA RIBEIRO, R. B.; GAMA, J. R. V.; ANDRADE, D. F. C. Eficiência na estimativa volumétrica de madeira na Floresta Nacional do Tapajós. *Nativa*, Sinop, v.6, n.2, p. 170-176, mar./abr. 2018.

HEINSDIJK, D. ; BASTOS, A. De M. **Inventários florestais na Amazônia**. Serviço Florestal (boletim nº 6). Rio de Janeiro, 1963.

ICMBIO. **A Floresta Nacional do Tapajós**. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/flonatapajos/> . Acesso em: 28 de agosto de 2018.

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

HIRAMATSU, N. A. **Equações de volume comercial para espécies nativas na região do vale do jari, amazônia oriental**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 06/03/2008.

LEITE, F. S. **Estimativa do volume a partir do diâmetro da cepa em uma área explorada de floresta amazônica de terra firme**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Florestal, 2008, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 74p. 2008.

LEITE, H. G., ANDRADE, V. C. L de. Um método para condução de inventários florestais sem o uso de equações volumétricas. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 26, n. 3, p. 321-328, 2002.

LEITE, F. S. L.; REZENDE, A. V. Estimativa do volume de madeira a partir 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, jan./mar., 2010.

LORIS, E. M. **Na trilha do manejo científico da floresta tropical: indústria madeireira.** Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Ciências Humanas, Belém, v. 3, n. 3, p. 289-309, set.- dez. 2008.

MACHADO, S. A.; CONCEIÇÃO, M. B.; FIGUEIREDO, D, J. Modelagem do volume individual para diferentes idades e regimes de desbaste em plantações de *Pinus oocarpa*. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, Vol. 4, no 2, Jul/Dez 2002.

MARTINS, S. S.; COUTO, L.; MACHADO, C. C.; SOUZA, A. L. Efeito da exploração florestal seletiva em uma floresta estacional semidecidual. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.27, n.1, p.65-70, 2003.

MARTINS, R. M.; LEITE, M. V. S.; CABACINHA, C. D.; ASSIS, a. L. **Teste de identidade de modelos volumétricos para povoamentos de *Eucalyptus sp.* em sete municípios de Minas Gerais.** Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.11 n.21; p. 2015.

MIGUEL, E.P. **Avaliação biométrica e prognose da produção de *Eucalyptus urophylla* (S.T. Blake) na região norte do estado de Goiás.** 2009. 165p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná.

MIGUEL, E. P.; LEAL, F. A.; ONO, H. A.; LEAL, U. A. S. **Modelagem na predição do volume individual em plantio de *Eucalyptus urograndis*.** Rev. Bras. Biom., São Paulo, v.32, n.4, p.584-598, 2014.

OLIVEIRA, M. L. R. de, SOARES, C. P. B., SOUZA, A. L. de, LEITE, H. G. Equações de volume de povoamento para fragmentos florestais do município de viçosa, minas gerais. **Revista Árvore.** Viçosa-MG. V. 29, n. 2, p. 213-225, 2005.

OLIVEIRA, M. O. **Verificação da acurácia do método Pressler na estimativa do volume de árvores em pé.** Monografia de graduação, UFES, 2010.

OLIVEIRA, R. C. A. ; RODE, R. ; GAMA, J. R. V. ; ALMEIDA, E. C. Equações volumétricas para *Couratari stellata* A.C Smith (Tauari) na Floresta Nacional do Tapajós. **Nativa**, Sinop, v.5, n.2, p.138-144, mar./abr. 2017. Pesquisas Agrárias e Ambientais.

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

SABOGAL, C; LENTINI, M.; POKORNY, B.; SILVA, J. N. M.; ZWEEDE, J.; VERÍSSIMO, A.; BOSCOLO, M. **Manejo florestal empresarial na amazônia brasileira: restrições e oportunidades – relatório síntese**. Belém: Cifor, Imazon, Embrapa, 2006.

SCOLFORO, J.R.S. **Biometria Florestal: Métodos para classificação de sítios florestais**. Lavras: UFLA/FAEP, 1997. 151p.

SILVA, J. N. M.; CARVALHO, J. O. P.; LOPES, J. C. A.; CARVALHO, M. S. P. 1984. **Equações de volume para a Floresta Nacional do Tapajós. Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n.9, p. 50-63, 1984.

SILVA, J. A. A. **Princípios Básicos de Dendrometria**. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de ciência Florestal, 1979.

SOARES, C. P. B.; NETO, F. P.; SOUZA, A. L. **Dendrometria e Inventário Florestal**. 2<sup>a</sup> ed. Viçosa, MG, 2011.

SOARES, C. P. B.; MARTINS, F. B.; JUNIOR, H. U. L.; SILVA, G. F.; FIGUEIREDO, L. T. M. Equações hipsométricas, volumétricas e de taper para onze espécies nativas. **Revista Árvore**, Viçosa – MG, v. 35, n5, p. 1039-1051, 2011.

THAINES, F.; BRAZ, E. M.; MATTOS, P. P.; THAINES, A. A. R. Equações para estimativa de volume de madeira para a região da bacia do rio ituxi, lábrea, am. **Pesquisa florestal brasileira**, colombo, V.30 n 64, p 283-289, nov/dez. 2010.

THOMAS, C.; ANDRADE, C. M.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. Comparação de equações volumétricas ajustadas com dados de cubagem e análise de tronco. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16. N. 3, p. 319-327, 2006.

TONINI, H.; BORGES, R. A. Equação de volume para espécies comerciais em Floresta Ombrófila Densa no sul de Roraima. **EMBRAPA**. Pesquisa Florestal Brasileira, 2015.