

COMPARAÇÃO ENTRE DIFERENTES MÉTODOS PARA ESTIMATIVA VOLUMÉTRICA DE ESPÉCIES COMERCIAIS DA AMAZÔNIA

COMPARISON BETWEEN DIFFERENT METHODS FOR ESTIMATING VOLUME OF BRAZILIAN AMAZONIAN TREE SPECIES

Luciano Rodrigo Lanssanova¹, Franciele Alba da Silva², Cristine Tagliapietra Schons³,
Ane Caroline Da Silva Pereira⁴

¹ Instituto Federal de Ciência, Tecnologia e Educação de Mato Grosso, Juína, Mato Grosso, Brasil –
luciano.lanssanova@jna.ifmt.edu.br

² Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil – francielealba47@gmail.com &
cristeschons@gmail.com

³ Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil –
engftalanecaroline@gmail.com

RESUMO

A floresta Amazônica apresenta espécies de elevado potencial para exploração sustentável de madeira, entretanto, para que sejam exploradas, há a necessidade de informações para estimativas precisas de seu volume de madeira. Assim, com a hipótese de que volumes estimados por diferentes métodos e os obtidos pela cubagem rigorosa são estatisticamente iguais entre si, este trabalho teve por objetivo comparar estimativas volumétricas obtidas através do fator de forma, modelos volumétricos e modelo de afilamento para cinco espécies comerciais da floresta amazônica. Foram cubadas 449 árvores pelo método de Smalian para desenvolvimento do fator de forma e ajuste das equações volumétricas e de afilamento. Foi utilizado o delineamento blocos ao acaso, onde cada espécie foi considerada como um bloco e cada método de obtenção volumétrica compôs um tratamento. Foi aplicada a análise de variância para verificar a existência de diferença significativa entre os tratamentos e entre os blocos, seguida do teste de Tukey para o nível crítico $\alpha \leq 0,05$. Entre os modelos ajustados, o de Schumacher-Hall foi o que apresentou maior precisão para estimar o volume. O fator de forma médio estimado é 0,73. Não houve diferenças estatísticas na estimativa do volume utilizando os diferentes métodos, contudo, recomenda-se utilizar o modelo de simples entrada, pois a altura para espécies amazônicas é de difícil obtenção, fazendo deste método o mais prático.

PALAVRAS-CHAVE: Fator de forma, Floresta tropical, Volumetria.

ABSTRACT

The Amazon rainforest presents species with high potential for sustainable exploitation of timber, however, in order to be exploited, there is a need for information to accurately estimate its volume of wood. Thus, with the hypothesis that volumes estimated by different methods and the real cubic volume are statistically the same, this study aimed to compare volumetric estimates obtained through form factor, volume models and taper function for five commercial species of Amazon rainforest. We scaled 448 trees by Smalian method to develop the form factor and adjust the volume and taper equations. We used the randomized block experimental design, where each species was considered as a block and each method of volume elaboration as a treatment. We applied an analysis of variance to verify the existence of a significant difference between the treatments and between the blocks, followed by the Tukey test for the critical level $\alpha \leq 0,05$. Among the adjusted models, Schumacher-Hall was the one that presented greater precision to estimate the volume. The estimated mean form factor is 0.73. There were non-statistical differences in the volume estimation using the different methods, however, it is recommended to use the single-entry model, since the height for Amazonian species is difficult to obtain, making this method the most practical.

KEYWORDS: Form factor, Tropical forest, Volume modeling.

INTRODUÇÃO

A floresta Amazônica apresenta grande diversidade de espécies florestais com alto potencial comercial, passíveis de exploração, sendo de fundamental importância avaliar a produtividade volumétrica de suas madeiras. Segundo Ribeiro et al. (2014) uma boa estimativa do volume de espécies comerciais é importante para realizar uma correta avaliação do estoque de madeira e análise do potencial produtivo das florestas, assim como auxilia no planejamento de colheita das empresas que executam ações de manejo florestal.

Comumente o volume é estimado aplicando equações matemáticas que utilizam como variáveis independentes o diâmetro à 1,3 metros de altura e a altura ou através do uso de fator de forma multiplicado a área transversal e a altura (CAMPOS & LEITE, 2013; MACHADO & FIGUEIREDO FILHO, 2014). Esses métodos são aceitos por lei para o cálculo do volume geométrico das árvores em pé para a Amazônia, uma vez que o fator de forma médio utilizado para essa região tenha o valor igual a 0,7 e as equações de volume sejam desenvolvidas especificamente para as áreas submetidas aos PMFS (Plano de Manejo Florestal Sustentável) (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2002). Muitas discussões comparando a precisão desses métodos foram levantadas, contudo as pesquisas que têm este tipo de foco são voltadas, principalmente, para os gêneros *Eucalyptus* e *Pinus* (MACHADO et al., 2005; MIGUEL et al., 2010; SCHRÖDER et al., 2013).

As funções de afilamento também são utilizadas nas estimativas volumétricas, considerando as mudanças de formas ao longo do tronco, pois possibilitam descrever, matematicamente, o perfil longitudinal do fuste e estimar o volume de madeira por meio da integral dessa função, entre quaisquer pontos ao longo do fuste (AHRENS; HOLBERT, 1981; MENDONÇA et al., 2007). Lansanova et al. (2013) mencionam que a existência de grande variabilidade na forma do fuste ocasiona significativo impacto na determinação do volume explorado nas florestas tropicais do bioma Amazônico.

De acordo com Colpini et al. (2009), para a vegetação Amazônica, devido à sua alta diversidade de espécies, ainda são poucos os estudos de estimativas de produtividade volumétrica. Apesar do tema volumetria já ter sido amplamente discutido por diversos renomados pesquisadores como Chapman & Meyer (1949), Bruce & Schumacher (1950), Spurr (1952), Higuchi et al. (1979), pouco enfoque foi dado para as espécies amazônicas, ocasionando em escassez de material de estudo específico para a região (COLPINI et al., 2009; RAMOS, 2012). Estudos

recentes têm sido publicados, de modo a findar com essa escassez e garantir informações que otimizem as atividades florestais de forma sustentável, com o manejo correto, garantindo ao mercado uma diversidade em produtos originalmente amazônicos. Podendo ser citados autores como SILVA (2016), COLPINI et al. (2009), RAMOS (2012) e RIBEIRO et al. (2014).

Deste modo, a elaboração do presente trabalho espera contribuir para o aumento de informações sobre estudos de volumetria para as espécies amazônicas, para tal, tem como objetivo comparar estimativas de volume obtidas através do fator de forma, modelos volumétricos de simples e dupla entrada e modelo de afilamento não segmentado, para cinco espécies comerciais da floresta amazônica, partindo-se da hipótese de que os volumes estimados pelos diferentes métodos e os obtidos pela cubagem rigorosa são estatisticamente iguais entre si.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida em unidades de manejo florestal da Floresta Amazônica localizadas no município de Santa Carmem, estado de Mato Grosso. O clima da região é do tipo Aw, de acordo com a classificação de Köppen, com precipitação pluviométrica de 2.500 mm a 2.750 mm e um período curto com precipitação inferior a 60 mm no mês mais seco. Apresenta temperatura média de 25° C, com a estação seca coincidindo com o inverno (BRASIL, 1980).

Para a pesquisa, foram selecionadas cinco espécies comercialmente exploradas na Floresta Amazônica: *Goupia glabra* Aubl. (cupiúba), *Qualea albiflora* Warm. (cambará), *Trattinnickia burseraefolia* Willd. (amescla), *Erismia uncinatam* Warm. (cedrinho) e *Mezilaurus itauba* (Meissn.) Taub. (itaúba), as quais são destinadas para diferentes finalidades, como laminados, compensados, marcenaria e construção civil.

Em seguida, foi realizada a cubagem de 449 árvores pelo método de Smalian, com a medição dos diâmetros, com casca, a 0,1 m do solo, a 1,3 m e a cada 2,0 m ao longo do tronco até a altura comercial, definida da base ao início da copa.

Os métodos de estimativa volumétrica testados neste trabalho foram: fator de forma médio, fator de forma por espécie, modelo volumétrico de simples entrada, modelo volumétrico de dupla entrada e função de afilamento, comparando-se estes, com o volume real obtido pela cubagem rigorosa.

O fator de forma (*ff*) foi obtido a partir da área basal da árvore a 1,3 m do solo e da altura comercial do tronco (SOARES et al., 2011).

$$ff = \frac{vr}{vc_{1,3h}}$$

Em que: *ff* = Fator de forma; *vr* = Volume rigoroso da árvore em m³, determinado pela cubagem; e *vc* = Volume do cilindro (*d*_{1,3h}) em m³.

O fator de forma foi calculado por espécie, obtendo-se um valor médio para cada uma destas, bem como para o conjunto total de dados (cinco espécies agrupadas).

Como o fator de forma reduz o volume do cilindro para o volume real da árvore, representado pelo sólido de revolução (FINGER, 1992), a estimativa dos volumes pelo fator de forma é dada pela equação:

$$v = v_{cil} * ff$$

Em que: *V* = volume estimado (m³); *V_{cil}* = volume do cilindro (m³); e *ff* = fator de forma.

Foram ajustados dois modelos volumétricos (simples e dupla entrada); em sequência, ajustou-se o modelo de afilamento, o qual permitiu descrever matematicamente o perfil longitudinal do tronco e estimar o volume de madeira através da integral dessa função (Tabela 1).

Para avaliar a acuracidade das funções de volume e afilamento, foram utilizadas as estatísticas erro padrão de estimativa em porcentagem (*S_{y,x}%*) e coeficiente de determinação ajustado (*R²_{aj.}*), posteriormente, foi realizada à análise gráfica residual, a qual permite identificar tendências resultantes do uso da equação ajustada.

Tabela 1. Modelos matemáticos de simples e dupla entrada e modelo de afilamento selecionado para estimativa do volume para todas as espécies

Nº	Modelo	Autor
1	$v = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2$	Hohenadl
2	$v = \beta_0 * d^{\beta_1} * H^{\beta_2}$	Schumacher-Hall
3	$\frac{d_i}{d} = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_i}{H}\right) + \beta_2 \left(\frac{h_i}{H}\right)^2 + \beta_3 \left(\frac{h_i}{H}\right)^3 + \beta_4 \left(\frac{h_i}{H}\right)^4 + \beta_5 \left(\frac{h_i}{H}\right)^5$	Schöepfer

β_i = coeficientes de regressão; *d_i* = diâmetro mensurado a uma altura *h_i* (cm); *d* = diâmetro a 1,3 m do solo (cm); *H* = altura comercial (m); *h_i* = altura a uma seção *i* (m); e *v* = volume comercial estimado.

Análise dos dados

Foi realizado, inicialmente, o teste de Bartlett para verificar a homogeneidade das variâncias entre os tratamentos, em sequência, os dados foram submetidos à análise de variância para se identificar à existência, ou não, de diferenças significativas entre os tratamentos.

O delineamento utilizado para análise de dados foi o inteiramente casualizado, onde cada método de obtenção volumétrica compõe um tratamento, totalizando seis tratamentos.

Foi realizada a análise de variância para verificar a existência de diferença significativa entre os tratamentos. Posteriormente, foi aplicado o teste de comparação múltipla, através do teste de Tukey, ao nível de 95% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As estatísticas descritivas (Tabela 2) apresentam grande variabilidade para as variáveis dendrométricas, refletindo uma característica de florestas nativas. Dentre as três variáveis avaliadas, foi observada a maior heterogeneidade (CV%) para o volume, uma vez que sua variabilidade está associada ao somatório dos volumes individuais, e estes, são resultantes da combinação das variáveis diâmetro, altura e forma. A espécie *Erismia uncinatam* apresentou o maior diâmetro médio, altura e volume entre as cinco espécies analisadas, ao passo que para a espécie *Qualea albiflora* foi observado os menores valores médios para as variáveis diâmetro e volume.

Tabela 2. Análise descritiva dos dados

Espécie	Variável	N	Média	Desvio Padrão	CV (%)
<i>Qualea albiflora</i>	<i>d</i>		59,9026	13,9086	23,21
	<i>h</i>	128	14,0867	2,5192	17,88
	<i>v</i>		2,9148	1,3669	46,89
<i>Erismia uncinatam</i>	<i>d</i>		85,6075	22,3411	26,09
	<i>h</i>	101	14,2792	2,7978	19,59
	<i>v</i>		5,9495	3,1152	52,36
<i>Trattinnickia burseraefolia</i>	<i>d</i>		71,1913	18,1838	25,54
	<i>h</i>	83	13,5223	2,9769	22,01
	<i>v</i>		4,3724	2,4164	55,26
<i>Goupia glabra</i>	<i>d</i>		69,2586	18,1618	26,22
	<i>h</i>	87	12,3542	2,6703	21,61
	<i>v</i>		3,5871	2,0495	57,13
<i>Mezilaurus itauba</i>	<i>d</i>		68,9965	13,4200	19,45
	<i>h</i>	50	13,1448	2,7716	21,08
	<i>v</i>		3,8816	1,6923	43,59

Os dois modelos de volume e o modelo de afilamento ajustados apresentaram coeficientes significativos ao nível de 5% de significância. O modelo ajustado de dupla entrada de Schumacher apresenta maior coeficiente de determinação e menor erro padrão da estimativa quando comparado ao modelo de simples entrada de Hohenadl (Tabela 3), indo de encontro aos resultados obtidos por Colpini et al. (2009), os quais compararam 10 modelos volumétricos de simples e dupla entrada em uma área do bioma Amazônia no noroeste do Mato Grosso.

Tabela 3. Coeficientes e estatísticas das equações ajustadas para estimativa de volume para todas as espécies

Nº	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	R ²	Syx (%)
Modelo volumétrico de simples entrada (Hohenadl)								
1	0,0037	0,0016	1,8188				0,85	23
Modelo volumétrico de dupla entrada (Schumacher-Hall)								
2	0,0003	1,77	0,7138				0,93	15,07
Modelo de afilamento (Schöepfer)								
3	1,2095	-2,9446	10,9405	-20,46	17,929	-5,90		24,63

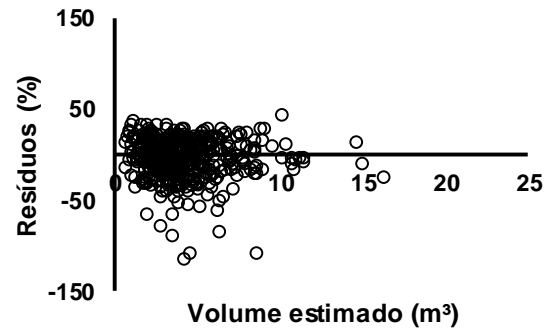
Ao integrar a função de afilamento, foi obtido o modelo compatível de volume, para o qual é apresentado o erro padrão para a estimativa volumétrica. O erro para o modelo ajustado de afilamento foi superior aos obtidos pelos modelos de Hohenadl e Schumacher-Hall, contudo, é mais flexível, permitindo estimar o volume até um diâmetro mínimo ou de qualquer segmento ao longo do tronco, facilitando o sortimento para diversas finalidades. Ramos (2012) verificou que as estimativas volumétricas obtidas com as funções de afilamento para espécies amazônicas foram menos precisas que as estimativas obtidas pelas equações de volume de dupla entrada.

Para a avaliação dos modelos ajustados, não foi considerada apenas as estatísticas R²_{aj.} e Syx%, mas também a análise gráfica residual (Figura 1), o que propiciou avaliar a magnitude do afastamento dos valores dos volumes estimados, em relação aos observados. Foi verificado que os modelos ajustados forneceram uma boa dispersão residual, com proporcionalidade entre valores subestimados e superestimados, sobretudo para o modelo ajustado de Schumacher-Hall, que apresenta melhor distribuição residual, com menor amplitude de erro e melhor proporção entre sub e superestimativas.

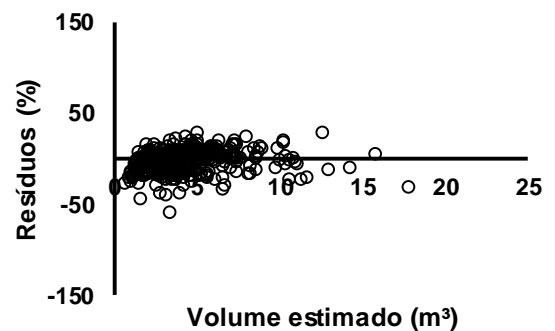
Para as espécies agrupadas foi obtido um fator de forma médio de 0,73. Ao analisar os fatores médios por espécie, para *E. uncinatam*, que apresentou o maior

diâmetro e altura média, obteve-se o menor fator de forma (0,70), ao passo que, *T. burseraefolia* e *M. itauba*, apresentaram o maior valor (0,76) (Tabela 4). Ramos (2012), avaliando a forma do fuste de espécies amazônicas, obteve um fator de forma médio de 0,72 para seis espécies agrupadas.

(1) Hohenadl



(2) Schumacher-Hall



(3) Schöepfer

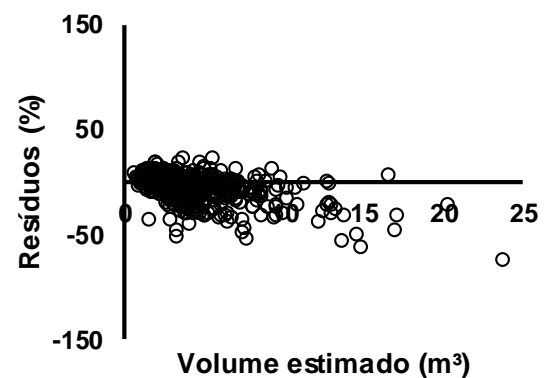


Figura 1. Análise gráfica residual para os modelos avaliados para estimativa volumétrica.

A análise gráfica residual para os volumes estimados (Figura 2) tanto pelo fator de forma médio quanto pelo fator de forma por espécie apresentam uma amplitude de erro menor que 80%, com tendência em superestimar os maiores volumes, contudo, de maneira geral, há proporcionalidade entre as sub e superestimativas.

Tabela 4. Fator de forma médio e por espécie.

Espécie	Fator de Forma
<i>Qualea albiflora</i>	0,71
<i>Erisma uncinatam</i>	0,70
<i>Goupia glabra</i>	0,73
<i>Mezilaurus itauba</i>	0,76
<i>Trattinnickia burseraefolia</i>	0,76
Fator médio	0,73

De acordo com Nogueira et al. (2008), para a Amazônia, árvores com maior crescimento se tornam mais afiladas, ou seja, o fator de forma é menor para árvores maiores.

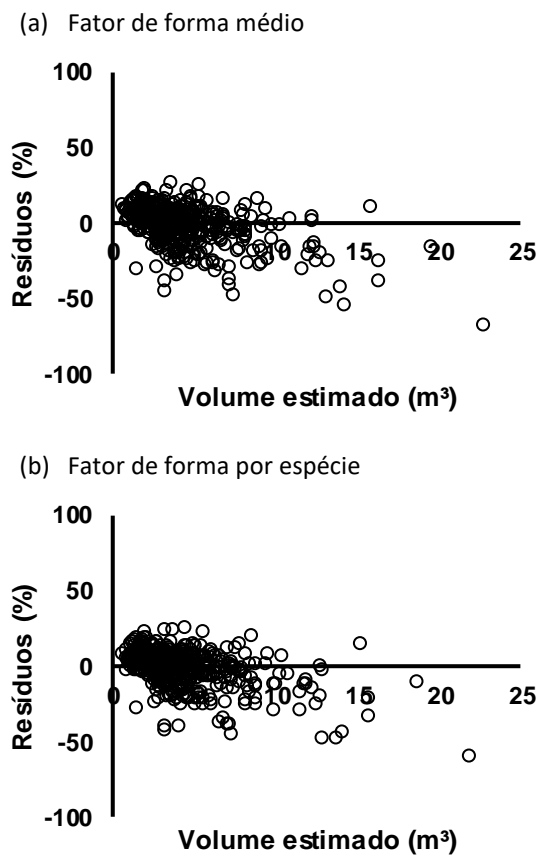


Figura 2. Análise gráfica residual para os volumes estimados com o fator de forma médio e por espécie.

Para todos os tratamentos o teste de Bartlett apontou haver homogeneidade das variâncias das amostras, não sendo necessário nenhum tipo de transformação dos dados. A análise de variância comparativa entre os diferentes métodos de estimativa volumétrica, demonstrou não haver diferença significativa entre os métodos, ao nível de 5% de significância (Tabela 5), ou seja, nenhum dos cinco métodos de estimativa (fator de forma

médio, fator de forma por espécie, modelo volumétrico de simples entrada, modelo volumétrico de dupla entrada e função de afilamento) diferem do volume obtido pela cubagem rigorosa.

Tabela 5. Análise de variância para os diferentes métodos de estimativa volumétricas

FV	GL	SQ	QM	F calculado
Tratamentos	5	42,14	8,42	1,18 ^{ns}
Resíduos	2684	19062,68	7,09	

^{ns}= não significativo, ** = significativo a 95% de probabilidade.

Ramos (2012), ao avaliar para espécies amazônicas diferentes métodos para estimativa volumétrica, como funções de afilamento, modelos volumétricos, equações de razão, indica que quando se deseja estimativas médias do volume comercial, qualquer procedimento testado pode ser utilizado. Correia (2015) também não verificou diferenças significativas entre as estimativas por meio do uso de modelos volumétricos de simples e dupla entrada, e as realizadas com o uso dos fatores de forma, corroborando com os resultados obtidos no presente estudo.

CONCLUSÕES

Não existe diferença significativa entre os cinco métodos avaliados para estimativa volumétrica e a cubagem rigorosa, o que faz com que a hipótese formulada para a presente pesquisa seja confirmada.

O modelo ajustado de Schumacher-Hall apresenta maior precisão para estimar o volume de espécies comerciais da Amazônia, em relação ao modelo de simples entrada de Hohenadl e a função de afilamento de Schöpfer.

O fator de forma médio encontrado nesta pesquisa se aproxima ao encontrado na literatura para espécies da Amazônia.

Para estimativas do volume comercial, recomenda-se utilizar o modelo de simples entrada, pois não houve diferença entre os métodos avaliados e a altura para espécies amazônicas é de difícil obtenção, fazendo deste método o mais prático.

Os resultados obtidos podem ser usados para subsidiar propostas no planejamento e estabelecimento de ações de manejo para a Floresta Amazônica, uma vez que o método adequado para estimativa volumétrica, com o apoio aos inventários florestais tradicionais possibilitam estimativas

mais acuradas para espécies comerciais da floresta amazônica.

Por fim, torna-se necessário o desenvolvimento de mais estudos buscando avaliar e comparar diferentes métodos para estimativa volumétrica englobando um maior número de espécies em áreas de floresta amazônica, pois é uma informação fundamental para a elaboração de inventários florestais e planos de manejo.

REFERÊNCIAS

AHRENS, S.; HOLBERT, D. Uma função para forma de tronco e volume de *Pinus taeda* L. **Boletim de Pesquisa Florestal**, v.3, p.37-68, 1981.

BRASIL. **Folha SD. 21 - Juruena: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra**. Rio de Janeiro: Ministério das Minas e Energia, 1980.

BRUCE, D.; SCHUMACHER, F.X. **Forest mensuration**. New York: McGraw-Hill, 1950. 483p.

CAMPOS, J.C.C.; LEITE, H.G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. Viçosa: UFV, 2013.

CHAPMAN, H.H.; MEYER, W.H. **Forest mensuration**. New York: McGraw-Hill, 1949.

COLPINI, C. et al. 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 Amazonica**, v.39, n.1, p.97-104, 2009.

CORREIA, J. et al. Equações volumétricas e fator de forma e de casca para florestas secundárias do litoral de Santa Catarina. **Floresta e Ambiente**, v.24, p. 1-12, 2017.

FINGER, C.A.G. **Medição de árvores: fundamentos de biometria florestal**. Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC; 1992.

HIGUCHI, N. et al. Tabela de volume para povoamento de *Eucalyptus grandis* plantado no município de Várzea Grande (MT). **Floresta**, v.10, n.1, p.43-47, 1979.

INSTITUTO DO HOMEM E MEIO AMBIENTE DA AMAZÔNIA (IMAZON). Rendimento no processamento de madeiras no estado do Pará. **Série Amazônia**, n.18, 2000.

LANSSANOVA, L.R. et al. Avaliação de funções de afilamento para a estimativa de diâmetro de espécies florestais comerciais do bioma amazônico mato-grossense. **Floresta**, v.43, n.2, p.215-224, 2013.

MACHADO, S.A. et al. Comparação de métodos de estimativa de volume para *Pinus oocarpa* em diferentes idades e diferentes regimes de desbaste. **Boletim de Pesquisa Florestal Brasileira**, v.50, p.81-98, 2005.

MACHADO, S.A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. 2 ed. Guarapuava: Unicentro, 2014.

MIGUEL, E.P. et al. Ajuste de modelo volumétrico e desenvolvimento de fator de forma para plantios de *Eucalyptus grandis* localizados no município de Rio Verde – GO. **Enciclopédia Biosfera**, v.6, p.1-13. 2010.

MENDONÇA, A.R. et al. Avaliação de funções de afilamento visando a otimização de fustes de *Eucalyptus* sp. para multiprodutos. **Cerne**, v.13, n.1, p.71-82, 2007.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Instrução normativa Nº 30, de 31 de dezembro de 2002**. IBAMA, 2002.

NOGUEIRA, E.M. et al. Estimates of forest biomass in the Brazilian Amazon: New allometric equations and 53 adjustments to biomass from wood-volume inventories. **Forest Ecology and Management**, v.256, n.11, p.1853-1867, 2008.

RAMOS, M. **Comparação de métodos para estimar o volume comercial em Floresta Ombrófila densa no estado do Amazonas**. 2012. 54p. (Dissertação de Mestrado).

RIBEIRO, R.B.S. et al. Seccionamento para cubagem e escolha de equações de volume para a Floresta Nacional do Tapajós. **Cerne**, v.20, n.4, p.605-612, 2014.

SILVA, J.T. **Volumetria, biomassa e qualidade da madeira de *Hymenaea courbaril* L. proveniente de plantios na Amazônia Central**. 2016. 71p. (Dissertação de Mestrado).

SCHOEPFER, W. Automatisierung des Massen, Sorten und Wertberechnung stehender Waldbestände. Schriftenreihe. **Bad. Wurt-Forstl.**, v.21, 1966.

SCHRÖDER, T. et al. Comparação de métodos de estimativa de volume total para *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. **Floresta e Ambiente**, v.20, p.480-486. 2013.

SCOLFORO, J.R.S. **Manejo florestal**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1997.

SOARES, C.P.B. et al. **Dendrometria e inventário florestal**. Viçosa: UFV, 2011.

SPURR, S.H. **Forestry inventory**. New York: Ronald Press, 1952.

