



Eficiência de métodos para estimativa volumétrica de espécies nativas na Amazônia Ocidental

Scheila Cristina BIAZATTI^{1*}, Marta Silvana Volpato SCCOTTI², João Fideles de BRITO JÚNIOR², Rômulo MÓRA³, Guilherme Henrique CARDOZO⁴

¹Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Rondônia, Rolim de Moura, RO, Brasil.

²Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais e Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, MT, Brasil.
(ORCID: 0000-0001-5979-3218; 0000-0002-5925-0667)

³Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal de Rondônia, Rolim de Moura, RO, Brasil.
(ORCID: 0000-0002-2234-6753)

⁴In memoriam.

*E-mail: scheila.biazatti@unir.br (ORCID: 0000-0001-5017-9780)

Recebido em 19/03/2019; Aceito em 28/01/2020; Publicado em 13/04/2020.

RESUMO: As estimativas do volume de espécies nativas com uso de equações, sobretudo na região Amazônica, ainda apresentam incertezas sobre a qualidade estatística e sua comparação com o fator de forma. Assim, o presente estudo objetivou comparar as estimativas volumétricas obtidas com o emprego de equações de volume, fator de forma para estimativa de volume em área de concessão florestal na Floresta Nacional (Flona) do Jamari, Rondônia. Foram derrubadas 40 árvores com DAP \geq 50,0 cm de seis espécies diferentes para ajuste de modelos de volume de simples e dupla entrada e fator de forma médio, os quais foram comparados com outros métodos de estimativas de volume (modelos ajustados por meio de dados obtidos do romaneio na mesma área e fator de forma 0,7, conforme determinado pela legislação) pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade, utilizando-se como parâmetro para validação, o volume comercial rigoroso obtido da cubagem de outras 15 árvores com DAP \geq 50,0 cm. O modelo de Schumacher-Hall não linear foi o que apresentou melhor ajuste e o fator de forma médio foi de 0,7257, considerando todas as espécies. Verificou-se que as estimativas geradas pelos métodos não apresentaram diferenças estatísticas e de forma geral, esses subestimaram o volume comercial.

Palavras-chave: florestas públicas; modelos volumétricos; fator de forma.

Efficiency of methods for volumetric estimation of native species in Western Amazon

ABSTRACT: The methods of estimating the volume of native species are widely varied, with the use of widespread mathematical models as well as the application of the form factor. In general, to obtain volume in management plans in the Amazon, current legislation provides for the determination of productive stocks based on volume equations, except for the first year. However, there are still uncertainties about the statistical quality of these methods and which one is more accurate. Thus, the present study aimed to compare the volumetric estimates obtained with the use of volume equations, a form factor for volume estimation in a concession area in the Jamari National Forest (Flona), Rondônia. 40 trees were sampled with DBH \geq 50.0 cm for adjustment of single and double-volume volume models diffused in the scientific medium and average form factor, which were compared with other methods of volume estimation (models adjusted by means of data obtained from the romaneio in the same area and form factor 0.7), by Dunnett's test, using as a parameter of comparison, the strict commercial volume obtained from the cubing of another 15 trees with DBH \geq 50.0 cm. The non-linear Schumacher-Hall model presented the best fit and the mean shape factor was 0.7257. It was verified that the estimates generated by the methods did not present statistical differences and, in general, the methods underestimated the commercial volume.

Keywords: public forests; volumetric models; form factor.

1. INTRODUÇÃO

A determinação do estoque de volume comercial de espécies nativas em planos de manejo no bioma Amazônico segue padrões previstos em normas legais, federais e estaduais. Assim, a legislação prevê que no primeiro ano de produção o volume seja estimado a partir do uso do fator de forma, e a partir do segundo ano, com auxílio de modelos

matemáticos (BRASIL, 2006; 2009). Decorrente disso, vários trabalhos sobre modelagem para espécies nativas foram desenvolvidos na Amazônia (ROLIM et al., 2006; THAINES et al., 2010; TONINI; BORGES, 2015; CYSNEIROS et al., 2017), no entanto, devido a variabilidade encontrada nas florestas naturais, não existe uma equação que represente a maioria das espécies. Além disso, tem-se ainda, problemas na

mensuração das variáveis independentes, principalmente pela dificuldade de obtenção da altura das árvores por meios indiretos, necessária aos modelos de dupla entrada (SEGURA; KANNINEN, 2005; COLPINI et al., 2009; CALDEIRA et al., 2016; CYSNEIROS et al., 2017).

Os modelos volumétricos mais estudados no Brasil, nos últimos anos, foram Schumacher e Hall, Stoate, Spurr, Meyer, Naslund, Ogaya, Takata e Honer. Destes, o modelo de Schumacher e Hall tem sido o mais indicado para estimativas volumétricas. Por outro lado, existem ainda incertezas quanto ao seu emprego, relacionadas a precisão de suas estimativas e uso prático, sugerindo que haja cautela ao se utilizar o modelo de Schumacher e Hall sem prévia comparação com outros modelos volumétricos e métodos de estimativa, como o fator de forma (ANDRADE, 2017). As equações de volume, assim como os fatores de forma, também apresentam limitações quanto ao uso prático e precisão das estimativas, visto, sobretudo, a necessidade da altura para obter o volume real. Segundo Rolim et al. (2006), o fator de forma apresenta tendência de subestimação do volume real. Tonini; Borges, (2015), citam que em planos de manejo, quando indicado o uso do fator de forma, ainda é aceito e utilizado o valor proposto por Heinsdijk; Bastos (1963) de 0,7 para todas as espécies, regiões e tipologias florestais da Amazônia.

Diante disso, é importante a continuação dos estudos relacionados à quantificação do estoque volumétrico na região Amazônica, visto que apresenta alta diversidade fisionômica e diferentes estruturas florestais, sendo este estudo ainda mais relevante à luz dos princípios da sustentabilidade, previstos pelas regulamentações destinadas a atividade de manejo florestal no Bioma, como os critérios preconizados pela Lei de Gestão de Florestas Públicas (2006), a Instrução Normativa nº 5 de 2006 do Ministério do Meio Ambiente e Resolução nº 406 de 2009 do Conselho Nacional do Meio Ambiente.

Nesse sentido, objetivou-se comparar e validar as estimativas volumétricas obtidas com o emprego de equações de volume, fator de forma para estimativa de volume em área de concessão florestal na Floresta Nacional (Flona) do Jamari, Rondônia.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Localização e caracterização da área de estudo

O estudo foi conduzido na Unidade de Produção Anual 06 (UPA 06), pertencente à Unidade de Manejo Florestal III (UMF III) na Flona do Jamari, RO, atualmente, sob regime de concessão florestal.

O clima da região é úmido e quente, classificado como Tropical Monção (Am) segundo Koppen, com média pluviométrica anual de 2300 mm.ano⁻¹ e temperatura média anual 26 °C (ALVARES et al., 2013; CLIMATE-DATA, 2017). O relevo varia de suavemente ondulado a plano, e, são encontrados solos distribuídos nas classes Latossolos e Argissolos, com maior ocorrência de Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico. A vegetação natural é classificada como Floresta Ombrófila Aberta (AMATA, 2009).

2.2. Metodologia

2.2.1. Ajuste dos modelos e determinação do fator de forma médio

Foram derrubadas 40 árvores amostras com DAP ≥ 50 cm, das espécies *Apuleia leiocarpa* (J. Vogel) J. F. Macbr,

Astronium lecointei Ducke, *Clarisia racemosa* Ruiz & Pavon., *Dinizia excelsa* Ducke, *Dipteryx odorata* (Aublet) Willd e *Hymenolobium petraeum* Ducke (Tabela 1), as quais realizou-se a determinação do volume pelo método de Smalian, onde foram medidos os diâmetros em diferentes posições do fuste (extremidade inferior da primeira tora, DAP, e, a partir deste, secções de dois metros) até a altura comercial, determinada pela inserção da copa, em que todas as medidas foram tomadas com a árvore derrubada.

Tabela 1. Caracterização das árvores amostras na Unidade de Produção Anual 06, Unidade de Manejo Florestal III, Flona do Jamari, RO.

Table 1. Characterization of sample trees at the Annual Production Unit 06, Forest Management Unit III, Jamari National Forest, RO.

Espécie	n	Var	Min	Méd	Max	Dp
<i>A. leiocarpa</i>	2	DAP	73,1	88,6	110,7	9,9
		hc	21,3	26,4	30,3	3,5
		vc	6,6	11,1	15,6	6,3
<i>A. lecointei</i>	9	DAP	99,9	110,0	120,1	14,3
		hc	14,6	15,7	16,9	1,6
		vc	7,2	12,5	20,4	3,9
<i>C. racemosa</i>	7	DAP	76,1	108,3	150,1	21,0
		hc	10,0	19,1	27,7	5,1
		vc	3,8	5,5	7,8	1,4
<i>D. excelsa</i>	13	DAP	58,8	73,4	102,3	15,9
		hc	12,7	16,6	20,4	2,6
		vc	6,0	12,7	24,3	5,8
<i>D. odorata</i>	6	DAP	62,1	82,1	114,8	28,6
		hc	24,3	27,0	28,8	2,4
		vc	3,2	5,6	12,0	3,3
<i>H. petraeum</i>	3	DAP	68,2	73,5	85,6	5,8
		hc	11,3	17,0	20,6	3,3
		vc	5,2	10,2	19,6	8,2
Total	40	DAP	58,8	90,6	150,1	21,4
		hc	10,0	20,6	30,3	5,6
		vc	3,2	10,1	24,3	5,5

em que: (n) número de árvores cubadas; (Var) variável avaliada; (Min) valor mínimo para a variável; (Méd) valor médio para a variável; (Max) valor máximo para a variável; (Dp) desvio padrão; (DAP) diâmetro a 1,30 m da base do solo, em cm; (hc) altura comercial em m; (vc) volume comercial rigoroso em m³.

A partir das informações coletadas no campo foram testados três modelos de regressão para estimativas de volume amplamente citados no meio científico e utilizados nos planos de manejo na região Amazônica (ROLIM et al., 2006; THAINES et al., 2010; TONINI; BORGES, 2015; CYSNEIROS et al., 2017) (Tabela 2). Além desses, gerou-se ainda o fator de forma médio (FIGUEIREDO et al., 2009).

Tabela 2. Modelos utilizados para gerar as estimativas do volume comercial de espécies nativas da Flona do Jamari, RO.

Table 2. Models used to generate estimates of the commercial volume of native species in the Jamari National Forest, RO.

Denominação	Modelo
Modelo da reta	$vc = \beta_0 + \beta_1 DAP + \epsilon$
Schumacher-Hall	$vc = \beta_0 * DAP^{\beta_1} * hc^{\beta_2} + \epsilon$
Schumacher-Hall ln	$\ln vc = \beta_0 + \beta_1 \ln DAP + \beta_2 \ln hc + \epsilon$

em que: (vc) volume comercial da i-ésima árvore (m³); (DAP) diâmetro da i-ésima árvore a 1,3 metros de altura do solo (cm); (hc) altura comercial (m); (ln) logaritmo neperiano; (ϵ) erro aleatório; (β_0, β_1 e β_2) coeficientes da regressão.

Os modelos de regressão linear foram ajustados pelo Método dos Mínimos Quadrados Ordinários e o modelo não linear, pelo método de algoritmo de Gauss-Newton. A avaliação estatística dos modelos foi feita por meio da

significância dos coeficientes de cada equação ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t de Student, dos valores de coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), erro padrão de estimativa em percentagem ($S_{yx}\%$) e gráficos da distribuição dos resíduos percentuais. Quando os modelos apresentavam variáveis dependentes logaritmizada, aplicou-se a correção do erro padrão da estimativa pelo índice de Meyer (SCOLFORO, 2005).

2.2.2. Métodos de estimativa de volume comercial indicados e utilizados para a área

Os métodos de estimativa escolhidos para determinar o volume comercial foram: os modelos de regressão ajustados

neste trabalho e fator de forma médio, o fator de forma 0,7 indicado pela legislação como referência para o primeiro ano de exploração no estado de Rondônia (RONDÔNIA, 2006), as equações de volume genéricas ajustadas por Cysneiros et al. (2017) com base na cubagem das toras em pátios de estocagem (romaneio) na UMF III (Tabela 3) e as equações utilizadas pela empresa concessionária para estimar o volume comercial das espécies manejadas também obtidas pela cubagem nos pátios de estocagem, em que para algumas espécies tem-se equações específicas e para alguns grupos de espécies as equações são genéricas (Tabela 4).

Tabela 3. Modelos matemáticos e equações genéricas ajustadas por Cysneiros et al. (2017) para espécies manejadas na Flona do Jamari, RO. Table 3. Generic equations adjusted by Cysneiros et al. (2017) for species managed in the Jamari National Forest, RO.

Modelo	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	$R^2_{aj}\%$	$S_{yx}\%$
$vc = \beta_0 + \beta_1 * DAP + \epsilon$	-8,096	0,195	--	63,5	41,1
$lnvc = \beta_0 + \beta_1 lnDAP + \beta_2 lnhc + \epsilon$	-8,273	1,804	0,763	73,1	36,0

em que: (vc) volume comercial da *i*-ésima árvore (m^3); (DAP) diâmetro da *i*-ésima árvore a 1,3 metros de altura do solo (cm); (hc) altura comercial (m); (ln) logaritmo neperiano; (ϵ) erro aleatório; ($\beta_0, \beta_1, \beta_2$) coeficientes da regressão; (R^2_{aj}) coeficiente de determinação ajustado (%); (S_{yx}) erro padrão da estimativa relativo (%).

Tabela 4. Modelos matemáticos e equações utilizadas pela empresa concessionária para estimativa do volume comercial de espécies manejadas na Flona do Jamari, RO.

Table 4. Equations used by the concessionaire company to estimate the commercial volume of species managed in the Jamari National Forest, RO.

Espécie	Modelo	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	$R^2_{aj}\%$	$S_{yx}\%$
<i>A. lecointei</i>	$vc = \beta_0 + \beta_1 * DAP + \epsilon$	-7,08	0,195	--	61,0	23,4
<i>P. paniculata</i>		-2,170	0,089	--	23,0	29,1
<i>D. odorata</i>	$vc = \beta_0 + \beta_1 * DAP + \beta_2 * DAP^2 + \epsilon$	-0,899	0,043	0,00042	71,0	31,7
<i>A. decandra</i>		11,387	-0,253	0,00056	79,0	22,1
Outras		-3,117	0,077	0,00086	68,0	29,3
<i>H. petraeum</i>	$lnvc = \beta_0 + \beta_1 * DAP + \beta_2 * DAP^2 + \epsilon$	-6,151	1,854	-0,00011	70,0	-
<i>D. excelsa</i>	$lnvc = \beta_0 + \beta_1 * lnDAP + \beta_2 * \frac{1}{DAP} + \epsilon$	7,093	-0,477	-251,565	71,0	-

Em que: (vc) volume comercial da *i*-ésima árvore (m^3); (DAP) diâmetro da *i*-ésima árvore a 1,3 metros de altura do solo (cm); (hc) altura comercial (m); (ln) logaritmo neperiano; (ϵ) erro aleatório; ($\beta_0, \beta_1, \beta_2$) coeficientes da regressão; (R^2_{aj}) coeficiente de determinação ajustado (%); (S_{yx}) erro padrão da estimativa relativo (%).

Fonte: Adaptado de Empresa concessionária, 2018.

2.2.3. Validação dos métodos de estimativa do volume comercial

Como forma de validar a eficiência dos métodos de estimativa do volume comercial, utilizou-se uma segunda amostra de 15 árvores, distribuídas em 10 espécies (Tabela 5).

De posse dos dados da cubagem obteve-se o volume rigoroso, o qual foi considerado como volume real da amostra e também os respectivos volumes obtidos para os demais métodos, equações de volume e fatores de forma. Após a mensuração, verificou-se a homogeneidade de variâncias pelo teste Bartlett e em caso positivo, os dados foram submetidos à Análise de Variância. Existindo diferenças entre as médias de volume obtidas pelos diferentes métodos avaliados, foi utilizado teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade para verificar as diferenças entre as estimativas médias. A organização dos dados foi realizada em planilha eletrônica e o processamento, ajuste dos modelos e estatísticas foram gerados pelo Software R (R CORE TEAM, 2017).

Tabela 5. Caracterização das árvores utilizadas para validação dos métodos de estimativa do volume comercial para espécies nativas da Flona do Jamari, RO.

Table 5. Characterization of the trees used for validation of commercial volume estimation methods for native species in the Jamari National Forest, RO.

Espécie	Árv.	DAP	hc	vc
<i>Allantoma decandra</i> (Ducke)	1	75,0	28,0	6,7
S.A.Mori et al.				
<i>Apuleia leiocarpa</i> (J. Vogel)	2	74,0	24,0	6,9
J. F. Macbr				
<i>Astronium lecointei</i> Ducke	3	70,2	30,2	8,4
<i>Couratari stellata</i> A.C.Sm.	4	71,1	28,9	13,2
<i>Dinizia excelsa</i> Ducke	5	75,3	16,6	5,4
	6	93,3	17,0	9,8
<i>Dipteryx odorata</i> (Aublet)	7	60,0	11,9	2,8
	8	76,0	19,5	7,5
	9	93,0	21,9	10,6
<i>Handroanthus heptaphyllus</i> (Vell.) Mattos	10	126,4	23,1	22,0
	11	54,6	16,3	3,2
<i>Hymenolobium petraeum</i> Ducke	12	68,9	19,4	4,7
	13	102,0	23,5	15,1
<i>Peltogyne paniculata</i> Benth	14	76,0	15,4	5,5
<i>Qualea paraensis</i> Ducke	15	66,0	29,6	6,6

em que: (vc) volume comercial (m^3); (DAP) diâmetro a 1,3 metros de altura do solo (cm); (hc) altura comercial (m).

3. RESULTADOS

3.1. Ajuste de modelos de regressão

Os modelos de volume comercial ajustados para as 40 árvores apresentaram coeficiente de determinação maior que 0,84 e erro inferior a 31% (Tabela 6). Nota-se que as duas formas de ajuste do modelo de Schumacher-Hall demonstraram melhor desempenho estatístico em relação ao coeficiente de determinação e erro quando comparado ao modelo de simples entrada.

Tabela 6. Coeficientes e estatísticas dos modelos de regressão ajustados para espécies nativas da Flona do Jamari, RO.

Table 6. Coefficients and statistics of adjusted regression models for native species in the Jamari National Forest, RO.

Modelos de regressão	Coeficientes	R ² _{aj} %	S _{yx} %
Modelo da reta	β ₀	-8,799*	84,7
	β ₁	0,208*	
Schumacher - Hall	β ₀	0,000044 ^{ns}	98,3
	β ₁	2,017*	
	β ₂	1,055*	
Schumacher - Hall ln	β ₀	-9,499*	98,2
	β ₁	1,993*	
	β ₂	0,916*	

*significativo a 95% de probabilidade pelo teste T de Student (p≤0,05);

^{ns}não significativo a 95% de probabilidade pelo teste T de Student (p>0,05); em que: (R²_{aj}) coeficiente de determinação ajustado (%); (S_{yx}%) erro padrão de estimativa (%).

O modelo de Schumacher - Hall não linear apresentou constante de regressão (coeficiente β₀) significativa apenas a nível de 0,90 de probabilidade. Mesmo com a redução do nível de confiança das estatísticas para este coeficiente, as demais estatísticas de precisão do modelo não foram comprometidas, obtendo para este, estimativas mais precisas comprovadas pelo gráfico de distribuição dos resíduos (Figura 1), destacando que o padrão de dispersão dos resíduos foi mais homogêneo e com menores desvios ao longo do eixo zero.

3.2. Fator de forma médio

O fator de forma médio calculado com os dados das 40 árvores foi de 0,7257, com variação de 0,4894 a 0,9163, desvio padrão de 0,0913 e o coeficiente de variação igual a 12,6% (Tabela 7). As espécies *C. racemosa* e *H. petraeum* apresentaram maior e menor afilamento do fuste respectivamente, esta última sendo a única espécie que apresentou valor inferior a 0,7, o que significa que a redução de volume rigoroso em relação ao volume do cilindro perfeito foi superior a 30%.

Tabela 7. Fator de forma comercial das espécies nativas de valor comercial manejadas na Flona do Jamari, RO.

Table 7. Commercial form factor variation of native species of commercial value managed in the Jamari National Forest, RO.

Espécie	Mín	Méd	Máx	Dp	CV %
<i>A. lecointei</i>	0,58	0,69	0,81	0,16	24,1
<i>A. leiocarpa</i>	0,60	0,73	0,86	0,08	11,1
<i>C. racemosa</i>	0,67	0,76	0,86	0,06	8,0
<i>D. excelsa</i>	0,57	0,70	0,90	0,09	12,7
<i>D. odorata</i>	0,67	0,74	0,91	0,08	11,2
<i>H. petraeum</i>	0,48	0,64	0,78	0,14	22,7
Total	0,48	0,72	0,91	0,09	12,5

em que: (Mín) valor mínimo para a variável; (Méd) valor médio para a variável; (Máx) valor máximo para a variável; (Dp) desvio padrão; (CV%) coeficiente de variação (%);

3.3. Métodos de estimativa do volume comercial

Considerando o conjunto de dados das 15 árvores amostras utilizadas para validação dos métodos de estimativa de volume comercial testados, após análise de variância, observou-se que os métodos não apresentaram diferenças significativas ao nível de 0,05 de significância em relação à média do volume real (Fcal=0,3430) (Tabela 8).

De forma geral, constata-se que os métodos de estimativas de volume apontam tendências de subestimativa do volume comercial médio (Tabela 8), com valores até 25% menores que a média de volume comercial rigoroso. No entanto, as estimativas de volume geradas a partir do fator de forma médio (0,7257) e modelo de Schumacher – Hall não linear e linearizado foram as que apresentaram valores mais próximos ao valor real.

4. DISCUSSÃO

4.1. Ajuste de modelos de regressão e fator de forma médio

Os modelos de Schumacher – Hall não linear e linearizado apresentaram desempenho estatístico satisfatório para o conjunto de dados utilizados no presente estudo, corroborando com os estudos de Rolim et al. (2006), Thaines et al. (2010), Tonini; Borges (2015), Cysneiros et al. (2017) e Correia et al. (2017). No entanto, o modelo de Schumacher – Hall na forma linearizada tem sido o mais indicado para uso em florestas nativas devido a maior facilidade em seu ajuste (ROLIM et al., 2006; COLPINI et al., 2009; THAINES et al., 2010; TONINI; BORGES, 2015; ANDRADE, 2017; CORREIA et al., 2017). Por outro lado, neste estudo a forma não linear deste modelo, apesar do coeficiente β₀ não ter sido significativo a 95% de probabilidade, apresentou estatísticas mais satisfatórias em relação ao modelo linearizado.

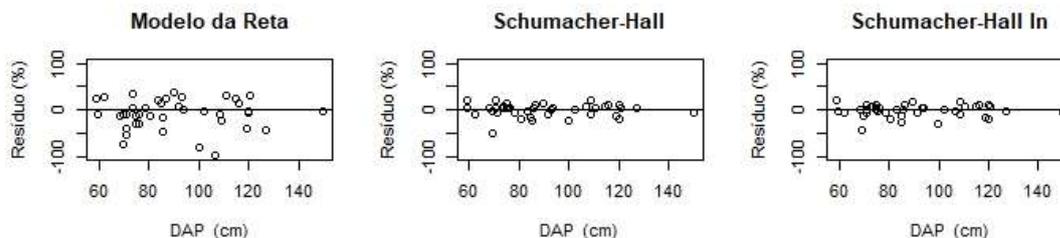


Figura 1. Distribuição de resíduos dos modelos de volume comercial ajustados para espécies nativas da Flona do Jamari, RO.

Figure 1. Distribution of residues of commercial volume models adjusted for native species of the Jamari National Forest, RO.

Tabela 8. Volume comercial rigoroso e volume comercial estimado por diferentes métodos para espécies nativas da Flona do Jamari, RO.
Table 8. Rigorous commercial volume and commercial volume estimated by different methods for native species of the Jamari National Forest, RO.

N	Rig	Reta	SH	SH ln	F	EC	C1	C8	F 0,7
1	6,7	6,8	9,0	8,7	9,0	5,8	6,5	7,8	8,7
2	6,9	6,6	7,4	7,3	7,5	5,3	6,3	6,8	7,2
3	8,4	5,8	8,5	8,1	8,5	6,6	5,6	7,4	8,1
4	13,2	6,0	8,4	8,0	8,3	6,2	5,8	7,3	8,0
5	5,4	6,9	5,2	5,4	5,4	5,4	6,6	5,3	5,2
6	9,8	10,6	8,3	8,5	8,4	9,3	10,1	7,9	8,1
7	2,8	3,7	2,3	2,5	2,4	3,2	3,6	2,7	2,3
8	7,5	7,0	6,3	6,4	6,4	5,2	6,7	6,1	6,2
9	10,6	10,5	10,7	10,6	10,8	7,9	10,0	9,6	10,4
10	22,0	17,5	21,0	20,5	21,0	14,1	16,6	17,3	20,3
11	3,2	2,6	2,7	2,8	2,8	3,1	2,6	2,9	2,7
12	4,7	5,5	5,1	5,2	5,2	4,8	5,3	5,1	5,1
13	15,1	12,4	13,9	13,6	13,9	10,5	11,8	11,9	13,4
14	5,5	7,0	4,9	5,1	5,1	4,6	6,7	5,1	4,9
15	6,6481	4,9308	7,3732	7,0616	7,3490	4,3701	4,7740	6,4884	7,0887
	8,5692 ^a	7,5908 ^a	8,0779 ^a	7,9910 ^a	8,1383 ^a	6,4173 ^a	7,2674 ^a	7,3128 ^a	7,8501 ^a

(a): Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste “Dunnett” a nível de 0,05 de probabilidade. Em que: (N) Número da árvore amostra; (Rig) volume comercial rigoroso obtido pela cubagem (m³); (Reta) volume comercial estimado pelo modelo de simples entrada (m³); (SH) volume comercial estimado pelo modelo de Schumacher – Hall não linear (m³); (SH ln) volume comercial estimado pelo modelo de Schumacher – Hall linearizado (m³); (F) volume estimado usando o fator de forma 0,7257 gerado a partir da cubagem (m³); (EC) volume estimado utilizando os modelos ajustados pela empresa concessionária (m³); (C1) volume estimado pelo modelo genérico 1 ajustado por Cysneiros et al. (2017) (m³); (C8) volume estimado pelo modelo genérico 8 ajustado por Cysneiros et al. (2017) (m³); (F 0,7) volume estimado usando o fator de forma 0,7 (m³).

Em relação ao fator de forma médio encontrado no presente estudo (0,7257) nota-se que o valor foi semelhante ao encontrado no estudo de Colpini et al. (2009) em área de Floresta Ombrófila Aberta no Mato Grosso e de Thaines et al. (2010) para a região da bacia do rio Ituxi no Amazonas, nestes estudos os valores observados pelos autores foram de 0,7424 e 0,75 respectivamente.

Nos planos de manejo para as espécies florestais amazônicas ainda é comumente utilizado o fator de forma médio de 0,7, valor sugerido por Heinsdijk e Bastos em 1963 (TONINI; BORGES, 2015), no entanto, esse valor em muitos casos subestima o volume real (ROLIM et al., 2006; COLPINI et al., 2009; THAINES et al., 2010), sendo importante rever as orientações que são dadas pela legislação, pois essa variável apresenta variações por espécie e ambientes, como constatado na amostra estudada (0,4895 a 0,9163), e em outros trabalhos, como de Figueiredo et al. (2009) os quais observaram valores entre 0,804 e 0,927, explicam que essa variação na forma das árvores é uma resposta das diferenças que se observa nas características biométricas das espécies, bem como a composição ambiental das áreas de estudo, que exercem influência sobre o comportamento dendrométrico da floresta.

Nesse sentido, nota-se o quanto é importante levar em consideração as complexidades de cada ecossistema florestal para gerar assim, informações confiáveis que possam orientar o uso sustentável desses ambientes.

Figueiredo et al. (2009), destacam ainda a escassez de trabalhos dessa natureza, com informações referentes às classes diamétricas e espécies da Região Amazônica, que podem atuar como fatores para melhorar as estimativas volumétricas geradas com fator de forma.

4.2. Métodos de estimativa do volume comercial

As estimativas médias de volume comercial geradas a partir dos métodos utilizados neste estudo não demonstraram diferença estatística entre elas, tendo estes, de forma geral, a mesma eficiência estatística para estimar o volume comercial (Tabela 8). Por outro lado, verificou-se que

todos os métodos testados apresentaram subestimativa do volume comercial em relação ao volume comercial cubado (valor real).

Essa subestimativa pode chegar a até 25% do volume real, o que representa uma perda de quase 3m³ por árvore. Neste panorama, avaliando ainda que na prática, essas perdas são geradas considerando toda a floresta manejada, tende-se a ter uma menor precisão, principalmente quando se analisa que estes métodos são usados para determinar a previsão do volume de colheita em planos de manejo, bem como a autorização de exploração por parte dos órgãos da gestão florestal.

Esse percentual de perda pode representar parte significativa do lucro de uma empresa, em especial considerando o cenário da concorrência em mercado com elevado quantitativo de madeira oriunda de fontes não manejadas, cujo custo de produção é significativamente inferior ao manejo praticado dentro dos parâmetros e critérios técnicos e legais.

Segundo Filgueiras et al. (2017) mesmo com o registro de quedas sistemáticas do desmatamento, ainda não se tem a garantia de que a exploração florestal seja totalmente legal, gerando uma desvalorização da indústria florestal na região Amazônica. Entretanto, conforme Santana et al. (2012), mesmo com todos os desafios legais do manejo florestal sustentável, a execução dessa atividade produz margens positivas de lucro e valores relativamente superiores aos gerados oriundos das atividades de desmatamento. Tornando ainda, mais importante a busca por métodos que garantam estimativas volumétricas precisas, a fim de, propiciar ganhos em rentabilidade econômica da exploração florestal e a conservação dos recursos naturais.

O fator de forma médio e os modelos de Schumacher – Hall não linear e linearizado ajustados no presente estudo, mesmo não sendo diferentes estatisticamente dos demais métodos, foram os que apresentaram valores médios mais próximos ao valor real. Esse fato pode estar associado à metodologia utilizada durante a realização da cubagem rigorosa.

No caso do presente estudo, para gerar os modelos de regressão e fator de forma médio foram utilizadas medidas de diâmetro a cada 2 m ao longo do fuste. Nos demais casos a cubagem foi feita no pátio de estocagem, onde as medidas de diâmetro são tomadas apenas nas extremidades das toras que variam entre 5,20m e 9,40m.

Soares et al. (2011) sugerem que para gerar boas estimativas de volume nos métodos de cubagem a distância entre os pontos de medida de diâmetro devem seguir 1m a 2m. Miranda et al. (2013) em estudo sobre a influência dos métodos de cubagem e comprimentos de seções para a determinação do volume de toras da espécie *M. itauba*, citam que a diferença na determinação do volume pode ser afetada pela forma geométrica atribuída a tora da espécie ou ainda pelo método de cubagem. Ressaltando ainda que, o método de Smalian apresentou tendência em superestimar o volume real com o aumento do comprimento das toras.

Nos planos de manejo na Amazônia, segundo a legislação o fator de forma pode ser utilizado apenas na primeira exploração para gerar dados de volume, nas seguintes, o volume deve ser gerado com base em equações de volume local (BRASIL, 2006; 2009).

No entanto, ao utilizar o fator de forma e modelos de dupla entrada, há um questionamento sobre a praticidade e real eficiência desses métodos. Pois em ambos é necessário, dados de altura, sendo esta uma variável de difícil obtenção em florestas nativas quando obtidas com árvore em pé, podendo resultar em estimativas não eficazes quando incluída nesses métodos (SEGURA; KANNINEN, 2005; THAINES et al., 2010; CYSNEIROS et al., 2017).

Por esse motivo, muitas vezes na prática, o modelo de simples entrada, apesar de apresentar alguns problemas dada a realidade das espécies amazônicas que não apresentam padrão de crescimento que reflete na relação diâmetro e altura, pode ser uma alternativa interessante visto que não é necessário o uso da altura e somente do diâmetro, sendo este último uma medida de fácil obtenção sujeita a menor erro, como sugerido também por Barros; Silva Junior (2009) que observaram boas estimativas para modelos de regressão de simples entrada, para a determinação do volume das árvores em pé em área de floresta nativa na Fazenda Santa Bárbara, no município de Anapu (PA).

Outra alternativa para solucionar o problema de uso de modelos de dupla entrada baseia-se na medição de altura a partir da soma das toras de romaneio, sendo esta medida indicada como segura para o ajuste de modelos de estimativa do volume (SILVA-RIBEIRO et al. 2016; CYSNEIROS et al., 2017).

Entretanto, vale ressaltar que, segundo Andrade (2017), é preciso cautela e comparações quando se trabalha com modelagem de relação volumétrica. Sendo necessário ainda o desenvolvimento de métodos realmente eficazes, visto que, a maioria dos que estão em uso foram propostos entre anos de 1930 e 1950 o que poderia não ser representativo aos padrões ambientais e dendrométricos que se tem atualmente, principalmente para áreas de manejo florestal na Amazônia.

Nesse sentido, o que realmente se conhece em relação aos métodos de estimativa do volume comercial é que todos ainda são tendenciosos e que essa tendência gera minimização dos valores reais. E que, apesar de sua ampla utilização e obrigação por parte dos órgãos florestais, para se ter resultados com alta confiabilidade é preciso aprimorar as

técnicas e metodologias sobre os métodos de estimativa, principalmente para as áreas nativas.

5. CONCLUSÕES

A equação de Schumacher-Hall e o fator de forma ajustados mostram melhor desempenho estatístico para estimativa do volume comercial de espécies nativas, considerando os erros observados na validação.

De modo geral, apesar dos valores de erros verificados na validação resultarem em tendência a subestimativas, os métodos indiretos de estimativa do volume comercial não apresentaram diferença estatística em relação aos valores reais.

Mesmo apresentando igualdade estatística, se verifica um elevado valor de diferença volumétrica entre os métodos, com verificação de valores com até 25% de subestimativa.

Visto que o fator de forma ajustado apresenta menor erro de estimativa quando comparado ao volume cubado, fica evidenciado a importância desse método para estimativa do volume comercial, sugerindo que as exigências legais referentes a essa temática possam ser questionadas, uma vez que obrigam a utilização de equações de volume, não permitindo o uso do fator de forma ajustado específico para a área e as espécies exploradas, que se mostra com maior precisão estatística.

6. AGRADECIMENTOS

A Amata S.A e seus colaboradores atuantes na Flona do Jamari.

7. REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, Berlin, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. DOI: <https://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- AMATA. **Plano de manejo florestal sustentável categoria de PMFS: pleno**. 142p. 2009. Disponível em: <<http://www.florestal.gov.br/publicacoes/92-concessoes-florestais/florestas-sob-concessao/301-amata-s-a-execucao-financieira-e-tecnica-da-concessao-jamari-umf-iii>>. Acesso em: 13 de fev. 2019.
- ANDRADE, V. C. L. Modelos volumétricos de dupla entrada para aplicar em povoamentos florestais brasileiros. *Floresta e Ambiente*, Seropédica, v. 24, p. e00135415, 2017. DOI: <https://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.135415>
- 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 de Ciências Agrárias*, Belém, v. 51, n. 1, p. 115-126, 2009.
- BRASIL. **Instrução Normativa n. 5, de 11 de dezembro de 2006**. Dispõe sobre procedimentos técnicos para elaboração, apresentação, execução e avaliação técnica de Planos de Manejo Florestal Sustentável-PMFS nas florestas primitivas e suas formas de sucessão na Amazônia Legal. Legislação federal. 2006.
- BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE/ CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. **Resolução 406, de 02/02/2009**. 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. Legislação federal. 2009.
- CALDEIRA, G. V.; MAMORÉ, F. M. D.; SILVA, R.; GAVA, F. H.; FAVALESSA, C. M. C.; MÔRA, R.; DRESCHER, R. Volume equations for *Qualea paraensis* and *Erisma uncinatum* in the north of Mato Grosso state, Brazil. **Nativa**, Sinop, v.4, n.4, p.249-252, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.14583/2318-7670.v04n04a11>
- CLIMATE-DATA. **Clima**: Itapuã do Oeste. Disponível em: < <https://pt.climate-data.org/location/312427/>> Acesso em: 14 mar 2018.
- COLPINI, C.; TRAVAGIN, D. P.; SOARES, T. S.; MORAES E SILVA, V. S. 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**, Manaus, v. 39, n. 1, p. 97-104, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672009000100010>
- CORREIA, J.; FANTINI, A.; PIAZZA, G. Equações volumétricas e fator de forma e de casca para Florestas Secundárias do litoral de Santa Catarina. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 24, e20150237, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.023715>
- CYSNEIROS, V. C.; PELISSARI, A. L.; MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A.; SOUZA, L. Modelos genéricos e específicos para estimativa do volume comercial sob concessão na Amazônia. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 45, n. 114, p. 295-304. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.18671/scifor.v45n114.06>
- FIGUEIREDO, E. O.; SCHROEDER, R.; PAPA, D. D. A. **Fatores de forma para 20 espécies florestais comerciais da Amazônia**. Embrapa Acre: Rio Branco, 2009. 4 p. (Comunicado técnico, 173).
- FILGUEIRAS, G. C.; CAIRES, M. S. L.; CARVALHO, A. C.; ARAÚJO, A. C. S.; CARVALHO, A. V. Desenvolvimento local sustentável através da produção concentrada de madeira em tora no estado do Pará. **Revista Agroecossistemas**, Belém, v. 9, n. 2, p. 102-129, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.18542/ragros.v9i2.5095>
- HEINSDIJK, D.; BASTOS, A. M. Inventários florestais na Amazônia. **Boletim do Serviço Florestal**. Rio de Janeiro, n. 6, p. 1-100, 1963.
- MIRANDA, D. L. C.; AZEVEDO, F. F.; SANTOS, J. P. Determinação do volume de toras da espécie *Mezilaurus itauba* (Meissn.) Taub. **Scientia Plena**, Aracaju, v. 9, n. 8. 2013.
- R CORE TEAM (2017). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: < <https://www.R-project.org/>>. Acesso em: 12 de fevereiro de 2019.
- ROLIM, S. G.; COUTO, H. T. Z.; JESUS, R. M.; FRANCA, J. T. Modelos volumétricos para a Floresta Nacional do Taipé-Aquiri, Serra dos Carajás. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 36, n. 1, p. 106-114, 2006. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672006000100013>
- RONDÔNIA. SECRETARIA DE ESTADO DO DESENVOLVIMENTO AMBIENTAL. **Portaria Nº 186 de 24 de outubro de 2006**. Dispõe sobre aprovação dos roteiros mínimos para apreciação de Planos de Manejo de Florestal Sustentável – PMFS, Plano Operacional Anual – POA, Relatório de Atividades Pós Exploratório do PMFS e as especificações dos mapas, conforme Anexos I, II, III e IV desta portaria. Legislação Estadual. 2006.
- SANTANA, A. C.; SANTOS, M. A. S.; SANTANA, A. L.; YARED, J. A. G. O valor econômico da extração manejada de madeira no Baixo Amazonas, estado do Pará. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 36, n. 3, p. 527-536, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622012000300015>
- SCOLFORO, J. R. S. **Biometria florestal: Parte I: modelos de regressão linear e não linear; Parte II: modelos para relação hipsométrica, volume, afilamento e peso de matéria seca**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005. 352 p.
- SEGURA, M.; KANNINEN, M. Allometric models for tree volume and total aboveground biomass in a tropical humid forest in Costa Rica. **Biotropica**, Lawrence, v. 37, n. 1, p. 2-8, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2005.02027.x>
- SILVA-RIBEIRO, R. B.; GAMA, J. R. V.; SOUZA, A. L.; LEITE, H. G.; SOARES, C. P. B.; SILVA, G. F. Métodos para estimar o volume de fustes e galhos na Floresta Nacional do Tapajós. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 40, n. 1, p. 81-88, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0100-67622016000100009>
- SOARES, C. P. B.; PAULA NETO, F.; SOUZA, A. L. **Dendrometria e inventário florestal**. 2. ed. Viçosa: Editora UFV, 2011. 272 p.
- 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, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.4336/2010.pfb.30.64.283>
- TONINI, H.; BORGES, R. A. Equação de volume para espécies comerciais em Floresta Ombrófila Densa no sul de Roraima. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 35, n. 82, p. 111-117, 2015. DOI: <https://dx.doi.org/10.4336/2015.pfb.35.82.738>