

Revista Brasileira de Ciências Agrárias

ISSN: 1981-1160

agrarias.prppg@ufrpe.br

Universidade Federal Rural de

Pernambuco

Brasil

Vasconcellos Gama, João Ricardo; Lopes de Souza, Agostinho; dos Santos Vieira, Diego;
Garcia Leite, Hélio

Equações de volume para uma floresta ombrófila aberta, município de Codó, estado do
Maranhão

Revista Brasileira de Ciências Agrárias, vol. 12, núm. 4, 2017, pp. 535-542

Universidade Federal Rural de Pernambuco

Pernambuco, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=119054185022>

- ▶ Como citar este artigo
- ▶ Número completo
- ▶ Mais artigos
- ▶ Home da revista no Redalyc

Equações de volume para uma floresta ombrófila aberta, município de Codó, estado do Maranhão

João Ricardo Vasconcellos Gama¹, Agostinho Lopes de Souza²,
Diego dos Santos Vieira³, Hélio Garcia Leite²

¹ Universidade do Oeste do Pará, Instituto de Biodiversidade e Florestas, Departamento de Engenharia Florestal, Rua Vera Paz, s/n, Salé, CEP 68035-110, Santarém-Pará, Brasil. E-mail: jrvgama@gmail.com

² Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Florestal, Avenida Purdue, s/n, Campus Universitário, CEP 36570-900, Viçosa-MG, Brasil. E-mail: alsouzaa@gmail.com; hgleite@gmail.com

³ Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Campus JK, Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, Rodovia MGT 367 – km 583, 5000, Alto da Jacuba, CEP 39100-000, Diamantina-MG, Brasil. E-mail: diegovieir4@gmail.com

RESUMO

O presente estudo foi desenvolvido com o objetivo de ajustar um modelo volumétrico para estimar, simultaneamente, o volume de fuste e volume total de árvores de uma Floresta Ombrófila Aberta, localizada no município de Codó, estado do Maranhão (BR). Foram amostradas 364 árvores na amplitude diamétrica de 5,0 a 90,0 cm. O modelo ajustado foi o de Schumacher & Hall, no qual foi incluída uma variável binária para a estimativa dos volumes de fuste e totais com e sem oco; e o volume total e de fuste para a espécie *Cenostigma macrophyllum* Tul. Os resultados demonstraram que as equações resultantes do ajuste do modelo de regressão apresentado podem ser utilizadas, com precisão, na estimativa do volume do fuste e do volume total com casca, das árvores com oco, sem oco e de *Cenostigma macrophyllum* que ocorrem na Floresta Ombrófila Aberta avaliada.

Palavras-chave: análise de regressão; inventário florestal; modelo volumétrico

*Volume equations for an open ombrophylous forest,
Codó county, Maranhão state, Brazil*

ABSTRACT

The aim of the present study was to adjust a volumetric model to estimate, simultaneously, the volume of the stem and the total volume of trees for an Open Ombrophylous Forest, located at Codó Municipality, Maranhão State (BR). Three hundred and sixty-four sample trees ranging from a 5.0 to 90.0 cm were measured. It was adjusted the Schumacher & Hall mathematic model, including a binary variable to estimate the total trunk volume with and without hollows, and the total and commercial volumes of *Cenostigma macrophyllum* Tul. Results showed that the equations originated from the adjustment may be used, with precision, to quantify the total and commercial volumes in the Open Ombrophylous Forest studied.

Key words: regression analysis; forest inventory; volumetric model

Introdução

A necessidade de quantificar o estoque de matéria prima florestal e a busca pela máxima produção e rentabilidade da floresta justificam a procura por ferramentas que possibilitem estimativas precisas do volume comercial de espécies florestais (Thaines et al., 2010; Tonini & Borges, 2015).

Um dos procedimentos mais usuais para obter-se o estoque volumétrico é por meio de análise de regressão, relacionando o volume (variável dependente) com o diâmetro a 1,30 m do solo e altura da árvore (variáveis independentes) (Thaines et al., 2010), obtém-se uma equação volumétrica que aliada a um método de amostragem fornece uma estimativa confiável do volume de um povoamento florestal (Clutter et al., 1992).

O uso de equações volumétricas é indispensável durante o planejamento e execução de um plano de manejo florestal, sendo necessário tê-las para diferentes espécies, regiões e tipologias florestais (Tonini & Borges, 2015), uma vez que, embora aceitável, o uso generalizado da expressão alemã $v=g \cdot h \cdot f$ para o cálculo do volume individual de árvores - com o uso do fator de forma proposto por Heinsdijk & Bastos (1963) de 0,7 - pode resultar em subestimativas do volume comercial, quando comparado a equações volumétricas (Rolim et al., 2006). Além disso, com a aprovação da resolução do Conama nº 406, de 02/02/2009, os planos de manejo a partir do segundo plano operacional anual (POA), deverão informar o volume comercial de árvores em pé por meio de equações desenvolvidas especificamente para a área manejada (Brasil, 2009).

O processo de seleção da equação é uma fase importante no inventário florestal, visto que qualquer erro na estimativa do volume por árvore terá reflexos na estimativa da população, causando uma sub ou superavaliação da produção (Campos et al., 1985). Dessa forma, é importante obter equações de volume específicas para cada área, pois, na atividade florestal, que é um negócio rentável e competitivo economicamente, não pode haver inferências equivocadas, pois a quantificação incorreta dos estoques volumétricos ocasiona perdas econômicas, uma vez que o planejamento ficará comprometido.

Alguns autores têm disponibilizado diversas equações para diferentes regiões e espécie em área de Floresta Ombrófila Densa na Amazônia (Rolim et al., 2006; Colpini et al., 2009; Thaines et al., 2010; Barreto et al., 2014; Ribeiro et al., 2014), porém quando se trata de Florestas Ombrófilas Abertas, no leste do estado do Maranhão, além da total ausência de estudos que disponibilizem equações de volume locais, o problema na estimativa do estoque volumétrico é um pouco mais complexo devido à abundância e dominância de *Cenostigma macrophyllum* Tul (Gama et al., 2007), uma espécie típica da região cuja a principal característica é a presença de troncos sulcados, que dificulta a estimativa correta do estoque volumétrico para essa fitofisionomia predominante na região.

Com base nesse contexto, o presente estudo foi desenvolvido com o objetivo de obter-se uma equação volumétrica para *Cenostigma macrophyllum* Tul e outra para estimar, simultaneamente, o volume de fuste e volume total com casca das demais árvores de uma Floresta Ombrófila Aberta do município de Codó, estado do Maranhão.

Material e Métodos

O estudo foi desenvolvido no Projeto Magela (04° 35'20" S e 43° 49' 55,2" W) pertence à empresa Maranhão Gusa S/A, localizado no município de Codó, estado do Maranhão (BR). Trata-se de uma propriedade florestal com área total de 4.092,45 ha, dos quais 1.049,91 ha foram destinados para utilização mediante aprovação do plano de manejo florestal sustentável.

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw, com temperatura e precipitação média anual de 28 °C e 1.600 mm, respectivamente (Sudam, 1984). O relevo varia de plano a suavemente ondulado, com predomínio de solos quartzarénicos e pequenos trechos de Latossolos Amarelos. A vegetação pertence à região fitoecológica de Floresta Ombrófila Aberta, com duas faciações bem definidas, a saber: Floresta Ombrófila Aberta com Cipó e Floresta Ombrófila Aberta com Palmeira, as quais sofreram pequenos incêndios e exploração seletiva não autorizada, com retirada de moirões e espécies madeireiras (*Tabebuia* sp. e *Cedrela* sp.) de valor comercial (Gama et al., 2007).

Foram amostradas e derrubadas 364 árvores, sendo 275 árvores sem oco, 28 árvores com oco e 61 árvores de caneleiro (*Cenostigma macrophyllum* Tul.). O processo de cubagem englobou 56 espécies de maior valor de importância em diferentes classes de diâmetro, correspondendo a 44% da base florística com $15,7 \leq CAP < 282,7$ cm (Figura 1). Antes da derruba das árvores, anotou-se a circunferência do fuste a 1,30 m do solo (CAP) e altura total (Ht), enquanto que a presença dos ocos e as alturas de toco e comercial (fuste) foram obtidas após a derrubada com o auxílio de uma trena.

Considerou-se como fuste, a porção da árvore viável para processamento mecânico, ou seja, o comprimento entre a altura de corte e a primeira ramificação mais grossa na base da copa. As circunferências das seções foram medidas com o auxílio de uma fita métrica a 0,0, 0,3, 1,1 m e a partir daí, de 1,1 em 1,1 metros, até o término do fuste, anotando-se o comprimento da última tora e evitando fazer medições em regiões de ocorrência

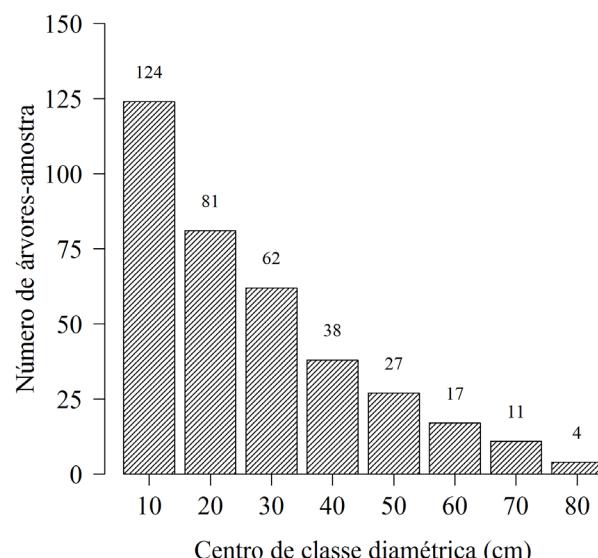


Figura 1. Distribuição de diâmetro das árvores-amostra, projeto Magela, município de Codó, estado do Maranhão.

de deformações no fuste. Os galhos foram cubados em seções de aproximadamente 1,0 m, até uma circunferência mínima de 9,0 cm. O volume do fuste foi obtido pela aplicação sucessiva da equação de Smalian, enquanto o volume de galhos foi obtido pela equação de Huber (Soares et al., 2006).

Os fustes que apresentaram oco foram traçados no ponto de medição da seção. O mesmo procedimento foi utilizado para os galhos. Se o oco ocorresse nas duas pontas, a área seccional era calculada para o diâmetro externo e interno (diâmetro do oco), sendo a área seccional real obtida pela diferença entre a área seccional externa e interna. Quando o oco ocorreu em apenas uma das pontas da seção, calculava-se a área seccional pelo diâmetro externo e, por meio do diâmetro interno, calculava-se a área do oco utilizando a fórmula do cone, para isso também se medi a profundidade do oco com uma vareta, sendo o volume real definido pela diferença entre a área seccional externa e a interna.

Com os dados de volume por árvore foram ajustados dois modelos para árvores com oco, sem oco e para a espécie *Cenostigma macrophyllum*. O primeiro foi o modelo de Schumacher & Hall (1933) linearizado que se incluiu uma variável binária, Tx_1 (Eq. 1), para estimar volume total e de fuste. Esse modelo foi selecionado por ser, dentre os tradicionais, o melhor modelo para obter-se estimativas precisas de volume de árvores individuais em Florestas Ombrófilas Aberta e Densa na Amazônia (Rolim et al., 2006; Colpini et al., 2009; Silva & Santana, 2014).

$$\ln V = \beta_0 + \beta_1 \ln DAP + \beta_2 \ln Ht + \beta_3 \ln DAP \cdot Tx_1 + \varepsilon \quad (1)$$

em que: V = volume de fuste ou total com casca (m^3); DAP = diâmetro medido à 1,3 m do solo (cm); Ht = altura total (m); $Tx_1 = 0$ para volume total e $Tx_1 = 1$ para volume de fuste; \ln = logaritmo neperiano; $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ e β_3 = coeficientes de regressão e ε = erro aleatório, sendo $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$.

O segundo modelo ajustado foi o proposto por Campos et al. (2001) (Eq. 2), o qual inclui duas variáveis binárias, Tx_1 e Tx_2 . Nesse caso, a combinação 0 e 0 para Tx_1 e Tx_2 , respectivamente, resulta no volume total da floresta, enquanto as combinações 1 e 0 e 0 e 1 resultam no volume do fuste e galho, respectivamente.

$$V = \beta_0 \cdot DAP^{\beta_1} \cdot Ht^{\beta_2} \cdot \left(\exp\left(-\beta_3 \cdot \frac{Tx_1}{DAP}\right) \right) \cdot \left(1 - \left(\frac{Tx_2 \cdot Hc}{DAP} \right)^{\beta_4} \right) \cdot \varepsilon \quad (2)$$

em que: V , DAP , Ht , e ε = definidos anteriormente; $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ = coeficiente de regressão; Tx_1 e Tx_2 = variáveis binárias e Hc = altura comercial.

A inclusão das variáveis binárias Tx_1 e Tx_2 foi realizada para garantir a consistência ou compatibilidade entre estimativas de volume. Os coeficientes dos modelos foram obtidos por meio do método dos mínimos quadrados ordinários (MMQO) e as suas significâncias por meio do teste t ($p = 0,05$), sendo o ajuste realizado no software Statistica 7.0.

Como a espécie *Cenostigma macrophyllum* apresenta tronco sulcado, 38 seções com diâmetro variando de 2,5 cm a 70 cm foram reproduzidas em cartolina e digitalizadas em

escala de 1:1 para obter o percentual de área seccional sólida (Figura 2).

A partir da porcentagem de área seccional sólida, foi ajustado um modelo (Eq. 2) em função do diâmetro das seções. Com isso, foi possível corrigir a área das seções transversais que foram utilizadas no cálculo do volume real das árvores de caneleiro. Os coeficientes do modelo (3) foram obtidos por meio do método de Levenberg-Marquardt, sendo o ajuste realizado no software CurveExpert Basic versão 1.4

$$g\% = \beta_0 (d - \beta_1)^{\beta_2} + \varepsilon \quad (3)$$

em que: $g\%$ = porcentagem de área seccional sólida; d = diâmetro das seções, em cm; β_0, β_1 e β_2 = coeficientes de regressão e ε = erro aleatório, sendo $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$.

A avaliação da precisão das equações foi realizada por meio do coeficiente de determinação ajustado (R^2), que foi calculado para se estimar o grau de ajuste da reta de regressão ao conjunto de dados, por meio da expressão Eq 4:

$$\bar{R}^2 = 1 - \left[\left(\frac{n-1}{n-p-1} \right) \cdot \frac{S\text{Qresíduo}}{S\text{Qtotai}} \right] \quad (4)$$

em que: R^2 = coeficiente de determinação ajustado; n = número de observações; e p = número de parâmetros do modelo.

Considerando a utilização da variável binária o coeficiente de correlação ($r_{Y\hat{Y}}$) foi utilizado para verificar a precisão da equação de forma compartmentada, ou seja, comparar valores observados com estimados de volume de fuste e volume total. Além disso, calculou-se os resíduos percentuais ($R\%$), que foram analisados graficamente, e a raiz quadrada do erro médio (RMSE) por meio das expressões Eq. 5 e 6. Quanto menor o RMSE, melhor a precisão da estimativa, sendo a situação ótima quando é igual a zero (Mehtatalo et al., 2006). Já a

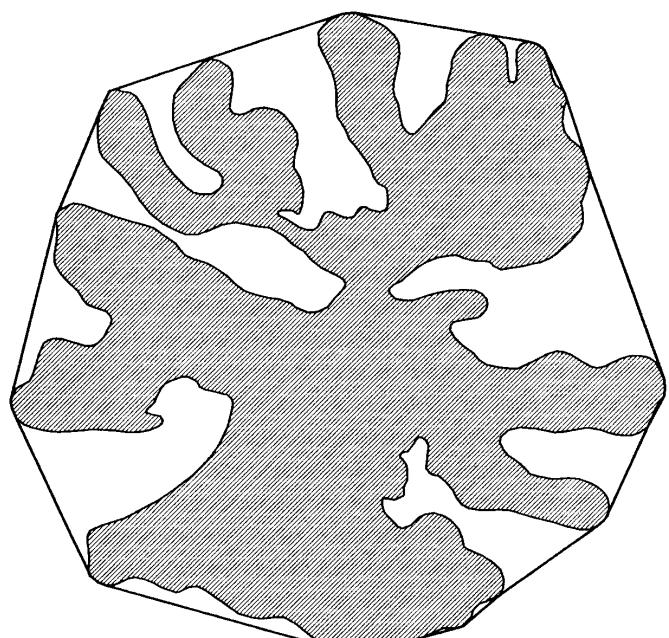


Figura 2. Área seccional de *Cenostigma macrophyllum*, projeto Magela, município de Codó, estado do Maranhão.

significância dos coeficientes dos modelos foi avaliada pelo teste *t* de Student, a 95% de probabilidade.

$$R_{\%} = \left(\frac{V_i - \hat{V}_i}{V_i} \right) * 100 \quad (5)$$

$$RMSE_{\%} = \frac{100}{\bar{V}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (V_i - \hat{V}_i)^2}{n}} \quad (6)$$

em que: $R_{\%}$ = resíduo percentual das estimativas; V_i = volume observado na cubagem rigorosa (m^3); \hat{V}_i = volume estimado pelos modelos (m^3) e \bar{V} = média dos volumes observados na cubagem rigorosa (m^3).

Tabela 1. Estimativa dos coeficientes e estatísticas do modelo de Schumacher & Hall (SH) e Campos ajustados para calcular o volume de árvores sem oco, Projeto Magela, município de Codó, estado do Maranhão.

Modelo	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	R^2	SH		Campos
							$r_{Y\hat{Y}}$	RMSE	RMSE
SH	-9,83882*	2,16880*	0,80601*	-0,01879*	-	98,69	-	-	-
Campos	0,00031*	1,89210*	0,55474*	28,2192*	0,43279*	93,10	-	-	-

Valores observados vs. estimados:

Volume de fuste	0,938	57,07	50,73
Volume de galhos	0,862	121,60	76,27
Volume total	0,966	43,23	38,39

SH = modelo de Schumacher & Hall, *significativo a 5%, pelo teste *t*; RMSE = raiz quadrada do erro médio.

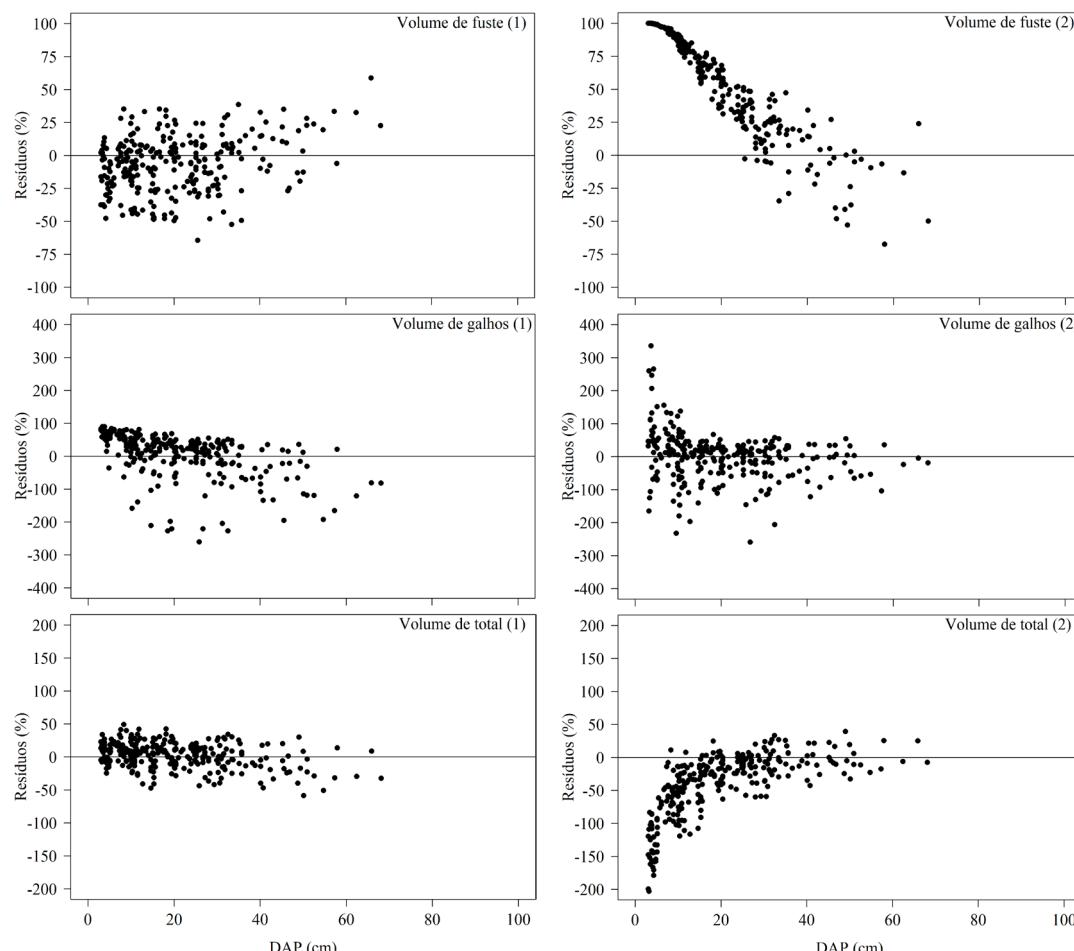


Figura 3. Distribuição gráfica dos resíduos percentuais para as estimativas de volume do fuste, galho e total das árvores sem oco por meio dos modelos de Schumacher & Hall (1) e Campos (2), Projeto Magela, município de Codó, estado do Maranhão.

Resultados e Discussão

Equação para árvores sem oco

As equações para árvores sem oco apresentaram precisão satisfatória no que se refere ao coeficiente de determinação ajustado (R^2), porém foram relativamente precisas quando analisado os valores de RMSE para volume de fuste, galho e total (Tabela 1). Os coeficientes dos modelos foram significativos pelo teste *t* e os coeficientes de determinação ajustado superiores a 92%, sendo o de SH superior ao de Campos et al. (2001). Os coeficientes de correlação do modelo SH foram superiores a 90%, exceto para volume de galhos que foi calculado pela diferença entre volume de fuste e total.

Ao avaliar a distribuição dos resíduos percentuais das estimativas dos volumes (Figura 3), observou-se superioridade

do modelo SH em relação ao de Campos et al. (2001). No modelo SH, os resíduos para volume de fuste e total não apresentaram tendências até $DAP < 40$ cm. Contudo, acima desse diâmetro notou-se uma sub e superestimação para volume de fuste e total, respectivamente. Os resíduos para volume de galhos superaram a faixa de 100%, verificando-se uma tendência em superestimar ao longo de toda a amplitude diamétrica considerada nesse estudo.

No modelo de Campos et al. (2001), observou-se elevados erros percentuais para classes inferiores a 35 cm, com erros para volume de fuste e total superando a faixa de 100%. Além do maior erro nas classes até 35 cm, podem ser observadas também nítidas tendências em sub e superestimar o volume do fuste e total. Os resíduos para o volume de galhos apresentaram uma tendência em superestimar o volume em todas as classes.

Tabela 2. Estimativa dos coeficientes e estatísticas do modelo de Schumacher & Hall (SH) e Campos ajustados para calcular o volume de árvores com oco, Projeto Magela, município de Codó, estado do Maranhão.

Modelo	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	R^2	SH		Campos
							$r_{Y\hat{Y}}$	RMSE	RMSE
SH	-10,8656*	1,67750*	1,64890*	-0,0140*	-	94,22	-	-	-
Campos	0,00004 ^{ns}	1,27535*	1,96075*	42,7589*	0,39493*	93,70	-	-	-

Valores observados vs. estimados:									
Volume de fuste							0,907	46,51	32,01
Volume de galhos							0,786	67,74	42,22
Volume total							0,953	24,53	23,52

SH = modelo de Schumacher & Hall, *significativo e ^{ns} não significativo a 5%, pelo teste t; RMSE = raiz quadrada do erro médio.

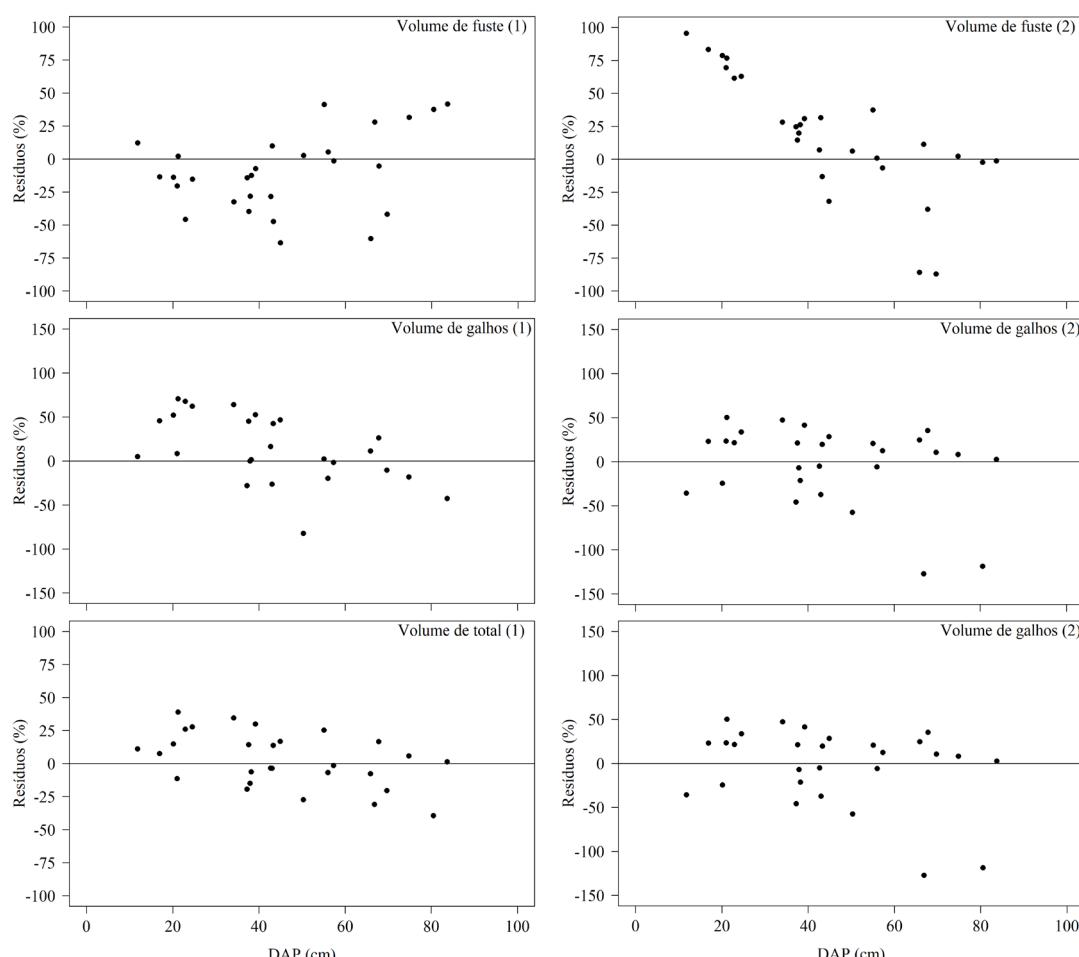


Figura 4. Distribuição gráfica dos resíduos percentuais para as estimativas de volume do fuste, volume do galho e volume total das árvores com oco por meio dos modelos de Schumacher & Hall (1) e Campos (2), Projeto Magela, município de Codó, estado do Maranhão.

Equação para árvores com oco

As equações para árvores com oco apresentaram precisão satisfatória no que se refere ao coeficiente de determinação ajustado (R^2), porém foram relativamente precisas quando analisado os valores de RMSE para volume de fuste, galho e total (Tabela 2). Os coeficientes dos modelos foram significativos pelo teste t , exceto o coeficiente β_0 do modelo de Campos et al. (2001). Os coeficientes de correlação do modelo SH foram superiores a 90%, exceto para volume de galhos que foi calculado pela diferença entre volume de fuste e total.

Com a análise da distribuição dos resíduos percentuais das estimativas dos volumes (Figura 4), observou-se superioridade do modelo SH em relação ao de Campos et al. (2001). No

modelo SH, os resíduos para volume de fuste demonstraram uma tendência em superestimar árvores com $DAP < 40$ cm. Acima deste diâmetro, a distribuição dos resíduos ficou mais homogênea. Os resíduos para volume de galhos e para o volume total, de modo geral, tenderam a subestimativa até $DAP < 40$ cm e após este diâmetro a tendência foi de superestimativa do volume de galhos e total.

No modelo de Campos et al. (2001), os resíduos para volume de fuste demonstraram tendência em subestimar árvores com $DAP < 35$ cm, com erros superando a faixa máxima de 75% encontrada no modelo de SH. Acima deste diâmetro, houve superestimação do volume do fuste. Os resíduos para volume de galhos e total apresentaram pequenas tendências em sub e superestimar, respectivamente, árvores com $DAP < 35$ cm e após este diâmetro a tendência foi de superestimativa do volume de galhos e total.

Equação para *Cenostigma macrophyllum*

A equação para estimar a porcentagem de área seccional sólida das seções de *Cenostigma macrophyllum* é $g_{\%} = 11,117647(d + 29,173125)^{-0,7196937}$ $R^2 = 0,851$. Segundo a Figura 5, os resíduos percentuais não apresentaram tendência na distribuição dos pontos.

A espécie *Cenostigma macrophyllum* normalmente ocorre em Floresta Ombrófila Aberta com cipó e com palmeira, em alguns locais está entre as espécies com os maiores valores de importância (Ribeiro et al., 1999; Souza et al., 2001; Gama et al., 2007). Assim, devido a espécie apresentar tronco sulcado o cálculo de sua área basal é superestimado, portanto, a estimativa da área seccional sólida proporcionará resultados

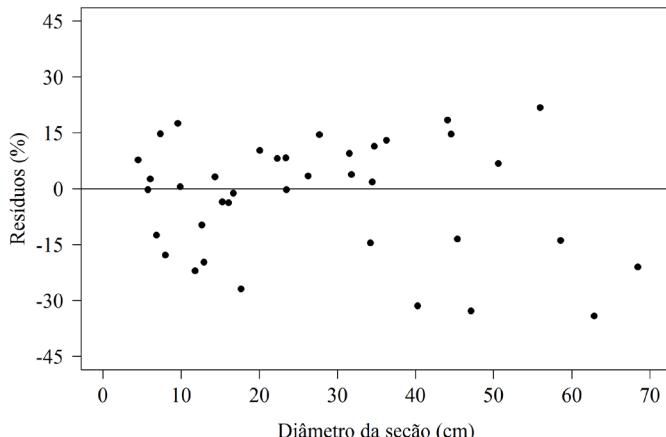


Figura 5. Resíduos percentuais das estimativas de área seccional sólida para a espécie *Cenostigma macrophyllum*.

Tabela 3. Estimativa dos coeficientes e estatísticas do modelo de Schumacher & Hall (SH) e Campos ajustados para calcular o volume de *Cenostigma macrophyllum*, Projeto Magela, município de Codó, estado do Maranhão.

Modelo	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	R^2	SH		Campos RMSE
							$r_{Y\hat{Y}}$	RMSE	
SH	-10,4338*	2,29230*	0,72220*	-0,0119*	-	97,73	-	-	-
Campos	0,00008 ^{ns}	1,66268*	1,22675*	47,42658*	0,39617*	94,36	-	-	-
Valores observados vs. estimados:									
Volume de fuste							0,937	28,67	47,16
Volume de galhos							0,918	75,86	39,54
Volume total							0,966	25,49	23,63

SH = modelo de Schumacher & Hall, *significativo e ^{ns} não significativo a 5%, pelo teste t; RMSE = raiz quadrada do erro médio.

mais confiáveis de área basal em planos de manejo florestal que tenham esta espécie em sua base florística.

As equações para obter-se os volumes de *Cenostigma macrophyllum* apresentaram precisão satisfatória no que se refere ao coeficiente de determinação ajustado (R^2), porém foram relativamente precisas quando analisado os valores de RMSE para volume de fuste, galho e total (Tabela 3). Os coeficientes dos modelos foram significativos pelo teste t , exceto o coeficiente β_0 do modelo de Campos et al. (2001). Os coeficientes de determinação ajustado foram superiores a 93%, sendo o de SH superior ao de Campos et al. (2001). Os coeficientes de correlação do modelo SH foram superiores a 90%.

Com a análise da distribuição dos resíduos percentuais das estimativas dos volumes de *Cenostigma macrophyllum*, observou-se superioridade do modelo SH em relação ao de Campos et al. (2001). No modelo SH, observou-se que os resíduos para volume de fuste e total não apresentaram tendências. Os resíduos para volume de galhos superaram a faixa de 100%, verificando-se uma tendência em superestimar ao longo de toda a amplitude diamétrica considerada neste estudo (Figura 6). No modelo de Campos et al. (2001), observou-se elevados erros percentuais para árvores com $DAP < 40$ cm e nítidas tendências em sub e superestimar o volume do fuste e total, respectivamente. Os resíduos para volume de galhos superaram a faixa de 200% e superestimaram o volume ao longo de toda a amplitude diamétrica considerada neste estudo (Figura 6).

Uma análise geral das medidas de precisão obtidas nos diferentes ajustes, permite afirmar que o modelo de Schumacher & Hall linearizado explica de maneira muito satisfatória as variações de volume das árvores individuais quando comparado ao de Campos et al. (2001), além de ser facilmente obtido por meio de regressão linear e não apresentar problemas de divergência. As estimativas dos coeficientes de determinação ajustado obtidas neste trabalho foram compatíveis com os resultados encontrados em Silva et al. (1984), Belchior (1996), Campos et al. (2001) e Chichorro et al. (2003) para outras formações florestais do Brasil.

Foi possível verificar, por meio do coeficiente de correlação linear, alto grau de associação entre volumes observados e estimados. Apesar do volume de galhos para árvores com oco ter apresentado o menor valor de correlação ($r = 0,786$), foi estatisticamente significante ao nível de 1% de probabilidade, indicando que mesmo com grande dispersão dos resíduos os volumes observados e estimados apresentaram associação positiva.

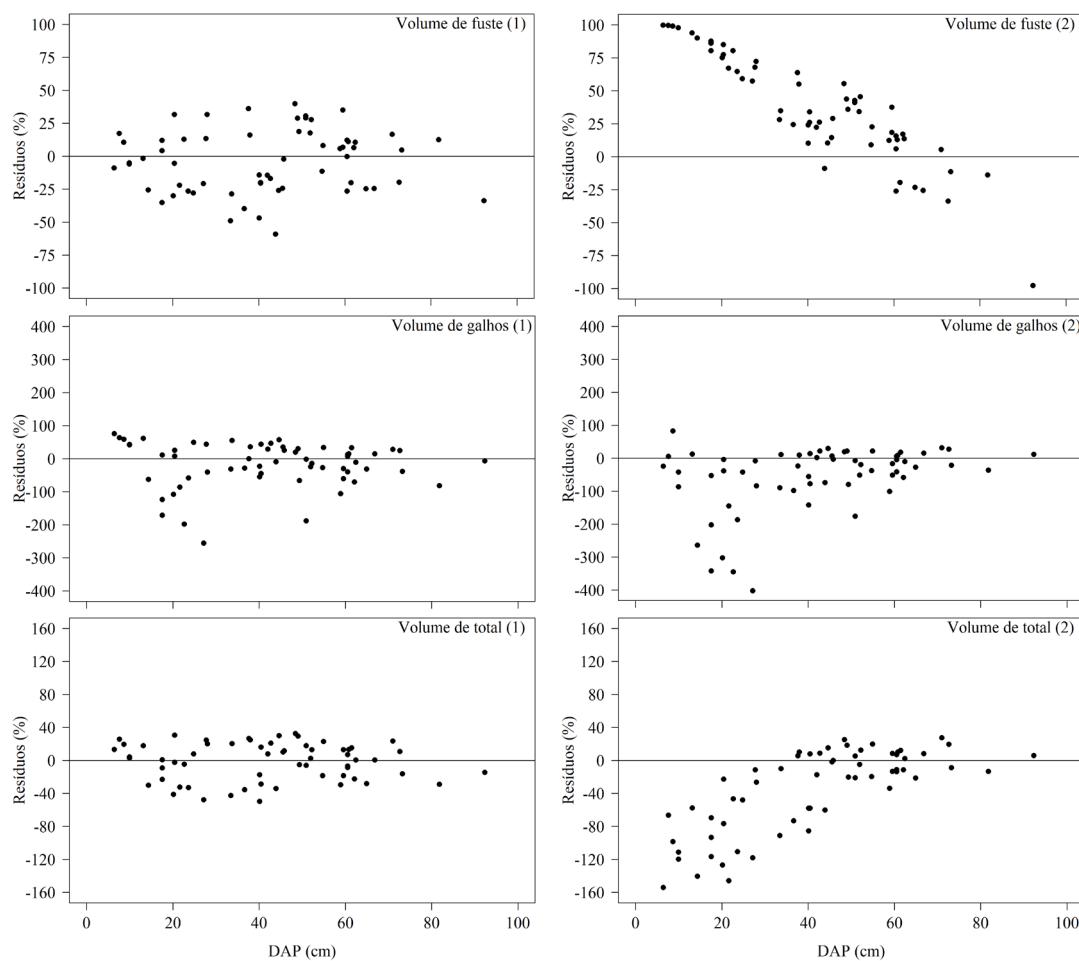


Figura 6. Distribuição gráfica dos resíduos percentuais para as estimativas de volume de fuste, volume de galhos e volume total de *Cenostigma macrophyllum* por meio dos modelos de Schumacher & Hall (1) e Campos (2), Projeto Magela, município de Codó, estado do Maranhão.

Ao se observar os gráficos de resíduo obtidos no modelo SH, constatou-se que a equação para o volume de fuste tende a subestimar as árvores com $DAP \geq 40$ cm, e o volume total com tendência inversa, ou seja, de superestimar o volume das maiores árvores. Isso ocorreu, provavelmente, devido a poucas árvores-amostra de grande porte. Com relação aos resíduos para volume de galhos, que tenderam a superestimativa e superaram a faixa de 150%, essa mesma tendência foi encontrada por Santos et al. (2001).

Silva-Ribeiro et al. (2016) utilizando modelo de Schumacher & Hall na forma não linear, com variáveis binárias, para estimativa de volume de fuste e total, sendo o volume de galhos calculado pela diferença entre as duas últimas, obteve um coeficiente de correlação de 0,86; os ajustes tenderam a superestimar o volume de fuste e de galhos, com variações maiores para as menores árvores. O que pode ser explicado pela diversidade de espécies, fatores abióticos e edafoclimáticos (Borsoi et al., 2012).

Segundo Campos et al. (2001), isto é justificado pela grande heterogeneidade de tamanho e estrutura das árvores da floresta ineqüíânea, como também por se tratar de uma equação simultânea, ou seja, que estima simultaneamente o volume de fuste e o volume total, a magnitude do resíduo para volume de galhos pode ter sido ampliada, devido, provavelmente esta variável incorporar duas fontes de variação (fuste e total).

Conclusões

A inclusão de uma variável binária no modelo de Schumacher & Hall, possibilitou estimar com precisão o volume do fuste e o volume total, com casca, das árvores com oco, sem oco e de *Cenostigma macrophyllum*.

O uso da equação $g_{\%} = 11,117647(d + 29,173125)^{-0,7196937}$ $R^2 = 0,851$ para estimar o percentual de área seccional sólida de *Cenostigma macrophyllum*, proporcionará resultados mais confiáveis de área seccional e consequentemente de área basal em planos de manejo florestal que tenham esta espécie em sua base florística.

Agradecimentos

À Calsete, Calsete Siderurgia Ltda, pelo interesse em manejar a floresta nativa e apoio logístico para realização deste estudo.

Literatura Citada

- Barreto, W.F.; Leão, F.M.; Menezes, M.C. de; Souza, D.V. Equação de volume para apoio ao manejo comunitário de empreendimento florestal em Anapú, Pará. Pesquisa Florestal Brasileira, v.34, n.80, p.1-9, 2014. <https://doi.org/10.4336/2014.pfb.34.80.721>.

- Belchior, P.R.B. Estimação de volumes total, de fuste e de galhos em mata secundária no município de Rio Vermelho, MG. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1996. 75p. Dissertação Mestrado.
- Borsoi, G.A.; Muller, B.V.; Brenda, D.A. Equações de volume para galhos de espécies em diferentes grupos de valor econômico em uma Floresta Ombrófila Mista. Ambiência, v.8, n.3, p.869-878, 2012. <https://doi.org/10.5777/ambiciencia.2012.05.06>.
- 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. <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=597>. 01 Dez. 2016.
- Campos, J.C.C.; Leite, H.G.; Silva, G.F. da; Soares, C.P.B.; Carneiro, J.A. Estimação de volumes do tronco e da copa de árvores de povoamentos mistos. Revista Árvore, v.25, n.4, p.471-480, 2001.
- Campos, J.C.C.; Trevizol Júnior, T.L.; Paula Neto, F. de. Ainda, sobre a seleção de equações de volume. Revista Árvore, v.9, n.2, p.115-126, 1985.
- Chichorro, J.F.; Resende, J.L.P.; Leite, H.G. Equações de volume e de taper para quantificar multiprodutos da madeira em Floresta Atlântica. Revista Árvore, v.27, n.6, p.799-809, 2003. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622003000600006>.
- Clutter, J.L.; Forston, J.C.; Pienaar, L.V.; Brister, G.H.; Bailey, R.L. Timber Management: a quantitative approach. Malabar: Krieger Publishing Company, 1992. 333p.
- Colpini, C.; Travagin, 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 do Mato Grosso. Acta Amazonica, v.39, n.1, p.97-104, 2009. <https://doi.org/10.1590/s0044-59672009000100010>.
- Gama, J.R.V.; Souza, A.L.; Calegário, N.; Lana, G. C. Fitossociologia de duas fitocenoses de floresta ombrófila aberta no município de Codó, Estado do Maranhão. Revista Árvore, v.31, n.3, p.465-477, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622007000300012>.
- Heinsdijk, D.; Bastos, A.M. Inventários florestais na Amazônia. Boletim do Serviço Florestal, v.6, n.1, p.1-100, 1963. http://library.wur.nl/isric/fulltext/isricu_i00022470_001.pdf. 05 Set. 2016.
- Mehtatalo, L.; Maltamo, M.; Kangas, A. The use of quantile trees in the prediction of the diameter distribution of a stand. Silva Fennica, v.40, n.3, p.501-516, 2006. <https://doi.org/10.14214/sf.333>.
- Ribeiro, R.B.S.; Gama, J.R.V.; Melo, L.O. Seccionamento para cubagem e escolha de equações de volume para a floresta nacional do Tapajós. Revista Cerne, v.20, n.4, p.605-6912, 2014. <https://doi.org/10.1590/01047760201420041400>.
- Ribeiro, R.J.; Higuchi, N.; Santos, J. dos; Azevedo, C.P. de. Estudo fitossociológico nas regiões de Carajás e Marabá-Pará, Brasil. Acta Amazonica, v.29, n.2, p.207-222, 1999. <https://doi.org/10.1590/1809-43921999292222>.
- Rolim, S.G.; Couto, H.T.Z.; Jesus, R.M.; França, J.T. Modelos volumétricos para a Floresta Nacional do Tapirapé-Aquiri, Serra dos Carajás (PA). Acta Amazonica, v.36, n.1, p.107-114, 2006. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672006000100013>.
- Santos, J dos; Paula-Neto, F.; Higuchi, N.; Leite, H.G.; Souza, A.L. de; Vale, A.B. do. Modelos estatísticos para estimar a fitomassa acima do nível do solo da floresta tropical úmida da Amazônia central. Revista Árvore, v.25, n.4, p.445-454, 2001.
- Schumacher, F.X.; Hall, F.S. Logarithmic expression of the timber volume. Journal of Agriculture Research, v.47, n.9, p.719-734, 1933. <https://naldc.nal.usda.gov/download/IND43968352/PDF>. 05 Nov. 2016.
- Silva, E.N.; Santana, A.C. Modelos de regressão para estimativa de volume de árvores comerciais, em florestas de Paragominas. Revista Ceres, v.61, n.5, p.631-636, 2014. <https://doi.org/10.1590/0034-737X201461050005>.
- Silva, J.N.M.; Carvalho, J.O.P.; Lopes, J.C.A.; Carvalho, M.S.P. Equações de volume para a floresta nacional do Tapajós. Boletim de Pesquisa Florestal, v.1, n.8/9, p.50-63, 1984. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPF-2009-09/5024/1/jnsilva3.pdf>. 08 Dez. 2016.
- 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 fuste e galhos na Floresta Nacional do Tapajós. Revista Árvore, v.40, n.1, p.81-88, 2016. <https://doi.org/10.1590/0100-67622016000100009>.
- Soares, C.P.B.; Paula-Neto, F.; Souza, A.L. Dendrometria e inventário florestal. Viçosa: Editora da Universidade Federal de Viçosa, 2006. 276p.
- Souza, A.L.; Gama, J.R.V.; Lana, G. Relatório final: manejo florestal em faixas alternadas. Viçosa: Sociedade de Investigações Florestais; Maranhão Gusa S/A, 2001. 128p.
- Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia - Sudam. Atlas Climatológico da Amazônia Brasileira. Belém: Sudam, 1984. 125p.
- 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, v.30, n.64, p.283-289, 2010. <https://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, v.35, n.82, p.1-8, 2015. <https://doi.org/10.4336/2015.pfb.35.82.738>.