



Modelagem do rendimento em madeira serrada para espécies comerciais em serrarias do estado do Amapá

Ronaldo Oliveira dos SANTOS^{1*}, César Cayck Silva de ARAÚJO¹, Hanna Vanessa Braga TAVARES¹,
Diego Armando Silva da SILVA¹, Cinthia Pereira de OLIVEIRA², Robson Borges de Lima¹

¹Departamento de Engenharia Florestal, Universidade do Estado do Amapá, Macapá, Amapá, Brasil.

²Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brasil.

E-mail: santos.ueap@hotmail.com

Recebido em fevereiro/2017; Aceito em junho/2017.

RESUMO: O presente trabalho foi desenvolvido com o intuito de ajustar e selecionar modelos estatísticos para estimativa de rendimento volumétrico de madeira serrada das espécies *Dinizia excelsa* Ducke e *Manilkara huberi* Ducke. Para isto, foram coletadas como principais variáveis: o volume da tora, volume de madeira serrada, diâmetro menor da tora e comprimento da tora. Estes dados são provenientes de uma serraria localizada no município de Porto Grande no Estado do Amapá. O rendimento volumétrico foi obtido a partir da razão entre o volume de madeira serrada e o volume da tora, sendo utilizado como *input* da variável resposta. Juntamente com as demais variáveis, com exceção do volume de madeira serrada, foram empregadas como *input* de variáveis explicativas no ajuste de 11 modelos estatísticos. A qualidade dos ajustes foi verificada por meio do coeficiente de determinação ajustado, erro padrão residual, valor de F e distribuição residual. Em síntese, as estatísticas obtidas pela equação $R = 1,11423 - 1,21120 * V + 0,40166 * V^2 - 0,0368 * V^3$ e $R = -6,6100 + 6,0380V - 1,3760 * V^2 + 1,1960 * V^3 - 0,3393 * V^4$ para as espécies maçaranduba e angelim-vermelho, respectivamente, sugerem que a maior precisão das estimativas de rendimento são obtidas quando se utiliza a variável volume da tora em diferentes potências. O erro padrão residual obtidos indicam que estas equações apresentaram o menor viés, a qual justifica suas escolhas.

Palavras-chave: Amazônia, regressão linear, processamento de toras, volume de toras.

Modeling of the wood yield sawed for commercial species in sawmills of state of Amapá

ABSTRACT: The present work was developed with the purpose of adjust and selecting statistical models for estimating the volumetric yield of sawn timber of the species *Dinizia excelsa* Ducke and *Manilkara huberi* Ducke. For this, were collected as main variables: the log volume, volume of sawd wood, small diameter of log and length of log. These data come from a sawmill located in the city of Porto Grande in the State of Amapá. The volumetric yield was obtained from the ratio between the volume of sawd wood and the log volume, being used as *input* of the response variable. Together with the other variables, with the exception of volume of sawd wood, they were used as *input* of explanatory variables in the adjustments of 11 statistical models. The quality of the adjustments were verified by the coefficient of determination, residual standard error, F value and residual distribution. In summary, the statistics obtained by equations $R = 1,11423 - 1,21120 * V + 0,40166 * V^2 - 0,0368 * V^3$ and $R = -6,6100 + 6,0380V - 1,3760 * V^2 + 1,1960 * V^3 - 0,3393 * V^4$ for the Maçaranduba and Angelim-vermelho species, respectively, suggest that the highest accuracy of yield estimates is obtained when using the variable volume of log in different potencies. The residual standard errors obtained indicate that these equations presented the least bias, which justifies their choices.

Keywords: Amazonia, linear regression, log processing, log volume.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, o mercado madeireiro é uma das alternativas para o desenvolvimento da Amazônia (ALMEIDA et al., 2010; OIMT, 2012), sendo uma das principais regiões produtoras de madeira tropical no mundo atrás apenas da Malásia e Indonésia (MARCHELAN, 2012). Diante dessa premissa, caracterizar a produção de madeira serrada de forma sustentada tem se tornado uma atividade que onera os empreendimentos florestais que processam a matéria-prima.

De acordo com Hummel et al. (2010), em 2009 foram extraídos 14,2 milhões de metros cúbicos de madeira em tora da Amazônia Legal. Desse total, o Amapá contribuiu com uma extração de 94 mil metros cúbicos de madeira em tora, resultando em uma produção de 41 mil metros cúbicos de

madeira processada, o que corresponde aproximadamente a 44% de rendimento. Entre as espécies mais comercializadas, destaque-se *Dinizia excelsa* Ducke (angelim-vermelho) e *Manilkara huberi* Ducke (maçaranduba) (HUMMEL et al., 2010). Deste modo, a possibilidade de quantificação do rendimento da matéria-prima, com rapidez e confiabilidade, possibilita decisões sobre o desempenho industrial e, sobretudo, o correto uso da madeira, permitindo a redução de gastos e evita perdas no processo produtivo (MANHIÇA et al., 2013a).

A estimativa do rendimento de madeira serrada fornece informações importantes para a composição de modelos e a formação de sistemas produtivos para se estabelecer estratégias mais ousadas e seguras, com vistas aos mercados

de produtos oriundos de madeira de espécies tropicais (MURARA JUNIOR et al., 2013; MANHIÇA et al., 2013b). Nesse contexto, para que as estimativas de produção e rendimento de madeira serrada tenham maior confiabilidade, técnicas alternativas vêm sendo empregadas no setor florestal, entre elas cita-se a modelagem estatística por meio de modelos de regressão, consistindo em um procedimento eficiente associado a variáveis dendrométricas de árvores já no pátio de estocagem (BIASI; ROCHA, 2007; VALÉRIO et al., 2009).

É importante ressaltar que a modelagem por meio de análise de regressão é um suporte estatístico capaz de promover estimativas confiáveis a partir do ajuste e seleção de equações. Diante disto, esta técnica tem sido empregada com ênfase na solução de grande parte dos problemas florestais, especialmente quando se pretende obter estimativas por meio de relações biométricas (SCHNEIDER et al., 2009). Por essa razão, é fundamental a obtenção de uma equação que consiga estimar com acuracidade o rendimento de madeira para diferentes espécies, visto que pode servir de subsídio para tomadas de decisões na indústria florestal.

A transformação de madeira em tora pode ser avaliada em produtos e subprodutos. Desta forma, estimativas de rendimento volumétrico por meio de equações ajustadas possibilitarão a quantificação do rendimento da matéria-prima, permitindo a redução de gastos e evitando perdas na produção (PIOVESAN et al., 2013). Assim, as informações geradas possibilitam gerenciar o melhor aproveitamento das toras, sendo esta por sua vez, uma alternativa de otimização da produção para as serrarias.

Assim, o objetivo deste trabalho foi selecionar uma equação que estime com precisão o rendimento de madeira serrada para as espécies *Dinizia excelsa* e *Manilkara huberi*.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

O estudo foi realizado em uma serraria localizada no município de Porto Grande, Estado do Amapá. A madeira utilizada foi proveniente de área de plano de manejo florestal sustentável, de escala empresarial, sob o registro nº 286196-IBAMA, e no ofício nº 1680/2012 /DIPRE/IMAP, parecer nº 286/2012, denominado Projeto São João, que está localizado no município de Santana, Amapá.

As atividades de inventário florestal, planejamento da exploração, colheita, transporte e processamento da madeira foram de responsabilidade de uma empresa localizada no Amapá, detentora do plano de manejo da área.

2.2. Desdobro das toras

Foram empregadas 49 toras nos processos de desdobro das espécies: 26 toras de angelim – vermelho e 23 de maçaranduba. Para o processamento e desdobro, foi utilizado uma serra-fita com diâmetro de 1,25 m e altura de corte de 80 cm. Para resserragem das costaneiras, foi utilizada uma serra-fita horizontal de dois cabeçotes com volantes de 1,25 m de diâmetro e altura de corte de 50 cm. Para o ajuste das larguras das tábuas originadas da resserragem, foram utilizadas duas serras circulares refiladeiras duplas com altura de corte de 80 mm.

Os semiblocos que foram obtidos no desdobro principal foram direcionados para uma serra circular múltipla de um eixo, com altura de corte de 110 mm. As costaneiras geradas

pelo primeiro corte da tora foram resserradas na serra-fita horizontal com dois cabeçotes e o semibloco central foi encaminhado para a operação de resserragem em serra circular múltipla (MURARA JUNIOR et al., 2013).

O desdobro primário de cada tora foi determinado de acordo com a acuidade visual do operador, onde cada uma foi analisada primeiramente para que, na sequência, se dê início ao processo de desdobro, seguindo o método de desdobro convencional, que é caracterizado por utilizar um sistema de corte tangencial em sanduíche, o qual consiste em “fatiar” a tora visando obter o maior número de peças (MURARA JUNIOR et al., 2013).

2.3. Rendimento volumétrico da madeira serrada

Para as estimativas de rendimento de madeira, em um primeiro momento, as toras tiveram seus volumes de seções obtidos pela metodologia de Smalian por meio da seguinte expressão (Equação 1):

$$V_i = [(g_1 + g_2)/2] \cdot L = \{[(\pi/4) \cdot (d_1^2 + d_2^2)]/2\} \cdot L \quad (1)$$

em que: V_i = volume da seção i (m^3); g_i = área transversal da base da seção (m^2); g_{i+1} = área transversal do topo da seção (m^2); d_1 , d_2 = diâmetro das seções (m); L = comprimento da seção (m).

Para o cálculo do volume em madeira serrada, todos os multiprodutos obtidos tiveram suas espessuras, larguras e comprimentos mensurados. As medidas de espessura, em cada extremidade, foram obtidas com auxílio de paquímetro digital. Da mesma forma, as medidas de largura, uma em cada extremidade do produto (e.g. caibro e vigotas), foram mensuradas com auxílio de trena. Desta maneira, foram obtidos ‘E’ (espessura média do produto) e ‘L’ (largura média do produto) (MANHIÇA et al., 2013a). O volume de cada produto foi determinado de acordo com Equação (2):

$$V_p = E \cdot L \cdot C \quad (2)$$

em que: V_p = Volume do produto (m^3); E = Espessura média (m); L = Largura média (m); C = Comprimento (3,00 m).

Após a determinação dos volumes dos multiprodutos de cada tora, os mesmos foram somados, obtendo-se o volume em madeira serrada para cada tora submetida ao processo de desdobro. Assim, o rendimento em madeira serrada para a espécie foi obtido conforme a Equação (3) (GARCIA et al., 2012):

$$R = \Sigma V_p / V_t \quad (3)$$

em que: R = Rendimento volumétrico absoluto em madeira serrada; ΣV_p = Soma dos volumes de todos os produtos obtidos no desdobramento da tora (m^3); V_t = volume da tora obtido na cubagem (m^3).

2.4. Estimativa de rendimento volumétrico

De posse dos valores de rendimento das espécies em estudo, os dados foram organizados e todas as relações dimensionais foram analisadas via matriz de correlação e diagrama de dispersão.

Foram testados 11 modelos estatísticos (PIOVESAN et al., 2013), todos são classificados como aritméticos, mudando apenas a estrutura em relação ao número de variáveis explicativas e a não linearidade (Tabela 1).

Tabela 1. Modelos testados para estimar o rendimento no processo de desdobro de toras de madeiras das espécies *Dinizia excelsa* e *Manilkara huberi*, em serraria no estado do Amapá.

Table 1. Models tested to estimate the yield in the process of unfolding logs of the species *Dinizia excelsa* and *Manilkara huberi*, in a sawmill in the state of Amapá.

Modelo	Formulação estatística
1	$R = \beta_0 \cdot D^{\beta_1} + \varepsilon$
2	$R = \beta_0 + \beta_1 D + \beta_2 D^2 + \varepsilon$
3	$R = \beta_0 + \beta_1 D + \beta_2 (D^2 \cdot L) + \varepsilon$
4	$R = \beta_0 + \beta_1 D + \beta_2 D^2 + \beta_3 (D^2 \cdot L) + \varepsilon$
5	$R = \beta_0 + \beta_1 D^2 + \beta_2 (D^2 \cdot L) + \varepsilon$
6	$R = \beta_0 + \beta_1 D + \beta_2 L + \varepsilon$
7	$R = \beta_0 \cdot D^{\beta_1} \cdot L^{\beta_2} + \varepsilon$
8	$R = \beta_0 + \beta_1 V + \varepsilon$
9	$R = \beta_0 + \beta_1 V + \beta_2 V^2 + \varepsilon$
10	$R = \beta_0 + \beta_1 V + \beta_2 V^2 + \beta_3 V^3 + \varepsilon$
11	$R = \beta_0 + \beta_1 V + \beta_2 V^2 + \beta_3 V^3 + \beta_4 V^4 + \varepsilon$

R: rendimento (m³/m³); D: diâmetro menor da tora (cm); L: comprimento da tora (m); V: volume total da tora (m³); B₀, B₁ e B₂: coeficientes da regressão e ε: erro aleatório.

Foi empregado o método dos mínimos quadrados ordinários para a estimativa dos parâmetros e a significância dos mesmos foram analisadas por meio do teste t, sendo rejeitados os coeficientes quando $p > 0,05$. Para avaliar a qualidade das equações ajustadas, foram utilizadas as seguintes estatísticas de precisão: maior valor de F da análise de variância (ANOVA) e do coeficiente de determinação ajustado (R²aj), e baixo valor do erro padrão da estimativa (Sxy). Concomitantemente ao ajuste dos modelos, foi realizada a análise gráfica de resíduos, para verificar a normalidade e ocorrência ou não de tendenciosidade nas estimativas da variável dependente.

A análise gráfica de resíduos permite detectar erros de tendência que não foram encontrados pelas estatísticas que medem a precisão (CAMPOS; LEITE, 2013). Conforme Martins et al. (2016), a avaliação residual consistiu na dispersão dos erros em relação aos valores observados. Toda a computação e análises foram realizadas com o auxílio do software R® (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2014).

3. RESULTADOS

3.1. Angelim-vermelho

Para os dados dendrométricos coletados foi observada maior dispersão para a variável diâmetro (18,9 cm), o que corrobora para o seu maior erro padrão da média encontrado (3,7 cm). As demais estatísticas descritivas indicam que 75% dos dados para todas as variáveis estão concentrados em valores próximos as suas respectivas médias, com destaque para as variáveis: rendimento, comprimento da tora e volume da tora. Isto evidencia uma distribuição mais homogênea quando comparados com o diâmetro da tora e também os baixos valores de dispersão (desvio padrão), conforme apresentado na Tabela 2.

Os coeficientes de correlação obtidos para a variável resposta rendimento foram ligeiramente superiores com as variáveis explicativas: produto do diâmetro ao quadrado com comprimento e volume nas potências 1, 2, 3 e 4. Desse modo, entende-se que estimativas precisas de rendimento podem ser obtidas a partir da modelagem destas variáveis. Por outro lado, não foi observado correlação significativa entre o comprimento da tora com todas as demais variáveis (Tabela 3).

Observa-se a existência de correlações significativas entre as variáveis explicativas indicando a possível presença de multicolinearidade. Segundo Scolforo (2005), a multicolinearidade ou intercorrelação ocorre em uma análise de regressão múltipla quando as observações amostrais das variáveis independentes, ou combinações lineares delas, são altamente correlacionadas. Frequentemente o primeiro termo é reservado para os casos em que a correlação entre as variáveis é muito alta ou mesmo perfeita. Quanto aos ajustes dos modelos, tem-se que os valores do teste F indicam que existe uma associação (relação probabilística) entre o rendimento e o conjunto específico de variáveis explicativas (AHRENS, 1983). A existência dessa relação, no entanto, não indica qualidade do ajuste para as estimativas e sim um pressuposto de significância e influência de uma variável no modelo. Os maiores valores de F foram reportados pelos modelos 10 e 11 (32,26 e 67,55, respectivamente), indicando que os volumes das toras são altamente significativos para estimativa de rendimento (Tabela 4).

Os valores de R²aj obtidos pelos modelos 10 e 11, sugerem que a variação total dos dados explicados por tais modelos são aceitáveis estatisticamente. A equação 11 demonstrou maior valor com pouco mais de 91% total da variância explicada. Já as equações obtidas pelos modelos 1, 6 e 7 apresentaram menores valores de R²aj, indicando que estimativas viesadas podem ser obtidas, pois menos de 40% da variação total dos dados é explicada por estas equações.

Quanto aos valores de erro padrão residual obtidos, nota-se que o modelo 11 apresentou o menor valor (0,0444). Esta medida sugere a utilização desta equação nas estimativas de rendimento, embora alguns modelos tenham explorado um intervalo de baixos valores de erro padrão, os valores de R²aj não corroboram para uma estimativa mais confiável, como observado nos modelos 2, 3, 4 e 9.

A normalidade dos resíduos foi analisada para as seis melhores equações ajustadas conforme Figura 1. É evidenciado no modelo 11 que a distribuição dos erros segue a curva normal, fator importante do ponto de vista estatístico do modelo e também da qualidade do ajuste observada. Pode-se verificar também que a maior densidade do erro encontra-se nas classes de menores valores, próximos a zero.

Tabela 2. Estatística descritiva das variáveis dendrométricas utilizadas na modelagem do rendimento de madeira da *Dinizia excelsa*.
Table 2. Descriptive statistics of the dendrometric variables used in modeling the yield of wood of *Dinizia excelsa*.

Estatística	Variáveis			
	Rendimento (m³/m³)	Diâmetro (cm)	Comprimento (m)	Volume (m³)
Mínimo	0,114	63,000	4,200	3,036
Máximo	0,538	140,000	6,400	16,330
1.Quartil	0,124	95,000	5,625	7,114
3.Quartil	0,230	123,750	6,200	10,805
Média	0,224	107,231	5,854	9,122
Mediana	0,163	105,000	6,100	8,969
Desvio Padrão	0,015	18,907	0,514	3,024
Erro padrão da média	0,030	3,708	0,101	0,593
Coefficiente de variação	6,812	17,62	8,71	33,11

Tabela 3. Matriz de correlação entre as variáveis analisadas para modelagem do rendimento de madeira serrada de *Dinizia excelsa*.
Table 3. Correlation matrix between the variables analyzed for modeling the yield of sawn wood of *Dinizia excelsa*.

Variáveis	Rend.	D	C	D²	D².C	V	V²	V³	V⁴
Rend.	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-
D	0,60	1,00	-	-	-	-	-	-	-
C	0,26	0,02	1,00	-	-	-	-	-	-
D²	0,65	0,99	0,04	1,00	-	-	-	-	-
D².C	0,72	0,95	0,25	0,95	1,00	-	-	-	-
V	0,70	0,92	0,28	0,92	0,98	1,00	-	-	-
V²	0,77	0,87	0,28	0,89	0,96	0,98	1,00	-	-
V³	0,78	0,80	0,27	0,84	0,91	0,93	0,98	1,00	-
V⁴	0,75	0,73	0,26	0,77	0,84	0,86	0,95	0,99	1,00

Legenda: Rend. – rendimento (m³/m³); D – menor diâmetro (cm); C – comprimento da tora (m); V – volume de tora (m³).

Tabela 4: Indicadores de ajuste para o rendimento no desdobramento de madeiras da espécie *Dinizia excelsa* em serrarias no Amapá.
Table 4. Adjustment indicators for the yield in the unfolding of wood of the specie *Dinizia excelsa* in sawmills in Amapá.

Modelo	F	R²aj	Sxy (m³/m³)	β₀	β₁	β₂	β₃	β₄
1	7,6910*	0,2111	0,4917	-8,4532*	1,4574*	-	-	-
2	17,6700*	0,5714	0,0992	1,5830*	-3,2070*	1,7570*	-	-
3	18,2300	0,5795	0,0982	3,3650 ^{ns}	-7,7570*	0,0104*	-	-
4	22,9800	0,7251	0,0794	1,6850*	-34,2700*	0,1385*	0,0083*	-
5	13,8000	0,5059	0,1065	-7,6520 ^{ns}	-0,0187 ^{ns}	0,0075*	-	-
6	8,6280	0,3790	0,1194	-0,7592*	0,0048*	0,0797 ^{ns}	-	-
7	5,5070	0,2650	0,4746	-11,4180*	1,4755*	1,6340 ^{ns}	-	-
8	22,8000*	0,4659	0,1107	-0,0945 ^{ns}	0,0350*	-	-	-
9	21,9500*	0,6263	0,0926	0,3023*	-0,0590 ^{ns}	0,0050*	-	-
10	32,2600*	0,7895	0,0695	1,0517*	-0,3547*	0,0392*	-0,0012*	-
11	67,5500*	0,9141	0,0444	-6,6100 ^{ns}	6,0380*	-1,3760*	1,1960*	-0,3393*

F: Fator de significância. *Significativo a 5% de probabilidade (p < 0,05), ^{ns} não significativo (p >= 0,05). (*) coeficiente significativo a 5% de probabilidade pelo teste t; ^{ns}: coeficiente não significativo pelo mesmo teste.

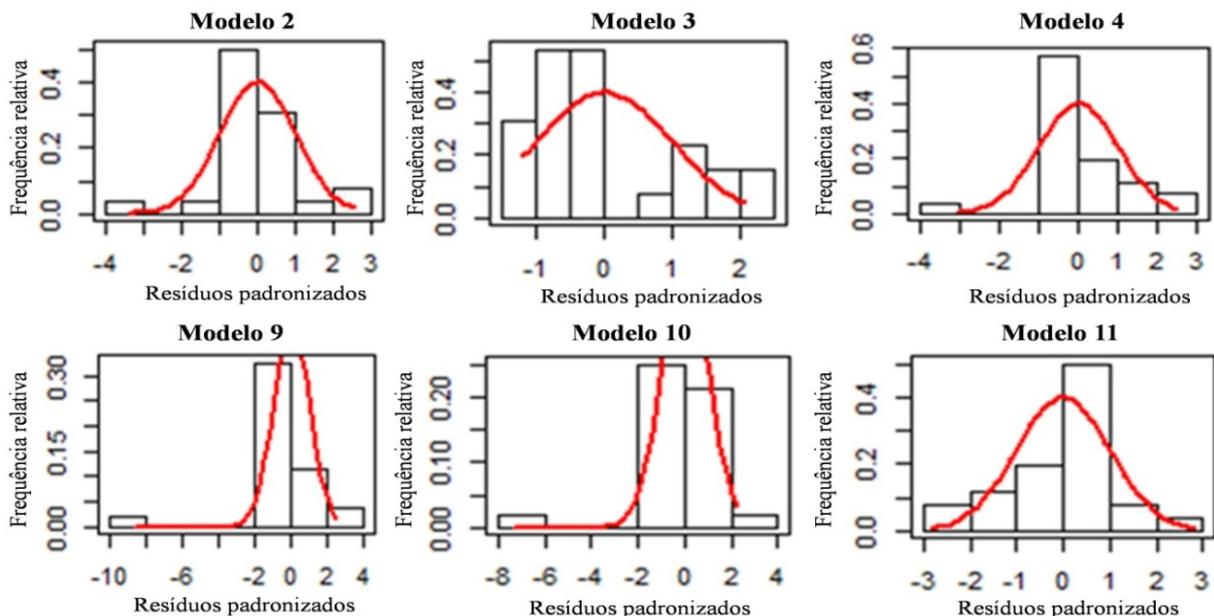


Figura 1. Distribuição padronizada do erro percentual das equações ajustadas para estimativa de rendimento da espécie *D. excelsa*.
Figure 1. Standardized distribution of the percentage error of the adjusted equations to estimate the yield of the *D. excelsa* specie.

3.2. Maçaranduba

De forma análoga, o que ocorreu com a espécie *D. excelsa* os dados de *Manilkara huberi* seguiram a mesma tendência de comportamento, ou seja, a variável diâmetro apresentou baixa variação dos dados evidenciada pelo valor do coeficiente de variação $C.V = 12\%$. Por outro lado, observou-se que a obtenção dos dados da variável de interesse (rendimento) foi realizada de forma precisa, em razão de ter demonstrado baixa estatística de dispersão (Tabela 5).

Os coeficientes de correlação obtidos para a variável resposta rendimento foram superiores com as variáveis explicativas: produto do diâmetro ao quadrado com comprimento e volume nas potências 1, 2, 3 e 4. Desse modo, entende-se que estimativas precisas de rendimento podem ser obtidas a partir da modelagem destas variáveis, em razão de

revelarem a maior grau de associação fortemente positiva com a variável dependente (Tabela 6). É observado que não houve correlação significativa entre o comprimento da tora com todas as demais variáveis, comportamento este evidenciado também para a espécie *D. excelsa*.

Com base no resultado das estatísticas de precisão (Tabela 7), pode se observar que as equações 8, 9 e 10 demonstraram melhores ajustes em comparação as demais, em razão de terem obtidos valores satisfatórios de F, R^2_{aj} e S_{xy} . Em contrapartida, a equação 11 também revelou ótimos valores de coeficiente de determinação e erro padrão da estimativa, no entanto, apresentou coeficientes não significativos, a qual significa que a mesma não é recomendável para estimar a variável de interesse, visto o indicio de multicolinearidade. Assim, esta equação pode ser descartada para estimativa de rendimento.

Tabela 5. Estatística descritiva para as variáveis dendrométricas utilizadas na modelagem do rendimento de madeira serrada da espécie *Manilkara huberi*.

Table 5. Descriptive statistics for the dendrometric variables used in modeling of the yield of sawn wood of *Manilkara huberi* specie.

Estatística	Variáveis			
	Rendimento (m³/m³)	Diâmetro (cm)	Comprimento (m)	Volume (m³)
Mínimo	0,004163	42,00	4,20	1,8
Máximo	0,414505	75,00	8,70	4,36
1.Quartil	0,012807	53,00	5,55	2,11
3.Quartil	0,243073	64,50	7,85	3,43
Média	0,115842	58,04	6,58	2,81
Mediana	0,029073	59,00	6,20	2,71
Desvio Padrão	0,013974	9,07	1,43	0,82
Erro padrão da média	0,029138	1,89	0,29	0,17
Coeficiente de variação	12,0639	15,64	21,73	29,18

616

Tabela 6. Matriz de correlação entre as variáveis analisadas para modelagem do rendimento de madeira da *Manilkara huberi*.

Table 6. Correlation matrix of the variables analyzed for modeling modeling the yield of wood of *Manilkara huberi*.

Variáveis	Rend.	D	C	D²	D².C	V	V²	V³	V⁴
Rend.	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-
D	0,53	1,00	-	-	-	-	-	-	-
C	0,19	0,53	1,00	-	-	-	-	-	-
D²	0,52	0,80	0,62	1,00	-	-	-	-	-
D².C	0,77	0,54	0,07	0,82	1,00	-	-	-	-
V	0,94	0,60	0,17	0,59	0,84	1,00	-	-	-
V²	0,96	0,57	0,19	0,57	0,83	0,99	1,00	-	-
V³	0,97	0,54	0,20	0,54	0,81	0,98	0,99	1,00	-
V⁴	0,97	0,49	0,22	0,50	0,78	0,95	0,98	0,99	1,00

Legenda: Rend. – rendimento (m³/m³); D – menor diâmetro (cm); C – comprimento da tora (m); V – volume de tora (m³).

Tabela 7. Indicadores de ajuste para o rendimento no desdobramento de madeiras da espécie *M. huberi* em serrarias no Amapá.

Table 7. Adjustment indicators for the yield in the unfolding of wood of the species *M. huberi* in sawmills in Amapá.

Modelo	F	R²aj	Sxy (m³/m³)	β₀	β₁	β₂	β₃	β₄
1	11,84*	0,33	1,2960	-27,2130*	5,9400*	-	-	-
2	4,41 ^{ns}	0,24	0,1221	-2,5500 ^{ns}	4,6200 ^{ns}	3,11E-02 ^{ns}	-	-
3	15,87	0,57	0,0911	-2,9600*	2,3100 ^{ns}	1,35E-02*	-	-
4	22,62*	0,75	0,0703	-6,1600*	1,0401*	-1,15E-01*	2,45002*	-
5	17,19*	0,60	0,0889	-1,8400*	-3,5302 ^{ns}	2,02E-02*	-	-
6	14,30*	0,55	0,0940	-1,093214*	0,01353*	0,064656*	-	-
7	29,74*	0,72	0,8328	-52,24220*	9,75590*	5,14910*	-	-
8	158,30*	0,88	0,0490	-0,33592*	0,16105*	-	-	-
9	168,00*	0,94	0,0347	0,20018 ^{ns}	-0,22953*	0,06579*	-	-
10	128,60*	0,95	0,0326	1,11423*	-1,21120*	0,40166*	-0,0368 ^{ns}	-
11	100,20*	0,95	0,0320	-1,51514 ^{ns}	2,57105 ^{ns}	-1,57552 ^{ns}	0,40868 ^{ns}	-0,03657 ^{ns}

F: Fator de significância. *Significativo a 5% de probabilidade ($p < 0,05$), ^{ns} não significativo ($p \geq 0,05$). (*) coeficiente significativo a 5% de probabilidade pelo teste t; ^{ns}: coeficiente não significativo pelo mesmo teste.

Este resultado corrobora com Dannielli et al. (2016), em que os autores encontram o mesmo problema de multicolinearidade em equações não lineares resultantes de modelos que considerando como variável explicativa o volume da tora para a estimativa do rendimento para a espécie *M. huberi* em serraria do estado de Roraima. Convém reportar, que se for considerado em termo médio percentual os valores de rendimento obtidos para *M. huberi* neste estudo ($R = 11,58\%$), pode-se afirmar que este resultado é inferior ao comparado pelo estudo acima mencionado ($R = 29,23\%$). No entanto, esse contraste entre os estudos pode ser atribuído provavelmente às qualidades das toras processadas e das condições da máquina de desdobro principal, bem como pelo próprio procedimento operacional do corte da madeira que varia de serraria para serraria. Como não foi realizada análise em termos da qualidade da madeira, é sugerido a realização de estudos adicionais para confirmação de tal hipótese.

4. DISCUSSÃO

4.1. Angelim-vermelho

Enfatiza-se que alguns dos valores obtidos para os parâmetros dos modelos ajustados para *D. excelsa* foram não significativos ao teste t de Student ($p = 0,05$), indicando que as variáveis independentes não contribuem de forma significativa na estimativa do rendimento (SCOLFORO, 2005; SCHNEIDER et al., 2009). Resultados similares foram encontrados no trabalho de Valério et al. (2009) e Piovesan et al. (2013), na qual os autores ajustaram diversos modelos estatísticos, dentre esses o modelo 11 da atual pesquisa, é constatar o ótimo desempenho deste modelo em estimar a variável de interesse.

O gráfico de normalidade dos resíduos é uma ferramenta muito útil para checar adequação de distribuição de frequência dos dados a uma distribuição de probabilidades. Diante disto, pode-se inferir que as estatísticas utilizadas para avaliação das equações foram consistentes, demonstrando que o rendimento de madeira serra de angelim-vermelho pode ser perfeitamente estimado por meio da equação 11, que considera como variável independente o volume total da tora com valores de expoentes consecutivos até a quarta potência.

O gráfico de normalidade dos resíduos é uma ferramenta muito útil para checar adequação de distribuição de frequência dos dados a uma distribuição de probabilidades. Diante disto, pode-se inferir que as estatísticas utilizadas para avaliação das equações foram consistentes, demonstrando que o rendimento de madeira serra de angelim-vermelho pode ser perfeitamente estimado por meio da equação 11, que considera como variável independente o volume total da tora com valores de expoentes consecutivos até a quarta potência.

Com base nos resultados, pode-se inferir que para estimar o rendimento de peças de madeira serrada da espécie em questão de forma satisfatória, basta determinar o volume total da tora, o que representa uma facilidade do ponto de vista operacional diminuindo custo.

4.2. Maçaranduba

Tendo em vista os baixos valores de rendimento apresentado para a espécie *Manilkara huberi*, se vê a necessidade de realizar os desdobros das madeiras considerando diferentes classes de diâmetro, bem como a inclusão de diagrama de corte, como sugerem Melo et al. (2016), demonstrando, assim, que a seleção de toras segundo

seu diâmetro e a posterior aplicação de uma estrutura de corte definida em função de determinadas bitolas é condição necessária para a maximização do lucro em uma serraria.

De acordo com Melo et al. (2016) a transformação de toras em tábuas, pranchas, vigas ou outras peças de madeira implica em diferentes quantidades de perdas. Nessa perspectiva, é fundamental que as serrarias levem em consideração os fatores que diminuem o rendimento do desdobro, principalmente relacionados à qualidade da madeira. Logo, é necessário pensar em um processo de produção que considere também os subprodutos do desdobro do xilema secundário, como os resíduos e as costaneiras, por exemplo, ou seja, usar estes subprodutos de forma a gerar valor agregado e como resultado contribuir para a lucratividade da empresa.

Foi observado que as equações (8, 9, e 10) apresentaram os maiores valores do coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}) (Tabela 7). Estes altos valores sugerem que a variação total dos dados explicados por tais equações são aceitáveis estatisticamente, isto é, mais de 80% variação do rendimento é explicada pela relação das variáveis independentes. Quanto aos valores de erro padrão residual obtidos, verificou-se que as equações com maiores R^2_{aj} apresentaram os menores valores de erro residuais (Tabela 7). Estas medidas indicam que essas equações podem ser utilizadas nas estimativas de rendimento, sendo a mais recomendável a equação 10 por gerar estimativas mais confiáveis, em função de apresentar o menor erro padrão da estimativa.

É evidenciado pela análise gráfica dos resíduos que as melhores equações selecionadas apresentaram um comportamento com tendência a uma normalidade dos resíduos (Figura 4), indicando que as mesmas são seguramente recomendadas para estimar com acuracidade o rendimento de madeira serra de Maçaranduba.

A equação 10 pela dispersão dos resíduos se destacou em comparação as demais. Este resultado aponta que o volume da tora com crescentes expoentes como variável explicativa na equação, tem maior probabilidade de predizer de forma acurada o rendimento do desdobro de madeira para ambas as espécies estudadas, podendo as serrarias do estado do Amapá adotar de forma segura tal variável em função de ser facilmente coletada.

5. CONCLUSÕES

Este estudo demonstrou que a equação 11 ($R = -6,6100+6,0380V-1,3760*V^2+1,1960*V^3-0,3393*V^4$) é a mais indica para estimar o rendimento de madeira serrada para angelim - vermelho. A equação 10 ($R = 1,11423-1,21120*V+0,40166*V^2-0,0368*V^3$) apresentou os melhores valores das estatísticas de precisão, e distribuição dos resíduos de forma mais consistente, portanto, é a mais recomendada para estimar o rendimento de madeira serrada de maçaranduba.

6. AGRADECIMENTOS

A Universidade do Estado do Amapá – (UEAP) pelo financiamento da pesquisa por meio da concessão de bolsa de Iniciação Científica ao quarto e quinto autores e ao Laboratório de Manejo e Biometria Florestal da UEAP, por possibilitar a realização deste trabalho.

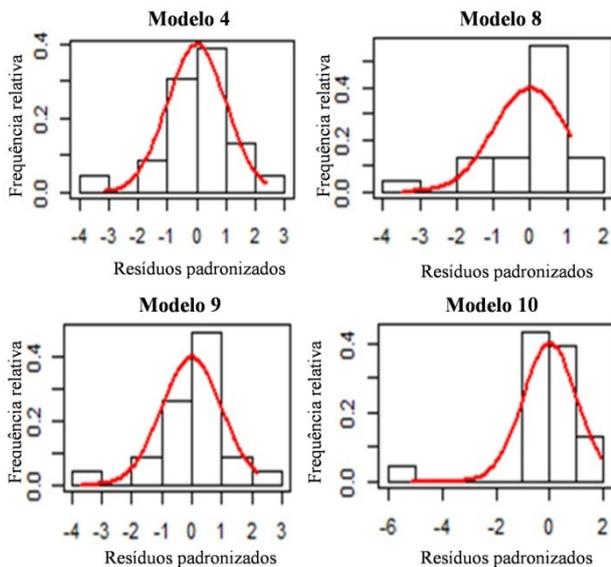


Figura 2. Distribuição padronizada do erro percentual das equações ajustadas para estimativa de rendimento de madeira serrada da espécie *M. huberi*.

Figure 2. Standardized distribution of the percentage error of the adjusted equations to estimate the yield of wood of the *M. huberi* specie.

7. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A. N.; SILVA, J. C. G. L.; ANGELO, H.; NUÑEZ, B. E. C. Análise dos fatores que influenciam o preço da madeira em tora para o processamento mecânico no Paraná. *Cerne*, Lavras, v. 16, n. 2, p. 243-250. 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-77602010000200017>.
- AHRENS, S. Importância da distribuição de resíduos de regressão na seleção de equações de volume. *Silvicultura*, v. 8, n. 28, p. 609-614, 1983.
- BIASI, C.; ROCHA, M. Rendimento em madeira serrada e quantificações de resíduos para três espécies. *Floresta*, Curitiba, v. 37, n. 1, p. 95-108, 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v37i1.7845>.
- DANIELLI, F. E.; GIMENEZ, B. O.; OLIVEIRA, C. K. A.; SANTOS, J.; HIGUCHI, N. Modelagem do rendimento no desdobro de toras de *Manilkara* spp. (Sapotaceae) em serraria do estado de Roraima, Brasil. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 44, n. 111, p. 641-651, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.18671/scifor.v44n111.10>.
- GARCIA, F. M.; MANFIO, D. R.; SANSÍGOLO, C. A.; MAGALHÃES, P. A. D. Rendimento no desdobro de toras de Itaúba (*Mezilaurus itauba*) e Tauari (*Couratari guianensis*) segundo a classificação da qualidade da tora. *Floresta e Ambiente*, Seropédica, v. 19, n. 4, p. 468-474, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.4322/loram.2012.059>.
- HUMMEL, A. C.; ALVES, M. V. S.; PEREIRA, D. S.; VERISSÍMO, A.; SANTOS, D. *A atividade madeireira na Amazônia brasileira*: produção, receita e mercados. Belém, PA: Serviço Florestal Brasileiro (SBF); Instituto do Homem e Meio Ambiente (Imazon), 2010. 28p.
- MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. *Dendrometria*. 1. ed. Curitiba: os autores, 2003. 309p.
- MANHIÇA, A. A.; ROCHA, M. P.; TIMOFEICZYK JUNIOR, R. Custos no desdobro de *pinus* spp. com utilização de modelos de corte numa serraria. *Floresta e Ambiente*, Seropédica, v. 20, n. 3, p. 327-335, 2013a. DOI: <http://dx.doi.org/10.4322/loram.2013.009>.
- MANHIÇA, A. A.; ROCHA, M. P.; TIMOFEICZYK JUNIOR, R. Eficiência operacional no desdobro de *Pinus* utilizando modelos de corte numa serraria de pequeno porte. *Cerne*, Lavras, v. 19, n. 2, p. 339-346. 2013b. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-77602013000200019>.
- MARCHESAN, R. *Rendimento e qualidade de madeira serrada de três espécies tropicais*. 2012. 92 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- MELO, R. R.; ROCHA, M. J.; RODOLFO-JÚNIOR, F.; STANGERLIN, D. M. Análise da influência do diâmetro no rendimento em madeira serrada de cambará. *Pesquisa Florestal Brasileira*, Colombo, v. 36, n. 88, p. 393-398, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.4336/2016.pfb.36.88.1151>.
- MURARA JUNIOR, M. I.; ROCHA, M. P.; TRUGILHO, P. F. Estimativa do Rendimento em madeira serrada de *Pinus* para duas metodologias de desdobro. *Floresta e Ambiente*, Seropédica, v. 20, n. 4, p. 556-563, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.4322/loram.2013.037>.
- ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE LAS MADERAS TROPICALES – OIMT. *Reseña anual y evaluación de lasituación mundial de las maderas*. Yokohama, Japón. 2012. 209p.
- PIOVESAN, P. R. R.; REIS, A. R. S.; SOUZA, D. V. Rendimento na produção de madeira serrada de Ipê (*Handroanthus* sp.). *Enciclopédia Biosfera*, Goiânia, v. 9, n. 17, p. 2315-2329, 2013.
- R CORE TEAM. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, 2014. Disponível em: <http://www.R-project.org/> 15 Mai. 2014.
- REZENDE, J. L. P.; VITAL, B. R.; TAVARES, M. F. R.; PAULA, G. G. Análise técnica e econômica do desdobro de toras de *Pinus*. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 16, n. 2, p. 181-93, 1992.
- SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P.; SOUZA, C. A. M. *Análise de Regressão aplicada à Engenharia Florestal*. 2. Ed- Santa Maria: FACOS, 2009. 294p.
- 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. 354 p.
- VALÉRIO, A. F.; WATZLAWICK, L. F.; BALBINOT, R.; CALDEIRA, M. V. W.; FIGUEIREDO FILHO, A. Modelagem para a estimativa do rendimento no desdobro de toras de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. *Floresta*, Curitiba, v. 39, n. 3, p. 619-628, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v39i3.15361>.