



## RENDIMENTO NA PRODUÇÃO DE MADEIRA SERRADA DE IPÊ (*Handroanthus sp*)

Paulo Ricardo Rodrigues Piovesan<sup>1</sup>, Alisson Rodrigo Souza Reis<sup>2</sup>, Deivison Venicio Souza<sup>3</sup>

1. Graduando em Engenharia Florestal na Universidade Federal do Pará/Campus Universitário de Altamira (paulo.piovesan@altamira.ufpa.br; p.piovesan@hotmail.com)
2. Professor Doutor da Faculdade de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Pará/Campus Universitário de Altamira
3. Professor Mestre da Faculdade de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Pará/Campus Universitário de Altamira

Recebido em: 30/09/2013 – Aprovado em: 08/11/2013 – Publicado em: 01/12/2013

### RESUMO

O objetivo do trabalho foi avaliar o rendimento em madeira serrada comercializada como ipê no município de Uruará, Pará, em diferentes classes diamétricas e para diferentes tipos de produtos. Foram acompanhados o desdobro de 15 toras divididas em 3 classes diamétricas (Classe I: 43,5 – 53,0 cm; Classe II: 53,1 a 62,5 cm; Classe III: 62,6 – 85,0 cm) selecionadas ao acaso. Foram calculados o volume bruto da tora e o rendimento volumétrico total da madeira serrada e de cada produto gerado. Foram testados 10 modelos matemáticos para estimativa do rendimento, tendo como variáveis independentes o diâmetro e o volume. Todas as relações dimensionais foram analisadas via matriz de correlação. A escolha do melhor modelo baseou-se no maior coeficiente de determinação ajustado, menor erro padrão e da estimativa, maior valor de F da análise de variância, menor coeficiente de variação e distribuição não tendenciosa dos resíduos. Ao final do processo, foi obtido rendimento em madeira serrada de 49,1%, não diferindo estatisticamente entre as classes diamétricas segundo o Teste F de Snedecor e Teste de Tukey ( $\alpha=0,05$ ). Para os produtos gerados, o melhor rendimento foi o *decking*, seguido pelo assoalho e peças de aproveitamento (taco e S4S). Estatisticamente não houve diferença entre as classes diamétricas estudadas para estes produtos, exceto para as peças de aproveitamento, o qual obteve-se melhor rendimento nas classes I e II. Dentre os modelos testados, o melhor resultado foi obtido pela equação  $R = -366,1362 + 1.216,9306v - 1.635,192v^2 + 1.137,5822v^3 - 431,3658v^4 + 84,4239v^5 - 6,6601v^6$ , com precisão ( $R^2A_j$ ) de 97,49% a um erro padrão ( $S_{xy}$ ) de 0,0696.

**PALAVRAS-CHAVE:** Beneficiamento de madeira, desdobro de toras, madeiras amazônicas, modelagem matemática, volume

### YIELD IN THE PRODUCTION OF LUMBER OF IPE (*Handroanthus sp*)

#### ABSTRACT

The objective of this study was evaluate the yield lumber of Ipe marketed the municipality of Uruará, Pará State, Brazil in different diameter classes. Were

accompanied the cut of 15 logs divided into three diameter classes (Class I: 43.5 – 53.0 cm; Class II: 53.1 a 62.5 cm; Class III: 62.6 – 85.0 cm) randomly selected and subsequently calculated the geometric volume and the total volumetric yield of lumber and for each product produced. Ten models were tested to estimate income and as independent variable the diameter and the volume. All the dimensional relations were analyzed through correlation matrix. The choice of the best model was based on the highest of adjusted coefficient determination, smallest residual standard error, higher F value of ANOVA, lower coefficient of variation and most uniform behavior and homogeneous of residuals values. Was obtained an average yield of 49.1%, not different statistically for diameter classes according to the F Test Snedecor and Tukey test ( $\alpha=0.05$ ). For products generated, the best performance was the decking, followed by floor and parts utilization (taco and S4S). There were no statistical difference between diameter classes studied for these products, except for parts utilization, which we obtained better performance in classes I and II. Among the tested models, the best result was obtained by the equation  $R = -366.1362 + 1216.9306v - 1635.192v^2 + 1137.5822v^3 - 431.3658v^4 + 84.4239v^5 - 6.6601v^6$ , with accurately ( $R^2_{aj.}$ ) 97.49% and standard error ( $S_{yx}$ ) = 0.0696.

**KEYWORDS:** Wood processing, sawing logs, timber Amazon, mathematical modeling, measure

## INTRODUÇÃO

A região amazônica destaca-se por ser uma das principais produtoras de madeira no mundo, sendo uma das suas principais atividades econômicas, junto com a agropecuária e mineração. Em 2009, as empresas madeireiras extraíram em torno de 14,2 milhões de metros cúbicos de madeira em tora nativa, o equivalente a 3,5 milhões de árvores. Neste ano, a madeira serrada representou cerca de 72% do total de madeira processada mecanicamente. Desse total, aproximadamente 47% dessa matéria-prima foi extraída no estado do Pará (SFB; IMAZON, 2010).

Historicamente, no estado do Pará, os polos madeireiros se concentraram no leste do estado. Entretanto, impulsionado pela expansão da pecuária e agricultura, os polos madeireiros se concentraram no oeste do estado, com cinco grandes polos: Santarém, Itaituba, Novo Progresso, Altamira e Uruará (PAIVA, 2009).

O polo madeireiro de Uruará abrange os municípios de Uruará e Placas e compreende 25 serrarias, que realizam extração anual de 125 mil metros cúbicos de madeira em tora, produzindo cerca de 52 mil metros cúbicos de madeira serrada, gera 2.843 empregos diretos e indiretos, produzindo uma receita de US\$ 21,4 milhões, constituindo assim um dos principais polos madeireiros da região oeste do estado (SFB; IMAZON, 2010; PEREIRA et al., 2010).

Dentre as espécies utilizadas no município, destaca-se o ipê sendo utilizada na construção civil em geral, marcenaria, tábuas de assoalho, *decking*, postes, pilares, estruturas externas, pontes (LORENZI, 2008; PIOVESAN et al., 2011).

Contudo, no setor florestal, a possibilidade de quantificação do rendimento da matéria-prima, com rapidez e confiabilidade, possibilita decisões sobre o desempenho industrial e o seu uso correto, permite a redução de gastos e evita perdas no processo produtivo. Com isso, a estimativa do rendimento de madeira serrada gera informações importantes para a composição de modelos e a formação de sistemas para conhecer produção futura de uma floresta em termos de volume de

produto final. Portanto, proporciona estabelecer estratégias mais ousadas e seguras, com vistas aos mercados de tais produtos (VALÉRIO et al., 2009).

O rendimento volumétrico, também chamado de coeficiente de serragem, coeficiente de transformação ou ainda fator de rendimento, é a relação entre o volume produzido de madeira serrada e o volume de tora, expresso em porcentagem. Ocorre, entretanto, uma série de fatores que interferem no volume obtido de madeira serrada, que influenciam no rendimento volumétrico (BIASI, 2005).

Vários trabalhos fazem referência ao rendimento da madeira serrada, entretanto, apresentam diferentes metodologias que variam conforme o tipo de produto gerado, o maquinário utilizado e a metodologia de avaliação, como mostrado por SUDAM (1981), GERWING et al. (2001), OLIVEIRA et al. (2009), MARCHERSAN (2012) entre outros autores.

O uso de equações matemáticas, aliado aos índices de rendimento, obtidos a partir de variáveis dendrométricas, pode-se quantificar a transformação de madeira em tora em produtos e subprodutos, contribuindo com o consumo e aproveitamento, além de permitir ao produtor maior confiabilidade e planejamento de uso, resultando em uma menor pressão florestal e no uso racional da matéria prima.

Logo, o objetivo do trabalho foi avaliar o rendimento de madeira serrada de Ipê, processada mecanicamente em uma indústria no município de Uruará-PA. Para tal, será avaliado o rendimento em madeira serrada da espécie para três classes diamétricas, o rendimento em madeira serrada para diferentes produtos gerados (*decking*, assoalho e aproveitamento - taco e S4S) e serão testados modelos matemáticos de prognose do rendimento no processo de desdobro.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em uma serraria localizada no município de Uruará, oeste do Estado do Pará. A madeira utilizada foi proveniente de Área de Manejo Florestal (AMF) devidamente licenciada pela Secretaria de Estado de Meio Ambiente (SEMA).

No pátio da serraria foram selecionadas 15 toras de ipê de forma aleatória. Antes do desdobro todas as toras tiveram seus diâmetros medidos nas duas extremidades para obtenção do diâmetro médio. Foram selecionadas toras que apresentaram comprimento de 6,20 metros, de forma que o comprimento das mesmas não influenciasse nos valores de rendimento dentro das classes diamétricas. Foram consideradas 3 classes diamétricas: Classe I – 43,5 a 53,0 cm; Classe II – 53,1 a 62,5 cm; Classe III – 62,6 a 85 cm.

### Obtenção do volume das toras

Os volumes das toras foram obtidos por meio de duas medidas de diâmetros com casca em cada extremidade. Através da média aritmética dos diâmetros foi obtido o diâmetro médio ( $D_m$ ). Após obter o  $D_m$ , foram calculadas as áreas seccionais das extremidades de cada tora. O volume de cada tora foi obtido através da Fórmula de Smalian, apresentada por MACHADO e FIGUEIREDO FILHO (2009).

### Desdobro das toras

As toras de ipê, inicialmente foram desdobradas em serra serra-fita semi-automática, onde foram realizados cortes tangenciais aos anéis de crescimento retirando inicialmente as costaneiras e as primeiras pranchas, formando, em seguida, um semi-bloco, que sofreu desdobros sucessivos originando pranchas e pranchões. Posteriormente, as pranchas e pranchões passaram pela serra circular multilâmina de 4 lâminas, formando tábuas. As tábuas em seguida foram enviadas para dois destinos: as de melhor qualidade seguiam para destopadeira, sendo que o processo de destopo era realizado em peças que apresentavam rachaduras, apodrecimentos e padronização do comprimento comercial, dando origem a *deckings* (exportação) e assoalhos (mercado nacional) e, as tábuas danificadas e madeiras com “branca” (alburno) para aproveitamento, originando tacos e S4S (aplainados dos 4 lados), conforme demonstrado na Figura 1.

O *decking* consiste em um tipo de piso com utilização em ambiente externo, geralmente composto por peças dispostas paralelamente, recomendado para jardins e entorno de piscina. Sua produção constitui-se apenas de madeira nobre, porque exige elevado padrão de qualidade, destinado principalmente ao comércio externo. As bitolas (espessura x largura) produzidas foram de 2,6cm x 10,0cm, 2,6cm x 16cm, 3,1cm x 10,0cm e 3,1cm x 16,0cm com o comprimento variando de 1 a 6 metros.

O assoalho consistiu-se em peças produzidas seguindo espessura padrão (2,6cm) e larguras variáveis (12,0cm, 15,0cm, 17,0cm), com comprimentos variando de 2 a 6 metros, em virtude da qualidade da madeira.

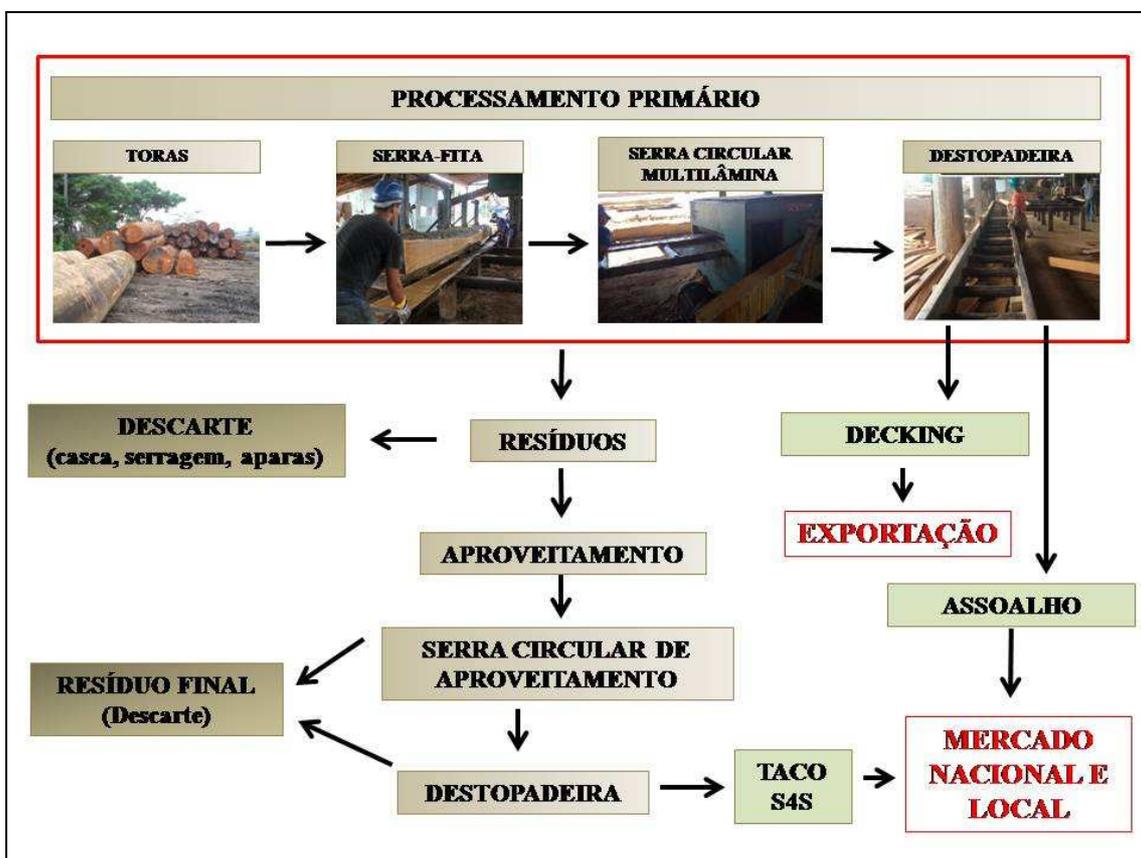


FIGURA 1 – Fluxograma do desdobramento da madeira.

## Rendimento volumétrico da madeira serrada

O rendimento volumétrico da madeira serrada de ipê foi obtido através da relação percentual entre o volume de madeira e o volume de toras, conforme apresentado por BIASI (2005). Para o cálculo do volume de madeira serrada mensurou-se o comprimento, largura e espessura de todas as peças de *decking*, assoalho e peças de aproveitamento obtidas do desdobro de cada tora. Através do somatório do volume de cada peça produzida pelo volume de tora, obteve-se o volume de madeira serrada para cada tipo de produto obtido após o desdobro.

## Análise estatística

Para a avaliação do rendimento da madeira serrada de ipê em função das classes diamétricas, foi realizada a Análise de Variância (ANOVA), seguida do pós-teste de comparação de médias de pelo teste de Tukey, ao nível de probabilidade de 95%. As hipóteses fixadas para a estatística de Tukey foram: Hipótese de nulidade ( $H_0$ ): os rendimentos de madeira serrada ( $m^3$ ) nas diferentes classes diamétricas são estatisticamente iguais entre si; Hipótese Alternativa ( $H_A$ ): os rendimentos de madeira serrada ( $m^3$ ) na diferentes classes diamétricas são estatisticamente diferentes entre si.

As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio de planilhas do *software* Excel.

## Modelagem para estimativa de rendimento

Os dados foram organizados e todas as relações dimensionais foram analisadas via matriz de correlação. Por meio de análise de regressão se utilizou o método dos mínimos quadrados, testou-se 10 modelos lineares (Tabela 1). O teste t foi utilizado, para testar a significância dos coeficientes dos modelos, sendo rejeitados os coeficientes quando  $p > 0,05$ .

**TABELA 1** – Modelos testados para estimar o rendimento no processo de desdobro de toras de ipê

	Modelo matemático
1*	$R = b_0 + b_1 d + b_2 d^2$
2*	$R = b_0 + b_1 d + b_2 (d_2 \ell)$
3*	$R = b_0 + b v$
4*	$R = b_0 + b_1 v + b_2 v^2$
5*	$R = b_0 + b_1 v + b_2 v^2 + b_3 v^3$
6*	$R = b_0 + b_1 v + b_2 v^2 + b_3 v^3 + b_4 v^4$
7	$R = b_0 + b_1 v + b_2 v^2 + b_3 v^3 + b_4 v^4 + b_5 v^5$
8	$R = b_0 + b_1 v + b_2 v^2 + b_3 v^3 + b_4 v^4 + b_5 v^5 + b_6 v^6$
9	$R = b_0 + b_1 v + b_2 v^2 + b_3 v^3 + b_4 v^4 + b_5 v^5 + b_6 v^6 + b_7 v^7$
10	$R = b_0 + b_1 v + b_2 v^2 + b_3 v^3 + b_4 v^4 + b_5 v^5 + b_6 v^6 + b_7 v^7 + b_8 v^8$

\* VALÉRIO et al. (2009). R=rendimento ( $m^3$ ); d=diâmetro menor da tora (cm);  $\ell$ =comprimento da tora (m); v=volume total da tora ( $m^3$ );  $b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7, b_8$ =coeficientes de regressão.

A seleção do modelo de regressão mais adequado foi baseada nas seguintes estatísticas: coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{Aj}$ ), erro padrão da estimativa ( $S_{yx}$ ), coeficiente de variação (CV%), valor F da análise de variância, e análise gráfica dos resíduos.

O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) expressa a quantidade de variação da variável dependente que é explicada pelas variáveis independentes. Como este coeficiente cresce na medida em que se inclui uma nova variável ao modelo matemático, foram utilizados os valores de  $R^2$  ajustados. Devido a esse ajuste, são comparáveis entre si, em todos os modelos, qualquer que seja o número de variáveis independentes. Desta forma, quanto mais próximo de 1 for o valor do  $R^2_{Aj}$ , melhor terá sido o ajuste (MACHADO et al., 2002; THOMAS et al., 2006).

O erro padrão da estimativa ( $S_{yx}$ ) é uma estatística que mede a dispersão média entre os valores observados e estimados ao longo da linha de regressão, conforme apresentam THOMAS et al. (2006). Dessa forma, quanto mais próximo de zero for o valor do  $S_{yx}$ , melhor terá sido o ajuste.

O coeficiente de variação foi utilizado para detectar a existência de regressão.

O valor de F calculado na análise da variância também foi utilizado como um dos parâmetros estatísticos, sendo que, por este critério, quanto maior o valor de F, melhor o ajuste da equação.

Concomitantemente ao ajuste dos modelos de rendimento, foi realizada a análise gráfica de resíduos em porcentagem, para verificar a ocorrência ou não de tendenciosidade nas estimativas da variável dependente rendimento.

As avaliações estatísticas e os gráficos foram gerados através do *software* estatístico Minitab 14.0.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Rendimento obtido no desdobro principal

O volume total de toras de ipê usado foi de 27,58m<sup>3</sup>, que após o desdobro resultou em um volume total em madeira serrada de 13,67m<sup>3</sup>. Avaliando os rendimentos volumétricos por tora, verificou-se que o menor valor obtido foi de 34,89% e o maior 67,24%, havendo, portanto uma variação de aproximadamente 33%.

Diante da variação entre o maior e o menor rendimento pode-se interpretar que a qualidade das toras é o principal fator que afetou a porcentagem de aproveitamento, visto que, o processo, os equipamentos e a equipe de trabalho foram os mesmos para todas as toras.

MARCHESAN (2012) encontrou uma variação no rendimento das toras de 30%, 27% e 24% para muiracatiara (*Astronium lecontei* Ducke), muirapiranga (*Brosimum rubescens* Taub.) e jatobá (*Hymenaea courbaril* L.), respectivamente. CAVALETT et al. (2010) observaram diferença de 25% para o jatobá (*H. courbaril*), reforçando que a variação pode ter ocorrido em função da qualidade dos toras, levando em consideração tortuosidade, ataque de organismos xilófagos e deterioração por tempo de estocagem em pátio.

A média de rendimento total obtido foi de 49,91%, sendo este o valor do rendimento volumétrico em madeira serrada para a espécie, superior ao estabelecido pela Resolução nº 411 de 6 de maio de 2009 do CONAMA, que

especifica o coeficiente volumétrico para empresas que trabalham com transformação de toras em madeira serrada em 45%. GOMIDE (1974) citado por TONINI e FERREIRA (2004), mencionou que rendimentos entre 45 a 55% são considerados normais para folhosas.

OLIVEIRA et al. (2003) verificaram o rendimento de 59,95% para o ipê em três serrarias no município de Jaru, estado de Rondônia. No entanto, pode-se atribuir os altos índices de rendimento obtidos pelos autores a uma possível seleção das toras quanto a qualidade e diâmetro, uma vez que os rendimentos foram não diferenciados por classes diamétricas das toras. Vale ressaltar que o cálculo de volume utilizado foi o “método paulista”, no qual o volume da tora é calculado pelo produto do comprimento e do diâmetro sem casca da ponta mais fina, subtraindo-se 10cm de cada lado desse diâmetro. Esse volume representa 79,8% do volume real da tora. Convertendo para o volume com casca tem-se a média de aproveitamento total de 47,81%, sendo proporcionalmente abaixo do verificado no presente trabalho.

Em trabalho realizado por ÂNGELO et al. (2004), no município de Sinop, MT, o aproveitamento médio das toras em serraria, de acordo com os empresários, está em torno de 54,85%. Ao se comparar individualmente as espécies, verifica-se que o rendimento volumétrico de madeiras que também possuem comercialização no município de Uruará, como itaúba (*Mezilaurus itauba* (Meissn.) Taub. ex Mez), amarelão (*Apuleia leiocarpa* (Vogel) J.F. Macbr) e angelim vermelho (*Dinizia excelsa* Ducke), cujos valores encontrados foram de 49,1%, 45,4% e 55,9%, respectivamente, possuem rendimento semelhante ao determinado para o ipê (49,91%).

MARCHESAN (2012) relatou rendimento médio de 33,99% para muiracatiara (*Astronium lecointei* Ducke) e 29,22% para muirapiranga (*Brosimum rubescens* Taub.), sendo esses valores inferiores quando comparados com outros resultados na literatura. Entretanto, a autora atribui esse desempenho a toras com presença de brocas e rachaduras.

Segundo GERWING et al. (2001) o manejo dos recursos florestais não está restrito à floresta. A eficiência no desdobro das toras em produtos finais (madeira serrada, lâminas, compensados etc.) pode afetar significativamente a área de floresta necessária para satisfazer a demanda por madeira processada. Em uma serraria piloto em Santarém, PA, atingiu-se um rendimento superior a 60% para algumas espécies da região (SUDAM, 1981).

De acordo com o IPT (2003), o rendimento da madeira serrada é em função do aproveitamento da tora (volume serrado em relação ao volume da tora), sendo determinado pelo diâmetro da tora, em que maiores diâmetros resultam em maiores rendimentos. Entretanto, para os valores médios de rendimento por classe diamétrica obtidos, o teste F não apresentou diferença estatística ao nível de 95% de probabilidade.

No que diz respeito a tendência do rendimento de madeira serrada aumentar de acordo com o aumento do diâmetro das toras, não foi observado para o ipê (Tabela 2). Esse resultado diferiu de outros trabalhos realizados sobre rendimento, conforme demonstrados pelo IPT (2003), BIASI (2005), MURARA JR et al. (2005), VALÉRIO et al. (2009) e MANHIÇA et al. (2012), com diversas espécies.

**TABELA 2 – Rendimento e médias de produção de madeira serrada de Ipê**

Classe	Vb (m <sup>3</sup> )	Vm (m <sup>3</sup> )	Vs (m <sup>3</sup> )	Ra	Rm (%)	F	P – value
I	6,36	1,272	3,354	0,5273	52,73		
II	7,74	1,548	3,725	0,4812	48,12	0,5317	0,60084
III	13,48	2,696	6,592	0,4890	48,90		

Vb=volume bruto; Vm=volume médio por tora em cada classe; Vs=volume de madeira serrada; Ra=rendimento absoluto; Rm=rendimento médio; F=valor da estatística de Snedecor; P-value= indica o nível de significância do teste F de Snedecor para as classes diamétricas ( $\alpha = 0,05$ ).

Resultado semelhante foi obtido por MARCHESAN (2012), que avaliou o rendimento de madeira serrada para espécies tropicais. Para a muiracatiara, a autora verificou que não houve tendência de aumento no rendimento de acordo com as classes diamétricas, pois, de 4 classes, a classe 2 (51- 65cm) obteve melhor resultado que a classe 3 (66 - 80cm). Como a muiracatiara, a muirapiranga também não demonstrou tendência de aumento no rendimento de acordo com as classes diamétricas, pois a classe 2 obteve melhor resultado quando comparada com as classes 3 e 4.

### Rendimento obtido por produto

Foi realizado também o rendimento volumétrico por tipo de produto produzido (*decking*, assoalho e aproveitamento), avaliando também as classes diamétricas (Tabela 3).

**TABELA 3 – Valores de produção, rendimento na produção de *decking*, assoalho e peças de aproveitamento a partir do desdobramento de madeiras de ipê**

Produto	Classe	Vb (m <sup>3</sup> )	Vm (m <sup>3</sup> )	Ra	Rm (%)
<i>Decking</i>	I	1,4825	0,2965	0,2316	23,16
	II	1,3220	0,2644	0,1944	19,44
	III	3,8640	0,7728	0,2831	28,31
	F				0,5199
	P-Value				0,6074
Assoalho	I	0,9810	0,1962	0,1533	15,33
	II	0,6265	0,1254	0,0922	9,22
	III	1,1000	0,2200	0,0806	8,06
	F				2,7225
	P-Value				0,1059
Aproveitamento (taco e S4S)	I	0,9115	0,1823	0,1424	14,24 ab
	II	1,3230	0,2646	0,1946	19,46 a
	III	1,7105	0,3421	0,1253	12,53 b
	F				5,7432
	P-Value				0,0177

Vb=volume bruto; Vm=volume médio por tora em cada classe; Vs=volume de madeira serrada; Ra=rendimento absoluto; Rm=rendimento médio; F=valor da estatística de Snedecor; P-value= indica o nível de significância do teste F de Snedecor para as classes diamétricas ( $\alpha=0,05$ ). Tratamentos com letras diferentes, em cada classe diamétrica são significativamente diferentes entre si, de acordo com o Teste de Tukey ( $\alpha=0,05$ ).

---

Para os valores médios de rendimento por classe volumétrica para o *decking*, o teste de F de Snedecor não apresentou diferença estatística ao nível de 95% de probabilidade. Para esse tipo de produto, foi obtido rendimento médio de 23,24%. Esse valor está próximo do observado por outros autores, como SANTANA (2003), que afirmou que o rendimento para produtos com essas características chega a ser de 25 a 30% para as madeiras em geral, considerando-se madeira serrada, aplainada e cortada nas bitolas especificadas e sem defeitos. Para GERWING et al. (2001) as empresas que processam madeira para o mercado de exportação apresentaram o mais baixo rendimento médio de produtos primários (20%), entretanto, por causa do processamento secundário, o rendimento poderá aumentar de 20% para 32%. No caso da empresa onde foi realizada a pesquisa, esse processamento secundário consistia na produção de assoalhos e peças de aproveitamento (taco e S4S).

Em relação ao rendimento volumétrico na produção de assoalho, não se observou diferença estatística entre as classes diamétricas utilizando o teste F de Snedecor ao nível de probabilidade de 95%. A média de rendimento de encontrada foi de 10,87%.

Após a produção de *deckings* e assoalhos, os resíduos gerados eram encaminhados para produção de tacos e peças aplainadas nas 4 faces (S4S). No que diz respeito ao rendimento obtido com a produção de peças de aproveitamento, detectou-se diferença significativa somente nas classes diamétricas II e III. De forma geral, verificou-se o valor de 15,41% do volume total da tora aproveitado para a produção desse produto. Resultado semelhante foi obtido por OLIVEIRA et al. (2003), ao encontrarem rendimento de 14,78% utilizando-se do método paulista para cálculo do volume. Em valores proporcionais, tem-se um aproveitamento de 11,80% para o rendimento do aproveitamento obtido no trabalho dos autores citados.

GERWING et al. (2001) apresentaram que entre as serrarias que produzem peças para o mercado doméstico, encontram-se exemplos de aumento de rendimento resultante do aproveitamento de peças pequenas em duas empresas que processam mecanicamente madeira de ipê. Essas empresas tinham rendimento total de 54% e 55%. Em uma dessas empresas, 10% do volume total de toras foi aproveitado a partir de peças pequenas medindo até 30,0 x 8,0 x 2,4cm, as quais foram utilizadas na fabricação de *pallet* para assoalhos. Na maioria das empresas que processam mecanicamente madeira para o mercado doméstico, o menor comprimento de madeira serrada foi 2,5m para ripas utilizadas na confecção de telhados, cujas peças de comprimentos insuficientes para produzir uma ripa eram descartadas.

### **Modelagem para estimativa do rendimento**

A matriz de correção linear de Pearson para as variáveis dependentes e as variáveis independentes dos modelos testados é apresentada na Tabela 4. Observou-se que o rendimento da madeira serrada de ipê apresentou elevada correlação com as variáveis menor diâmetro (92,85%) e volume total da tora (94,75%).

**TABELA 4** – Correlação linear em percentual entre as variáveis analisadas das toras de ipê

Variáveis	Diâmetro (cm)	Comprimento (m)	Volume (m <sup>3</sup> )	Rendimento (m <sup>3</sup> )
Diâmetro (cm)	100			
Comprimento (m)	8,19352E-15	100		
Volume (m <sup>3</sup> )	99,47421536	-2,46321E-14	100	
Rendimento (m <sup>3</sup> )	92,85698621	-6,97203E-15	94,758512	100

O diâmetro menor e o volume da tora apresentaram alta correlação com o rendimento, portanto, caracterizaram-se como variáveis importantes na modelagem, principalmente pela elevada acurácia e facilidade na sua obtenção, que permite o desenvolvimento de equações que poderão gerar estimativas do rendimento no desdobro das toras de forma simples, com rapidez e eficiência.

No entanto, é válido observar que como o diâmetro menor e o volume da tora são variáveis independentes e estão altamente correlacionadas, pode levar a multicolinearidade. Ou seja, ambas as variáveis podem estar explicando as mesmas variações que atuam sobre a variável dependente.

A modelagem do rendimento é apresentada na Tabela 5. O modelo 8 mostrou-se mais preciso e eficiente para a estimativa do rendimento para a madeira de ipê, com elevado R<sup>2</sup>Aj (97,49%) e menor S<sub>xy</sub> (0,0696) e CV (7,56%), além da melhor distribuição gráfica dos resíduos (Figura 2). Os modelos 9 e 10 apresentaram valores elevados de R<sup>2</sup>Aj e baixos S<sub>xy</sub> e CV, no entanto, não são recomendados, visto que apresentaram seus coeficientes estatisticamente iguais a zero.

As análises realizadas por VALÉRIO et al. (2009) indicaram que a utilização de um fator percentual único e de equações não apropriadas de estimativa do rendimento levam a valores diferentes do real. Dessa forma, indicam o uso de modelos matemáticos ajustados para cada indústria, pois estarão sendo consideradas as características específicas de cada empresa, bem como de cada produto que é processado, possibilitando a predição do rendimento de madeira serrada com grande acurácia.

**TABELA 5** – Parâmetros das equações testadas para ajustar o rendimento de madeira serrada de Ipê (*Handroanthus* sp)

	Modelo Matemático									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>b<sub>0</sub></b>	1,1536*	1,5023*	-0,1012*	0,4481*	2,9232	-2,1242*	39,1362*	-366,3739	-378,102*	-2538,49*
<b>b<sub>1</sub></b>	-0,0376*	0,0479*	0,5580	-0,0050*	-3,8049	6,2658*	-103,8339*	1216,9306	1260,875*	10533,03*
<b>b<sub>2</sub></b>	0,0005*	0,00006*		0,1245*	1,9384	-5,1996*	107,7543*	-1635,192	-1704,23*	-18769,9*
<b>b<sub>3</sub></b>					-0,2692	1,8614*	-53,6732*	1137,5822	1196,5049*	18778,69*
<b>b<sub>4</sub></b>						-0,2275*	12,8425*	-431,3658	-460,862*	-11545,5*
<b>b<sub>5</sub></b>							-1,1802*	84,4239	93,0817*	4470,49*
<b>b<sub>6</sub></b>								-6,6601	-8,0395*	-1065,36*
<b>b<sub>7</sub></b>									0,0920*	142,92*
<b>b<sub>8</sub></b>										-8,265*
<b>F</b>	45,73	45,73	114,34	62,3	59,67	46,43	42,85	91,75	68,82	64,12
<b>R<sup>2</sup>Aj.</b>	86,47	86,47	89,00	89,75	92,63	92,88	93,73	97,49	97,13	97,30
<b>S<sub>xy</sub></b>	0,1616	0,1616	0,1457	0,1407	0,1193	0,1175	0,1101	0,0696	0,0744	0,0722
<b>CV</b>	17,56	17,56	15,84	15,29	12,96	12,77	11,96	7,56	8,08	7,84

b<sub>0</sub>, b<sub>1</sub>, b<sub>2</sub>, b<sub>3</sub>, b<sub>4</sub>, b<sub>5</sub>, b<sub>6</sub>, b<sub>7</sub>, b<sub>8</sub>=coeficientes de regressão; \*Coeficiente não significativo; R<sup>2</sup>Aj.=Coeficiente de Determinação ajustado (%); S<sub>xy</sub>=Erro-padrão da estimativa; CV=Coeficiente de Variação em porcentagem; F=Valor de F da análise da variância.

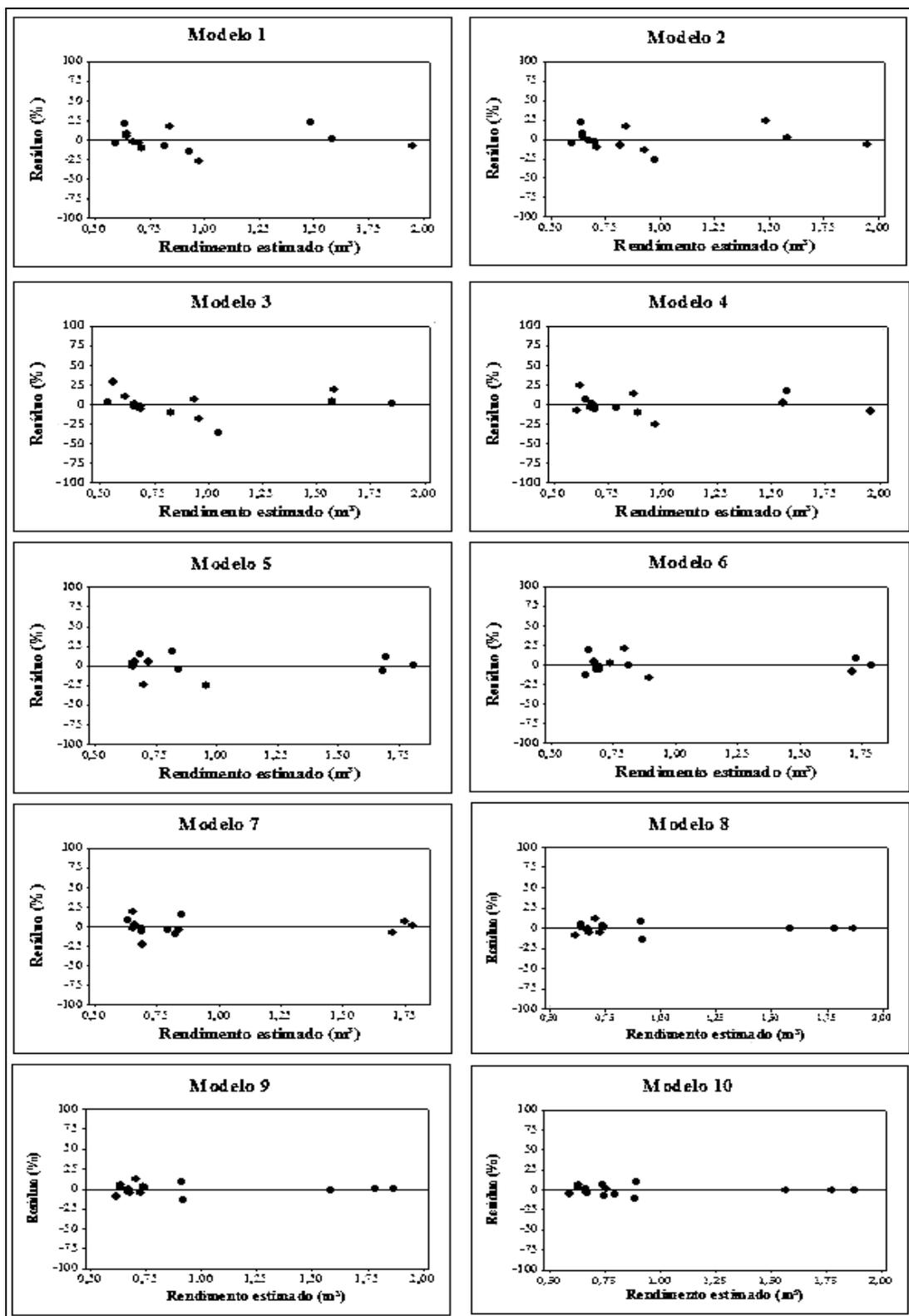


Figura 2 – Distribuição gráfica dos resíduos para modelos de estimativa do rendimento.

## CONCLUSÕES

O valor porcentual obtido no beneficiamento de madeira de ipê na empresa avaliada no Município de Uruará, PA, foi de 49,91%, sendo influenciado pela qualidade das toras.

O rendimento de madeira serrada de ipê não diferenciou em função das classes diamétricas, com exceção quando analisado apenas a madeira para mercado de exportação (*decking*), a classe diamétrica não influencia no rendimento. Os produtos oriundos do aproveitamento apresentaram melhores resultados para as classes diamétricas I e II, com isso recomenda-se o uso de toras com diâmetro menor que 62,5cm.

O modelo 8 ( $R = -366,1362 + 1.216,9306v - 1.635,192v^2 + 1.137,5822v^3 - 431,3658v^4 + 84,4239v^5 - 6,6601v^6$ ) é recomendado para estimativa do rendimento de madeira serrada de ipê, visto que mostrou as melhores medidas de precisão do ajustamento.

## REFERÊNCIAS

ANGELO, H.; SILVA, G. F.; SILVA, V. S. M. Análise econômica da indústria de madeiras tropicais: o caso do polo de Sinop, MT. **Ciência Florestal**. Santa Maria, v. 14. n. 2, p. 91-101, 2004.

BIASI, C. P. **Rendimento e eficiência no desdobro de três espécies tropicais**. 2005. 73p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

CAVALETT, J.; OLIVEIRA, A. L. A.; ARRUDA, T. P. M.; ACOSTA, F. C. Rendimento em madeira serrada de jatobá (*Hymenaea courbaril*). In: Simpósio de Iniciação Científica das Ciências Agrárias, 2., 2010, Alta Floresta., **Anais...UNEMAT: Alta Floresta**, 2010.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução nº411, de 06 de maio de 2009**. In: Diário Oficial da União, Brasília, n. 86 de 8 de maio de 2009.

GERWING, J.; VIDAL, E.; VERÍSSIMO, A.; UHL, C. **Rendimento no Processamento de Madeira no Estado do Pará**. Série Amazônia. Belém: IMAZON, n. 18, 31p, 2001.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. **Madeira: uso sustentável na construção civil**. São Paulo, SP: IPT, 2003. 57 p.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras: manual de identificação de plantas arbóreas do Brasil**. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum v. 1, ed. 5.p., 2008.

MACHADO, S. A.; CONCEIÇÃO, M. B.; FIGUEIREDO, D. J. Modelagem do volume individual para diferentes idades e regimes de desbaste em plantações de *Pinus oocarpa*. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 4, n. 2, p.185-197, 2002.

MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. Guarapuava: UNICENTRO, ed. 2, 2009. 316p.

MANHIÇA, A. A.; ROCHA, M. P.; TIMOFEICZYK JR., R. Rendimento no desdobro de *Pinus* sp. Utilizando modelos de corte numa serraria de pequeno porte. **Floresta**, Curitiba, v. 42, n. 2, p.409-420, 2012.

MARCHESAN, R.. **Rendimento e qualidade de madeira serrada de três espécies tropicais**. 2012. 94p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

MURARA JR., M. I.; ROCHA, M. P.; TIMOFEICZYK JR., R. Rendimento em madeira serrada de *Pinus taeda* para duas metodologias de desdobro. **Floresta**, Curitiba, v. 35, n. 3, p. 473-483, 2005.

OLIVEIRA, A. D.; MARTINS, E. P.; SCOLFORO, J. R. S.; REZENDE, J. L. P.; SOUZA, A. N. Viabilidade econômica de serrarias que processam madeira de florestas nativas – o caso do município de Jaru, estado de Rondônia. **Cerne**, Lavras, v. 9, n. 1, p. 001-015, 2003.

PAIVA, C. V. **Análise da produção madeireira do Estado do Pará**. 2009. 29p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

PEREIRA, D.; SANTOS, D.; VEDOVETO, M.; GUIMARÃES, J.; VERRÍSSIMO, A. **Fatos Florestais da Amazônia 2010**. Belém, PA: IMAZON, 2010. 126p.

PIOVESAN, P. R. R.; SOUSA, A. S.; REIS, A. R. S. Caracterização do setor madeireiro no município de Uruará, Pará, Brasil. In: Seminário de Educação, Ciência e Tecnologia do IFPA no Xingu, Altamira. **Anais...IFPA**: Altamira, 2011.

SANTANA, A. C. Análise de competitividade sistêmica da indústria de madeira no estado do Pará. **Revista de Economia e Agronegócio**. v. 1, n. 2, p. 205-230, 2003.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO - SFB/ INSTITUTO DO HOMEM E MEIO AMBIENTE DA AMAZÔNIA - IMAZON. **A atividade madeireira na Amazônia brasileira: produção, receita e mercados**. Belém, PA: Serviço Florestal Brasileiro (SFB); Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (IMAZON), 2010. 31p.

SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DA AMAZÔNIA – SUDAM. **Rendimento em serraria de trinta espécies de madeiras amazônicas**. Belém, 1981. 186p.

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

TONINI, H.; FERREIRA, L. M. M. **Rendimento em madeira serrada de cupiuba (*Goupia glabra*), caferana (*Erismia uncinatum*) e angelim-pedra (*Dinizia excelsa*)**. Comunicado técnico. 7. Boa Vista: Embrapa Roraima, 2004. 6p.

VALÉRIO, A. F.; WATZLAWICK, L. F., BALBINOT, R.; CALDEIRA, M. V. W.; FIGUEIREDO FILHO, A. Modelagem para a estimativa do rendimento no desdobramento de toras de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. **Floresta**, Curitiba, v. 39, n. 3, p. 619-628, 2009.