

# QUANTIFICAÇÃO DO VOLUME DE RESÍDUOS GERADOS NO DESDOBRO DE *ARAUCARIA ANGUSTIFOLIA* (BERTOL.) O. KUNTZE<sup>1</sup>

*Volume Quantification of Sawn Wood Generated from Log Deployment of *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O. Kuntze*

Álvaro Felipe Valério<sup>2</sup>, Luciano Farinha Watzlawick<sup>3</sup>, Luis Carlos Couto<sup>4</sup>, Laércio Couto<sup>5</sup>  
e Juarez Souza Bueno<sup>6</sup>

**Resumo:** A geração de resíduo nas indústrias de base florestal é uma consequência natural do processo de transformação da madeira, portanto novas técnicas para o aproveitamento da biomassa tem sido desenvolvidas com a finalidade de suprir a crescente demanda por energia e produtos madeireiros. Desta forma, o real conhecimento do volume de resíduos gerados é de fundamental importância para a gestão e o planejamento industrial. Assim, este estudo teve por objetivo a quantificação do volume de resíduos gerados no desdobro de toras de *Araucaria angustifolia*, utilizando-se para isto a quantificação no desdobro de 250 toras em diferentes classes de diâmetro, oriundas de três serrarias de pequeno porte. Observou-se que 19,7% do volume total das toras foi representado por casca, o maior volume de resíduos foi obtido na classe de diâmetro inferior a 19 cm, com 61,3%, e o menor volume ocorreu na classe superior a 55 cm, com 42,5%, portanto o volume médio de resíduos foi de 50,7%. Para cada metro cúbico de madeira produzida tem-se como produto resultante um volume de 1,029 m<sup>3</sup> de resíduos, que podem ser utilizados como biomassa na geração de energia.

**Palavras-chave:** Biomassa, desdobro de toras e pinheiro brasileiro.

**Abstract:** Sawn wood waste generated at forest-based industries is a natural consequence of wood transformation process. New biomass exploration techniques have been developed to meet the increasing demand for energy and lumber products. Thus, determination of the real volume of sawn wood generated is crucial for industrial management and planning. The objective of this study is to quantify the volume of sawn wood generated as a result of *Araucaria angustifolia* log deployment using the quantification found in the deployment of 250 logs of different diameter classes, derived from three small logging industries. It was verified that 19.7% of the total log volume was made up by bark, the highest sawn wood volume was at a diameter class below 19 cm with 61.3%, and the lowest volume at a diameter class above 55 cm, with 42.5%. Thus, the average volume of sawn wood was 50.7%. Each wood cubic meter produced corresponded to a sawn wood volume of 1.029 m<sup>3</sup>, which can be used as biomass for energy generation.

**Keywords:** Biomass, log deployment, Brazilian pine.

---

<sup>1</sup> Recebido para publicação em 19.7.2007 e aceito em 17.8.2007.

<sup>2</sup> Engenheiro Florestal, Mestrando em Manejo Florestal da UNICENTRO, <alvarofvalerio@yahoo.com.br >, <sup>3</sup> Dr. Prof. Adjunto Departamento de Agronomia da UNICENTRO, Pesquisador CNPq. <farinha@irati.unicentro.br>, <sup>4</sup> Dr. Prof. da Universidade Federal Rural do Amazonas – UFRA/TAPAJOS, <coutoluizc@yahoo.com.br>, <sup>5</sup> Dr. Centro Brasileiro para Conservação da Natureza e Desenvolvimento Sustentável, <presidencia@cdcn.org.br>, <sup>6</sup> Diretor Industrial, Clevelândia-PR, <juarez@wln.com.br>.

## 1 INTRODUÇÃO

A *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze caracteriza-se como uma das principais espécies da Floresta Ombrófila Mista. Sua madeira apresenta excelentes características anatômicas, físicas e mecânicas, o que a tornou um importante produto nas exportações brasileiras desde meados das décadas de 1960 e 70. Hoje figura na lista de espécies ameaçadas da IUCN (HILTON-TAYLOR, 2000), porém encontra-se em áreas significativas de reflorestamentos com fins econômicos e representa uma importante fonte de matéria-prima para a indústria. Ela tem despertado real interesse dado as suas características silviculturais, que têm revelado grande potencial em plantios comerciais (EMBRAPA, 1988; GUERRA et al., 2002).

Devido à vocação natural brasileira para a produção florestal em conjunto com as pressões ambientais e a crescente demanda por madeireiros, acentuou-se nos últimos anos o desenvolvimento de melhores métodos de desdobro e tecnologias para a otimização do aproveitamento dos recursos naturais e dos resíduos em forma de biomassa.

Dessa forma, o aproveitamento da biomassa como energia vem se apresentando como um recurso estratégico, resultante do menor impacto, por se tratar de uma fonte de energia limpa e renovável, diferente da atual matriz energética, que tem como base a utilização de combustíveis fósseis.

Os resíduos da indústria de transformação mecânica da madeira são considerados um dos maiores problemas do setor florestal, não só pelos custos do seu armazenamento ou destino, mas também porque são causadores de contaminação ambiental (CONAF, 1995). Assim, a disposição dos resíduos sem uma destinação adequada gera graves problemas ambientais, como o assoreamento e a poluição dos rios; a poluição do ar, devido à queima para sua

eliminação; e o desperdício da matéria-prima que entra na indústria (BRAND et al., 2002).

O processo de conversão da tora resulta em uma quantidade variável de resíduos, que depende da espécie, das técnicas de desdobro, da qualificação dos colaboradores, dos fatores que influenciam o volume da tora e da exigência momentânea do mercado, considerando que para produção de peças com menores dimensões faz-se necessário maior número de cortes. Portanto, a geração de resíduos nas serrarias é uma consequência natural do processo de transformação da madeira, os quais podem ser convertidos em importante fonte de matéria-prima para produção de chapas de partículas, bem como podem ser aproveitados para geração de energia térmica e elétrica.

Diante deste contexto, o presente estudo teve como objetivo a quantificação do volume de resíduos gerados no desdobro de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O. Kuntze.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo foi realizado em três serrarias fixas convencionais de pequeno porte, com consumo diário de toras inferior a 50 m<sup>3</sup>, localizadas nos municípios de Clevelândia e Irati, no Paraná, e em São Lourenço do Oeste, no Estado de Santa Catarina. O processo produtivo é característico da maioria das empresas de pequeno porte do País, onde o desdobro principal é realizado com uma única serra fita simples vertical, de lâmina larga, possuindo um carro porta-toras com três garras fixadoras como sistema de alimentação até o corte, que é executado uma única vez a cada avanço. Posteriormente, o refilamento é feito em uma mesa com uma serra circular simples e o destopamento com uma serra circular pendular.

Essas técnicas e as características das máquinas possibilitam o desdobro de toras com grande amplitude diamétrica, sendo dispensado um tratamento individualizado para cada tora, que apesar de mais lento resulta na geração

de menor volume de resíduos no processo de conversão da tora. Assim como o processo de desdobro, o fluxograma do sistema produtivo das indústrias é simples (Figura 1).

A definição do número de classes de diâmetro foi feita por meio da fórmula de Sturges, apresentada e discutida por Koheler (1994), e que, de acordo com Machado e Figueiredo Filho (2003), é uma das maneiras mais conhecidas para estabelecer o número de classes para um conjunto de dados. A fórmula é:

$$N^{\circ} \text{ de classes} = 1 + 1,4427 \text{ Ln} (n)$$

em que

$n$  = número de observações disponíveis; e  
 $\text{Ln}$  = logaritmo natural.

As toras foram oriundas de árvores plantadas e apresentavam comprimentos entre 2,5 e 4 m. Elas foram escolhidas de forma aleatória no pátio das empresas, e posteriormente classificadas em classes diamétricas, considerando a ponta de menor diâmetro, conforme apresentado no Quadro 1.

Fez-se a marcação dos diâmetros ao longo do comprimento da tora em 14 posições relativas, ou seja, a 0, 1, 5, 10, 15, 25, 35, 45, 55, 65, 75, 85, 95 e a 100%. Com todas as posições relativas calculadas e marcadas ao longo da tora, com o auxílio de uma suta, foi realizada a dupla medição dos diâmetros nos pontos determinados, e com paquímetro, a medição da espessura de casca. Os volumes, com e sem casca, de cada tora medida foram calculados pelo método de Smalian, como segue:

$$\text{Volume (m}^3) = \left[ \left( \frac{g_1 + g_2}{2} \right) * l_1 \right] + \left[ \left( \frac{g_2 + g_3}{2} \right) * l_2 \right] + \dots + \left[ \left( \frac{g_{n-1} + g_n}{2} \right) * l_n \right]$$

em que

$$g_i = \frac{\pi \cdot d_i^2}{40000}$$

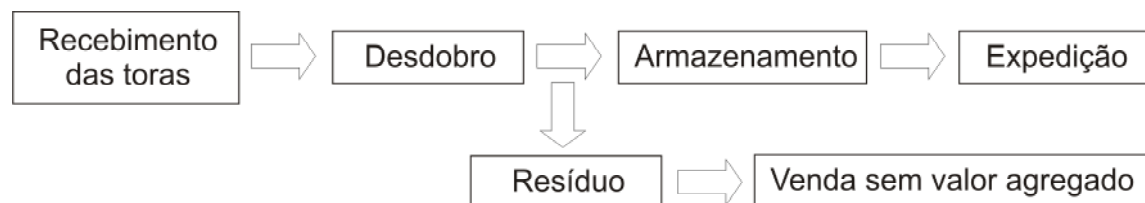
$g_i$  = área transversal na altura relativa;  
 $d_i$  = diâmetro na altura relativa (cm); e  
 $l_i$  = comprimento da seção relativa (m).

Após o desdobro de cada tora, o produto resultante foi separado, tendo sido realizada a medição com o auxílio de trena e paquímetro, e posteriormente foi feita a cubagem de cada peça do material processado. Com a soma das cubagens obteve-se o volume caracterizado como rendimento, dado em  $\text{m}^3 \text{ tora}^{-1}$ . Foi utilizada a diferença entre o volume cubado em toras com casca, bem como foi obtido o volume de casca. Por meio da diferença entre o volume de toras que foram processadas e o rendimento de madeira processada, subtraindo-se o volume de casca, obteve-se o volume de resíduos.

A homogeneidade das variâncias do rendimento para as toras foi testada ao aplicar o teste de Bartlett. Em seguida foi realizada a análise de variância, considerando como tratamentos as classes diamétricas. As médias de cada classe de diâmetro foram comparadas pelo teste de Duncan, a de 5% de probabilidade.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O volume porcentual de resíduos variou entre as toras e entre as classes de diâmetro,



**Figura 1** – Fluxograma do sistema produtivo.  
**Figure 1** – Flowchart of the productive system.

tendo os resultados apresentado tendência de crescimento da maior para a menor classe. No Quadro 2 estão os percentuais do volume de resíduos em função da tora com casca.

O volume médio de resíduos gerados para tora com casca foi de 50,7%, com conseqüente aproveitamento de 49,3%, o que representa um volume significativo do material total processado que não foi transformado em madeira serrada. Portanto, para cada metro cúbico de

madeira serrada tem-se como produto resultante um volume de 1,029 m<sup>3</sup> de resíduos. O percentual de resíduo observado é inferior ao encontrado no desdobro de outras espécies florestais por Polzl (2003), entre 55 e 60%, e por Souza (1997), entre 55 e 65%, porém é superior ao valor obtido por Borges et al. (1993), de 47,7%.

Brand et al. (2002), estudando o rendimento no processo de desdobro de toras de *Pinus* sp.

**Quadro 1** – Número de toras amostradas por classe de diâmetro  
**Table 1** – Logs sampled by diameter class

Classes Diamétricas (cm)	Número de Toras	Comprimento Médio (m)
> 19	25	3,85
20 – 24,9	25	3,55
25 – 29,9	27	3,70
30 – 34,9	36	3,35
35 – 39,9	31	3,50
40 – 44,9	29	3,24
45 – 49,9	27	3,88
50 – 54,9	25	2,95
> 55	25	3,86
Total	250	3,54

**Quadro 2** – Percentual do volume de resíduos gerados em função da tora com casca  
**Table 2** – Percentage of sawn wood generated in function of log with bark

Classe (cm)	Volume de Tora (m <sup>3</sup> )	Desvio-Padrão (%)	Porcentual de Resíduos
< 19	2,268	16,32	61,27
20 – 24,9	3,374	14,70	57,37
25 – 29,9	6,151	12,54	53,68
30 – 34,9	9,980	14,29	51,36
35 – 39,9	11,044	11,32	48,96
40 – 44,9	12,771	15,46	46,87
45 – 49,9	19,354	10,65	49,32
50 – 54,9	15,422	9,89	44,91
> 55	24,538	6,28	42,52
Média	11,656	12,38	50,70

em uma serraria com alto nível de automação, constataram que são necessários 2,62 m<sup>3</sup> de toras com casca para produção de 1 m<sup>3</sup> de madeira serrada seca e classificada, o que resulta na produção de 1,62 m<sup>3</sup> de resíduos para cada metro cúbico de madeira serrada no processo. Olandoski et al. (1997) apresentaram resultados semelhantes da produção do volume de resíduos oriundos do processo com 51%, em estudo desenvolvido em serraria com as mesmas técnicas convencionais de desdobro de toras com o gênero *Pinus* sp.

A relação entre diâmetro e geração de resíduos indica que a classe com pior desempenho em rendimento foi a de diâmetros inferiores a 19 cm, e as que proporcionam os menores volumes de resíduos no processamento de toras foram as classes com diâmetros superiores a 50 cm, seguidas pela classe entre 40 e 44,9 cm.

Observa-se que o volume de casca assume tendência crescente no sentido da classe de menor para a de maior diâmetro, característica estatural, resultante do aumento no perímetro das toras. Porcentualmente, não se observa este padrão de crescimento, conforme pode-se constatar no Quadro 3.

O percentual de resíduos compostos pela casca respondeu, em média, por 19,7% do volume total, superior ao encontrado por Miranda et al. (2002a,b) e Paula Neto et al. (1991) em estudos com o gênero eucalipto, de 10,1 e 16,94%, respectivamente. Considerando que esse volume não é agregado ao produto serrado, ele pode ser comercializado como biomassa para geração de energia.

Os percentuais dos resíduos, do aproveitamento e da casca em relação ao volume total de toras em cada classe diamétrica estão na Figura 2.

As variâncias dos volumes de resíduos das toras com casca por classe de diâmetro mostraram-se homogêneas a 95% de confiança, ao serem analisadas pelo teste de Bartlett. A análise de variância (ANOVA) revelou existir diferença estatisticamente significativa, a 95% de

probabilidade, entre as classes de diâmetros analisadas. Os resultados do teste de Duncan estão no Quadro 4.

O maior volume de resíduos foi oriundo do processamento das toras em classes de diâmetros menores que 29,9 cm, que não diferiram estaticamente, seguido pelas classes de diâmetros entre 30 e 49 cm, que não diferiram estatisticamente. O processamento das toras de diâmetros maiores que 50 cm resultou em menor volume de resíduos e, conseqüentemente, em maior conversão da matéria-prima em madeira serrada.

O teste de Bartlett revelou que as variâncias do volume de casca por classes diamétricas para as toras analisadas neste estudo foram homogêneas, a 95% de probabilidade, e a análise de variância (ANOVA) revelou existirem diferenças estatisticamente significativas, também a 95% de probabilidade, entre as classes diamétricas analisadas. As médias do volume de casca de cada classe de diâmetro foram comparadas pelo teste de Duncan, cujos resultados estão no Quadro 5.

#### 4 CONCLUSÃO

– O percentual médio de resíduos oriundos do processamento de toras de *Araucaria angustifolia* foi de 50,7%. O menor volume foi gerado para classe com diâmetros maiores que 55 cm, resultando em 42,5% de madeira não-transformada.

– O maior volume de resíduos foi obtido no desdobro da classe de diâmetros inferiores a 19 cm, resultando em 61,3% da tora com casca.

– O volume de casca, apesar de demonstrar diferenças estatísticas, não apresentou grandes variações entre as classes, e o volume total das toras, em média 19,7%, foi representado por casca, que não é aproveitada na industrialização, porém com grande potencial de utilização em outros usos.

**Quadro 3** – Volume médio de casca de *Araucaria angustifolia* por classe diamétrica

**Table 3** – Average volume of bark from *Araucaria angustifolia* by diametric class

Classe de Diâmetro (cm)	Volume de Casca (m <sup>3</sup> )	Volume de Casca (%)
> 19	0,449	19,79
20 – 24,9	0,639	18,94
25 – 29,9	1,244	20,23
30 – 34,9	2,150	21,54
35 – 39,9	2,288	20,72
40 – 44,9	2,221	17,39
45 – 49,9	4,117	21,27
50 – 54,9	2,904	18,83
> 55	4,557	18,57
Média	2,285	19,70

**Quadro 4** – Comparação entre o volume médio de resíduos gerados por classe diamétrica com casca

**Table 4** – Comparison between the average volumes of sawn wood generated by diametric class with bark

Classes (cm)	Volume de Resíduos (%)	Sumarização		
< 19	61,27	a		
20 – 24,9	57,37	a		
25 – 29,9	53,68	a	b	
30 – 34,9	51,36		b	
45 – 49,9	49,32		b	
35 – 39,9	48,96		b	
40 – 44,9	46,87		b	c
50 – 54,9	44,91			c
> 55	42,52			c

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan, a 95 % de probabilidade.

**Quadro 5** – Comparação entre o volume médio de casca por classe diamétrica

**Table 5** – Comparison between bark average volumes by diametric class

Classes (cm)	Volume de Casca (%)	Sumarização	
40 – 44,9	17,39	a	
> 55	18,57	a	
50 – 54,9	18,83	a	
20 – 24,9	18,94	a	
< 19	19,79	a	b
25 – 29,9	20,23		b
35 – 39,9	20,72		b
45 – 49,9	21,27		b
30 – 34,9	21,54		b

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan, a 95% de probabilidade.

**REFERÊNCIAS**

- BORGES, A. S.; GINIGLIO, G.; BRITO, J. O. Considerações energéticas e econômicas sobre resíduos de madeira processada em serraria. In: CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1.; CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7., Curitiba **Anais...** Curitiba, 1993. v. 3. p. 603-606.
- BRAND, M. A. et al. Caracterização do rendimento e quantificação dos resíduos gerados em serraria através do balanço de materiais. **Revista Floresta**, v. 32, n. 2, p. 247-259, 2002.
- CONAF. Pellets de aserrín. combustible del futuro. **Revista Chile Florestal**, n. 53, p. 5-7, 1995.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Zoneamento ecológico para plantios florestais no Estado de Santa Catarina**. Curitiba: CNPF-Embrapa, 1998.
- GUERRA, M.P. et al. Exploração, manejo e conservação da araucária (*Araucaria angustifolia*). In: SIMÕES, L. L.; LINO, C. F. (Orgs.). **Sustentável Mata Atlântica: a exploração de seus recursos florestais**. São Paulo: SENAC, 2002. p. 85-102.
- HILTON-TAYLOR, C. **IUCN red list of threatened species**. Gland: IUCN, 2000.
- KOEHLER, H. S. **Estatística experimental**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1994. 124 p.
- MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2003. 309 p.
- MIRANDA, G. M. et al. Contribuição da casca na composição do custo de transporte da madeira de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 26, n. 2, p.145-148, 2002a.
- MIRANDA, G. M. et al. Estimativa do custo de reposição dos nutrientes exportados pela colheita da casca da madeira em povoamentos de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 26, n. 2, p.149-156, 2002b.
- OLANDOSKI, D. P.; BRAND, M. A.; GORNIK, E. Avaliação do rendimento, quantidade, qualidade e aproveitamento de resíduos no desdobro de *Pinus* spp. In: EVINCI – EVENTO DE INICIAÇÃO, 5., 1997, Curitiba. Científica da UFPR. **Evento...** Curitiba: 1997. p. 379.
- PAULA NETO, F. et al. Análise do volume de casca de reflorestamentos de Eucalipto de diferentes idades, condições de local, espécies e métodos de regeneração. **Revista Árvore**, v. 15, n. 1, p. 55-65, 1991.
- POLZL, W. B. et al. Cadeia produtiva do processamento mecânico da madeira – segmento da madeira serrada no Estado do Paraná. **Revista Floresta**, v. 33, n. 2, p. 127-134, 2003.
- SOUZA, M. R. Tecnologias para usos alternativos de resíduos florestais. Experiências do laboratório de produtos florestais – IBAMA, na área de utilização de resíduos florestais e agrícolas. In: WORKSHOP SUL-AMERICANO SOBRE OS USOS ALTERNATIVOS DE RESÍDUOS DE ORIGEM FLORESTAL E URBANA, 1997, Curitiba. **Anais...** Curitiba, 1997. p. 49-70.