# QUANTIFICAÇÃO DE RESÍDUOS E RENDIMENTO NO DESDOBRO DE Araucaria angustifolia (BERTOL.) O. KUNTZE

Álvaro Felipe Valério\*, Luciano Farinha Watzlawick\*\*, Robi Tabolka dos Santos\*\*\*, Catize Brandelero\*\*\*\*, Henrique Soares Koehler\*\*\*\*

\*Eng. Florestal, Mestrando em Manejo Florestal, UNICENTRO - alvarofvalerio@yahoo.com.br
\*\*Eng. Florestal, Dr., Depto. de Agronomia, UNICENTRO - luciano.watzlawick@pq.cnpq.br
\*\*\*Eng. Florestal, Mestrando em Engenharia Agrícola, UFCG - robytabolka@yahoo.com.br
\*\*\*\*Engª. Florestal, Doutoranda em Engenharia Florestal, UFSM - catize@hotmail.com
\*\*\*\*\*Eng. Florestal, Dr., Depto. de Fitotecnia e Fitossanitarismo, UFPR - koehler@floresta.ufpr.br

Recebido para publicação: 20/07/2006 – Aceito para publicação: 04/04/2007

#### Resumo

Este estudo objetivou a quantificação do rendimento de produtos e geração de resíduos no desdobro de toras de *Araucaria angustifolia*, utilizando-se para tanto do volume de toras em seis diferentes classes de diâmetro com seu rendimento, em uma serraria de pequeno porte. Observou-se que 17,7% do volume total das toras são representados por casca, que não pode ser aproveitada na industrialização, sendo considerada como resíduo (biomassa) e aproveitada na geração de energia. O maior rendimento foi obtido na classe de diâmetro maior que 60 cm, com 51,2% em toras com casca e 70,4% em toras sem casca; o menor rendimento ocorreu na classe de diâmetro até 28 cm, com 37,7% em toras com casca e 53,1% em toras sem casca. Para toras com casca, o rendimento médio foi de 44,9%, sendo necessário o desdobro de 2,228 m³ de toras para se obter um metro cúbico de madeira serrada. Para toras sem casca, o rendimento médio foi de 62,6%, sendo necessário 1,598 m³ de toras para obter-se um metro cúbico de madeira serrada. Concluiu-se assim que em média o processo de desdobro de toras de *Araucaria angustifolia* apresenta rendimento superior quando comparado com outras espécies encontradas na literatura.

Palavras-chave: Pinheiro-brasileiro; madeira serrada; rendimento.

#### **Abstract**

Quantification of residues and sawn wood yield of Araucaria angustifolia (Bertol.) O. Kuntze. The objective of this study was to quantify the yield of products and wood waste generation in Araucaria angustifolia sawing process, comparing the logs volume in six different diameter classes with their yields, in a sawmill of small capacity. It was observed that 17.7 % of the logs total volume is represented by bark portion, that can not be used for industrialization, being considered only as biomass residue. The major yield was obtained in the diameter class larger than 60 cm, with 51.2 % in logs with bark and 70.4 % in logs without bark; the smallest yield occurred in the diameter classes until 28 cm, with 37.7 % in logs with bark, and 53.1 % in logs without bark. For logs with bark, the average yield was 44.9 %, being necessary to process 2.228 m³ of logs to obtain one cubic meter of sawed wood. For logs without bark, the average yield was 44.9 %, being necessary 1.598 m³ of log to obtain one cubic meter of sawed wood. It was concluded that the logs of Araucaria angustifolia sawing process presented superior yield when compared with other species found in literature. Keywords: Brazilian pine; sawing wood; yield.

# INTRODUCÃO

Até 1913, antes do início da primeira Grande Guerra Mundial, as exportações do setor madeireiro eram inexpressivas, sendo o Brasil, até então, grande importador. A partir de 1915, o país passa de importador a exportador de madeira serrada, evidenciando um grande avanço nos anos seguintes.

Devido à vocação natural brasileira para a produção florestal, acentuou-se nos últimos anos a instalação de complexos industriais, bem como o desenvolvimento de melhores métodos de desdobro e técnicas de aproveitamento dos resíduos, com a finalidade de suprir a crescente demanda por produtos madeireiros. Porém, esse avanço não foi acompanhado por pesquisas que buscassem desenvolver a utilização sustentável de outras espécies florestais alternativas.

Segundo Roderjan *et al.* (2002), com base em Reis (1995), estima-se que o número de espécies arbóreas para a Floresta Ombrófila Mista no estado do Paraná seja superior a 200, tendo sido constatadas nessa unidade da federação, por Leite (1994), mais de 350 espécies.

Nesse sentido, apesar da grande diversidade de espécies, a *Araucaria angustifolia*, de acordo com Tomaselli (2000), sustentava como matéria-prima 80% das 5000 serrarias em operação na região Sul no início da década de 40, as quais produziam mais de 3,5 milhões de metros cúbicos de madeira por ano. Estima-se que na época existia um estoque de aproximadamente 800 milhões de metros cúbicos dessa espécie na região.

A exploração predatória sobre determinada espécie acelera seu processo de extinção. No caso da Floresta Ombrófila Mista, das várias espécies ocorrentes no bioma com possível potencial madeireiro e boas características anatômicas, físicas e mecânicas, poucas foram visadas, ocorrendo assim uma exploração de forma concentrada, em um processo desordenado e insustentável.

No Paraná, a atividade madeireira passou por mudanças significativas nesses últimos anos, devido à exploração indiscriminada da matéria-prima florestal. A redução da *Araucaria angustifolia*, conhecida popularmente como araucária ou pinheiro-do-paraná, vem sendo estudada nas mais diferentes áreas da ciência florestal, pois há um grande interesse comercial, e com isso é de grande importância que sejam desenvolvidos, nas indústrias, métodos de otimização para o melhor aproveitamento da matéria-prima oriunda dessa espécie.

No que diz respeito aos resíduos do processamento de madeira em serrarias, existe a possibilidade de melhor utilização da matéria-prima madeireira por meio da utilização de melhores técnicas, equipamentos e processos. A utilização da madeira deve ser feita da forma mais racional possível, buscando sempre o máximo rendimento e desenvolvendo novos produtos como alternativa para os resíduos, pois, apesar de ser um recurso natural renovável, a reposição florestal acarreta custos significativos.

Os métodos utilizados em serrarias, no desdobro da madeira, podem comprometer os lucros desejados e o baixo custo em outras etapas da cadeia produtiva, que é resultado de sua melhor dinâmica e desempenho. Devido a isso, o processo de desdobro deve ser cuidadosamente analisado, sendo de grande importância que cada operário tenha sua função bem definida, pois em processos não-otimizados, a produtividade e o rendimento irão depender de seu nível de especialização. Estudos sobre o aproveitamento em serraria demonstram que decisões sobre o ótimo aproveitamento das toras e o processamento de madeira podem levar ao aumento de 10% a 25% no rendimento da madeira processada (STEELE, 1984; REGALADO *et al.*, 1992).

O presente estudo teve como objetivo a quantificação do rendimento de produtos serrados e dos resíduos gerados no desdobro de toras de *Araucaria angustifolia*.

### REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

# Rendimento

O rendimento em madeira serrada (ou porcentagem de aproveitamento) é a relação entre o volume de madeira serrada produzido e o volume da tora antes do desdobro, expresso em porcentagem. Esse coeficiente é afetado pela interação de diversos fatores, sendo os mais importantes o diâmetro, o comprimento, a conicidade, a qualidade das toras e o número de produtos alternativos (STEELE, 1984).

Geralmente o rendimento em madeira serrada aumenta com o incremento do diâmetro das toras, porque o volume perdido com costaneiras e aparas representa menor porcentagem em relação aos seus volumes (WADE *et al.*, 1992). Segundo Ferreira *et al.* (1989), o aproveitamento quantitativo da transformação de uma tora em tábuas, considerando-se uma tora com casca, se dá na ordem de 40% de madeira processada, sendo os 60% restantes assim alocados: 10% de aparas de plaina, 26% de aparas do corte, 13% de pó de serra e 11% de cascas.

Para Rocha (2002), o rendimento no desdobro varia de 55% a 65% para coníferas e entre 45% e 55% para folhosas, considerando que não somente a espécie afeta o rendimento, mas que este será maior ou menor em função da qualidade dos povoamentos, dos equipamentos, técnicas de desdobro e da qualificação profissional dos operários.

Estudos realizados pela Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia – SUDAM (1981), ao analisar o rendimento de trinta espécies de madeiras amazônicas no desdobro em serrarias, verificaram que o comportamento dos rendimentos variou sensivelmente de espécie para espécie, chegando ao mínimo de 43% e a um máximo de 65%, apesar das classes diamétricas analisadas terem sido as mesmas.

Brand *et al.* (2002), em pesquisa realizada no balanço de materiais no Brasil, descreveu um rendimento médio no desdobro de toras de *Pinus* sp próximo a 35%, sendo este inferior ao encontrado por outros autores na literatura, ficando evidente o baixo aproveitamento no processo.

Bonduelle *et al.* (2002) apontam que estudos nos Estados Unidos, durante a década de 50, concluíram que, a cada quatro árvores abatidas, o equivalente a menos de uma chegava ao consumidor sob forma de utilidades, e todo o resto não era utilizado, sendo que a justificativa apresentada era de que a América não precisava aproveitar todos os pedaços do tronco da árvore, pois ainda havia muita floresta disponível para exploração. Porém hoje o panorama é bem diferente e os norte-americanos chegam a ter um aproveitamento superior a 90% a partir da tora com casca. Considerando que o aproveitamento de uma tora de *Pinus* sp como produto serrado bruto é da ordem de 50%, pode-se dizer que pelo menos 40% devem ser utilizados para outros fins economicamente viáveis. O alto aproveitamento das empresas madeireiras norte-americanas mostra que a utilização de tecnologia avançada e a atenção voltada para a redução de desperdícios podem gerar beneficios significativos.

# Resíduos

A geração de resíduos nas indústrias de base florestal é uma conseqüência natural do processo de transformação da madeira e, se não tratada corretamente, em proporções médias ou elevadas pode comprometer os ecossistemas locais e regionais, causando grande impacto ao meio com danos de difícil reparação.

A conversão de toras em tábuas, pranchas, vigas ou outras peças de madeira implica, necessariamente, a produção de uma quantidade maior ou menor de desperdício, segundo os fatores que influem no seu volume, como a natureza da matéria-prima, a eficiência das máquinas empregadas pela indústria e as exigências do mercado. Este último aspecto exerce influência nas quantidades relativas de madeira serrada de diversas espessuras e comprimentos solicitados, já que, por exemplo, a obtenção de tábuas mais finas requer maior quantidade de cortes, o que aumenta o desperdício em forma de serragem (ANUÁRIO BRASILEIRO DE ECONOMIA FLORESTAL, 1957).

Para DaCosta (2004), a serragem (ou pó de serra), formada por pequenas partículas de madeira, é o produto da passagem da serra de redução na tora, sendo em certos estados o resíduo de menor interesse para o mercado, por ser de elevada impureza, embora se apresente em maior volume nos pátios das serrarias. Os resíduos da indústria de transformação mecânica da madeira são considerados como um dos maiores problemas do setor florestal, não só pelos custos do seu armazenamento ou destino, mas também porque são causadores da contaminação ambiental (CONAF, 1995).

O processo de produção da madeira serrada gera um volume significativo de resíduos e sobras oriundas da transformação das toras pelas serras de desdobro que, somado aos galhos, troncos e raízes que ficam na floresta, indica um volume significativamente superior ao produto madeireiro obtido. Do ponto de vista econômico e ambiental, se justificariam programas envolvendo incentivos e facilidades para a instalação de linhas de aproveitamento dessas sobras e resíduos, desde a geração de energia a partir dessa biomassa até à obtenção de produtos com maior agregação de valor. O volume de resíduos gerados no processamento de toras de madeira pode ser expresso como a diferença entre o volume de madeira em toras que entra na serraria e o volume de madeira serrada produzida. A maior quantidade de resíduos é gerada quando do desdobro das toras, estimada em 50% do volume total processado (JARA, 1987).

O resíduo gerado em serrarias é uma importante matéria-prima em forma de partículas para a produção de polpa e produtos como chapas de partículas. É efetivamente usado como matéria-prima em plantas de produção de combustíveis de madeira e como cama para cultivo de cogumelos, sendo o restante consumido em queima direta. A casca é usada como matéria-prima para a produção de combustíveis de madeira, mas é parcialmente queimada sem aproveitamento energético ou abandonada (MIYAZAKI, 1989).

A possibilidade de utilização de sobras e resíduos de madeira na fabricação de painéis e chapas de madeira reconstituída serve para aumentar a sustentabilidade na utilização das florestas, especialmente das plantadas, servindo como insumo na produção madeireira (FAGUNDES, 2003).

Assim, o maior aproveitamento no processo produtivo, quando empregado o uso múltiplo dos recursos naturais, garante a redução de custos da matéria-prima, agregando-se valores aos multiprodutos gerados pela utilização alternativa dos resíduos, além de que, dessa forma, a parte ambiental também é significativamente contemplada, pois, segundo Yuba (2001), algumas das soluções adotadas entre as serrarias que não têm consumidores para os resíduos produzidos é a queima e a deposição irregular, que resultam em poluição do ar, solo e água, pelo desequilíbrio gerado.

# **MATERIAL E MÉTODOS**

Este estudo foi realizado na Serraria Fixa Patzyk, localizada no município de Irati (PR). Conforme a classificação de Rocha (2002), em função do consumo de toras ser inferior a 50 m³.dia⁻¹, ela é enquadrada como de pequeno porte, categoria que representa hoje 60% das serrarias brasileiras.

O processo de desdobro principal é realizado com uma serra-fita simples vertical, de lâmina larga, possuindo um carrinho como sistema de alimentação até o corte, sendo posteriormente feito o refilamento em uma serra circular simples e o destopamento com uma serra circular pendular. Assim como o processo de desdobro, o fluxograma do sistema produtivo é simples, sendo apresentado na figura 1.

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 em um maior rendimento no processo de conversão da tora em peças com geometria quadrada e retangular.

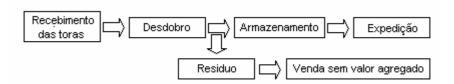


Figura 1. Fluxograma do Sistema Produtivo da Serraria Patzyk.

Figure 1. Flow chart of the productive system of the Patzyk sawmill.

A definição do número de classes de diâmetro foi feita utilizando-se a fórmula de Sturges, apresentada e discutida por Angelini e Milone (1993) 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:

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

onde: n = o número de observações disponíveis; Ln = logaritmo natural.

As toras eram oriundas de árvores plantadas e apresentavam comprimentos entre 3,5 e 4 metros. Foram escolhidas de forma aleatória no pátio da empresa e posteriormente classificadas em classes diamétricas, considerando-se a ponta de menor diâmetro, conforme apresentado na tabela 1.

Tabela 1. Número de toras e comprimento médio por classe de diâmetro.

Table 1. Number of logs and average lengths by diameter class.

Classes diamétricas	Número de	Comprimento médio
(cm)	toras	(m)
20 – 27,9	6	3,92
28 - 35,9	6	3,68
36 - 43,9	6	3,95
44 – 51,9	6	3,87
52 – 59,9	6	3,78
> 60	6	3,69
Total	36	3,82

O próximo passo foi a marcação dos pontos para a coleta dos diâmetros em posições relativas ao longo da tora, empregando a fórmula proposta por Smalian para a determinação do volume. A marcação foi realizada em quatorze posições relativas ao comprimento total da tora, sendo elas a 0,0%, 1%, 5%, 10%, 15%, 25%, 35%, 45%, 55%, 65%, 75%, 85%, 95% e a 100% do comprimento, segundo esquema de cubagem apresentado na figura 2.

Com todas as posições relativas calculadas e marcadas ao longo da tora, com o auxílio de uma suta foi realizada a medição dupla 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:

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

onde:

$$g_i = \frac{\pi \cdot d_i^2}{40000} \tag{3}$$

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

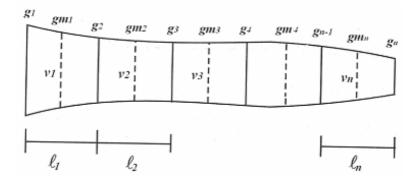


Figura 2. Esquema genérico para cubagem por *Smalian*, utilizando posições relativas ao longo da tora. Figure 2. Layout for volume calculation by *Smalian*.

No processo de desdobro, as dimensões das peças obtidas foram definidas de acordo com as características de cada tora, que variavam em diâmetro, conicidade, percentagem de casca e comprimento. Após o desdobro da tora, o produto resultante foi separado, sendo realizada a medição com o auxilio de trena e paquímetro, e posteriormente a cubagem de cada peça do material processado, esta obtida com seções de formatos quadrados e retangulares, o que facilitou o trabalho e aumentou a acuracidade na obtenção do volume do material processado. Com a soma das cubagens obteve-se o volume, caracterizado como rendimento (%), dado em m³.tora¹¹, por meio da fórmula (4).

Rendimento(%)= 
$$\left[1 - \left(\frac{VT-R}{VT}\right)\right] * 100$$
 (4)

onde: VT = Volume total da tora com casca (m³); R = Rendimento em m³.

Pela diferença entre o volume cubado em toras com casca e o volume cubado em toras sem casca, foi obtido o volume de casca por tora, sendo este posteriormente classificado em sua respectiva classe de diâmetro. Com a diferença entre os volumes das toras com e sem casca em relação ao volume aproveitado das toras, obteve-se o rendimento. O fator de conicidade foi definido relacionando a diferença entre os diâmetros das extremidades com o comprimento de cada tora com e sem casca, por meio da fórmula:

$$Conicidade(cm/m) = \frac{Dma - Dme}{Comprimento}$$

onde: Dma = diâmetro da ponta maior da tora (cm); Dme = diâmetro da ponta menor da tora (cm); Comprimento = comprimento da tora (m). A homogeneidade das variâncias do rendimento para as toras com e sem casca foi testada aplicando-se o teste de Bartlett, que mostrou haver homogeneidade entre as variâncias de cada classe de diâmetro. A seguir 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, no nível de 5% de probabilidade.

## **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### Rendimento das toras

A porcentagem de aproveitamento variou entre toras e entre classes de diâmetro, sendo os resultados crescentes da menor para a maior classe. A tabela 2 apresenta as porcentagens de aproveitamento de madeira serrada em função da tora com casca.

Tabela 2. Porcentagem de aproveitamento de madeira serrada em função da tora com casca.

Table 2. Degree of sowed wood use of logs with bark.

Classe (cm)	Volume de tora (m³)	Volume madeira (m³)	Desvio Padrão	Aproveitamento (%)
20 - 27,9	0,91267	0,34438	5,11908	37,73
28 - 35,9	1,42930	0,60916	9,95141	42,62
36 - 43,9	2,22450	1,07537	11,51657	48,34
44 - 51,9	3,77984	1,49414	12,66288	39,53
52 - 59,9	3,94857	1,97320	6,00362	49,97
> 60	6,03924	3,09050	2,72626	51,17
Média	3,05568	1,43112	7,99664	44,89

De acordo com os resultados encontrados e apresentados na tabela 2, a porcentagem média de aproveitamento para toras com casca foi de 44,9%, com conseqüente perda média de 55,1%, o que representa um custo significativo na etapa de transporte, pois mais da metade do material transportado não foi transformado em madeira serrada.

Segundo Miranda *et al.* (2002a), a casca, quando agregada com a madeira, pode representar problemas econômicos para as empresas, uma vez que seu volume implica custos de colheita e transporte, além de outros.

A figura 3 apresenta os volumes cubados das toras com casca e seus respectivos rendimentos, por classe diamétrica.

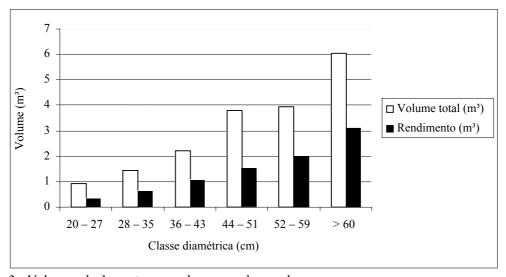


Figura 3. Volume cubado em toras e volume serrado por classe.

Figure 3. Log and sawed volumes by diameter class.

A tabela 3 apresenta o percentual de aproveitamento de madeira serrada em função da tora sem casca, e considerando que a aquisição das toras é feita com casca, isso representa um maior custo no processo, pois, em média, a casca corresponde a aproximadamente 17,68% do volume total, superior ao encontrado por Miranda *et al.* (2002a-b) e Paula Neto *et al.* (1991) em estudos com o gênero *Eucalyptus*, sendo que este volume não será agregado ao produto serrado, podendo ser comercializado como biomassa para geração de energia, porém com valor reduzido.

Tabela 3. Percentual de aproveitamento de madeira serrada em função da tora sem casca.

Table 3	Degree of sawed	wood use of logs	without brack
raute 3.	Dogree or sawed	wood use of logs	williout brack.

Classe (cm)	Volume de tora (m³)	Volume madeira (m³)	Desvio Padrão	Aproveitamento (%)
20 - 27,9	0,64898	0,34438	5,77092	53,06
28 - 35,9	0,97919	0,60916	10,43123	62,21
36 - 43,9	1,55543	1,07537	7,52571	69,14
44 - 51,9	2,91103	1,49414	15,31858	51,33
52 - 59,9	2,84527	1,97320	6,97556	69,35
> 60	4,38988	3,09050	5,10859	70,40
Média	2,22163	1,431125	8,52176	62,58

Os resultados obtidos e descritos na tabela 3 mostram uma porcentagem média de aproveitamento para toras sem casca de 62,58%, com conseqüente perda média de 37,42%. Este percentual de aproveitamento apresenta-se superior ao encontrado no desdobro de outras espécies florestais por Polzl (2003), entre 40%–45%, Souza (1997) com 35% a 45% e Borges *et al.* (1993) de 52,3%, entre outros.

Constatou-se a necessidade do desdobro de 2,228 m³ de toras com casca, ou 1,598 m³ de toras sem casca, para se obter o rendimento de um metro cúbico de madeira serrada, sendo a produção de resíduos para toras com casca de 1,228 m³ e de 0,598 m³, para toras sem casca.

Brand (2002), estudando o rendimento no processo de desdobro de toras de *Pinus* sp em uma serraria com alto nível de automação, constatou que são necessários 2,62 m³ de toras com casca para a produção de um metro cúbico de madeira serrada seca e classificada, evidenciando a produção de 1,62 m³ de resíduos no processo. Estudo desenvolvido no Brasil por Olandoski *et al.* (1997), em uma serraria com as mesmas técnicas convencionais de desdobro de toras, também se mostrou inferior, com 49% para o gênero *Pinus*.

A figura 4 apresenta o volume cubado das toras sem casca e o volume da madeira serrada por classe diamétrica.

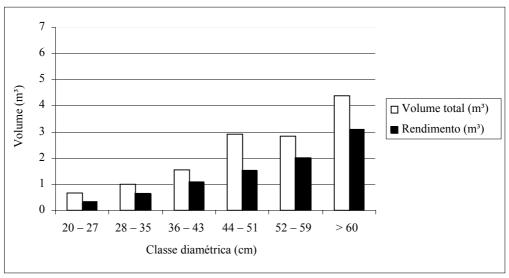


Figura 4. Volume cubado em toras sem casca e volume serrado por classe diamétrica.

Figure 4. Log and sawed volumes without bark by diameter class.

Os percentuais de aproveitamento, resíduo e casca em relação ao volume total de toras em cada classe diamétrica são mostrados na figura 5.

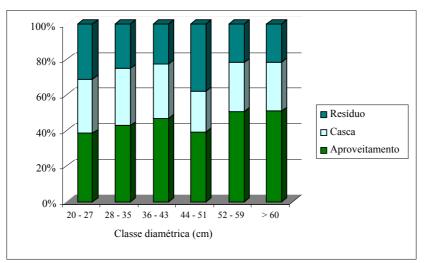


Figura 5. Percentuais de aproveitamento, resíduos e casca em relação ao volume total em toras.

Figure 5. Degree of use (percentage), residues and bark in relation to total log volume.

A relação entre diâmetro e rendimento indica que a classe com pior desempenho foi a que apresenta diâmetros entre 44-55, e as classes que proporcionam os melhores rendimentos no processamento de toras foram as de 36-43 e maiores que 60 cm.

Observou-se que o volume de casca é crescente no sentido da classe de menor diâmetro para a de maior diâmetro, característica natural, resultante do aumento no perímetro das toras, visto que, percentualmente não se observa esta tendência de aumento, conforme apresenta a tabela 4. O volume de casca apresenta correlação de 93% com o diâmetro menor, 92% com o diâmetro maior e 91% com o rendimento do processo de desdobro, podendo ser estimado com boa confiabilidade por meio de equação, utilizando-se como variável independente os diâmetros das extremidades da tora.

Tabela 4. Volume médio de casca de *Araucaria angustifolia* por classe diamétrica, com comprimentos entre 3,5 e 4 m.

Table 4. Average bark volume of *Araucaria angustifolia* by diameter class, with lengths betrocar 3,5 and 4,0 m.

Classe de diâmetro (cm)	Volume de casca (m³)	Volume de casca (%)
20 – 27,9	0,044	4,82
28 - 35,9	0,075	5,25
36 - 43,9	0,112	5,03
44 – 51,9	0,145	3,84
52 – 59,9	0,180	4,56
> 60	0,275	4,55
Média	0,1385	4,68

Para Grosser (1980), a conicidade é a diminuição do diâmetro do tronco, da base para a copa da árvore, que sofre influência ambiental, principalmente do espaçamento, podendo influenciar no rendimento de madeira serrada. Purnell (1988) complementa afirmando que a conicidade varia de espécie para espécie, diminui com a idade da planta e sofre pouca influência genética, sendo maior na primeira tora, isto é, na base da árvore.

No presente trabalho, observou-se que a conicidade apresentou-se crescente em relação ao aumento do diâmetro das classes, concordando com os autores citados anteriormente, como mostra a figura 6.

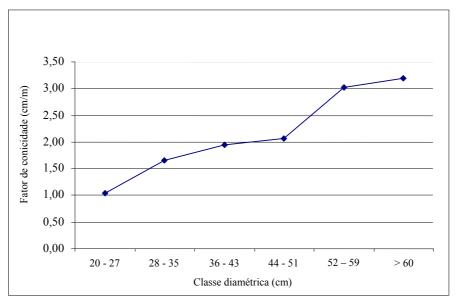


Figura 6. Fator de conicidade por classe diamétrica.

Figure 6. Conicity factor by diameter class.

A conicidade mostrou-se crescente da menor para a maior classe de diâmetro, influenciando no rendimento individual de cada tora serrada da classe, mas não no rendimento médio desta, o qual apresentou-se crescente no sentido das classes de maior diâmetro.

Segundo Grosser (1980), a conicidade influencia o rendimento em madeira serrada somente quando apresenta valores superiores a 1 cm/m para o diâmetro ou 3 cm/m para a circunferência da tora. Com base nisso pode-se concluir que todas as toras de *Araucaria angustifolia* desdobradas tiveram influência desse fator no rendimento, conforme apresenta a tabela 5.

Tabela 5. Fator de conicidade médio por classe diamétrica para toras com e sem casca. Table 5. Average conicity factor by diameter class for logs with and without bark.

Classo (am)	Fator de conicidade médio (cm/m)		
Classe (cm)	Toras sem casca	Toras com casca	
20 – 27,9	1,04245	1,28978	
28 - 35,9	1,66276	1,81452	
36 - 43,9	1,95107	2,24298	
44 – 51,9	2,07379	2,51172	
52 - 59,9	3,01514	3,41909	
> 60	3,19326	3,53415	
Conicidade média	2,15641	2,46871	

Assim, a conicidade média para toras com e sem casca foi de 2,31255 cm/m, com amplitude de 0,36585 a 5,03761 cm/m. A conicidade das toras com casca apresentou amplitude de 0,24390 a 5,12195 cm/m, enquanto as toras sem casca apresentaram amplitude de 0,29412 a 5,03731 cm/m. A correlação entre a conicidade de toras sem casca e o rendimento mostrou-se próxima aos 20%, baixa se comparada com a correlação dos diâmetros (93%), porém altamente significativa.

Verificou-se que a classe de diâmetro, a conicidade, a espessura de casca e o menor diâmetro são características naturais da tora que influenciam diretamente ou de alguma forma no rendimento durante o processo de desdobro em serrarias, sendo alguns desses fatores já descritos por autores como Rocha (2002), Scarnavaca Júnior e Garcia (2003), entre outros.

A homogeneidade das variâncias das toras com casca por classe de diâmetro foi testada pelo teste de Bartlett, que revelou serem as variâncias homogêneas. A análise de variância (ANOVA) revelou existirem diferenças estatisticamente significativas, no nível de 95% de probabilidade, entre as classes diamétricas analisadas. Os resultados do teste de Duncan são apresentados na tabela 6.

Tabela 6. Comparação entre as medias das classes de toras com casca.

Table 6. Comparison among averages of log yield by diameter oner bark.

Classes de diâmetro (cm)	Rendimento médi (%)	io
> 60	51,17 a	
52 – 59,9	49,97 ab	
36 - 43,9	48,34 abc	
28 - 35,9	42,62 abc	
44 – 51,9	39,53 c	
20 - 27,9	37,73 c	

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan no nível de 95% de probabilidade

O teste de Bartlett revelou que as variâncias das classes diamétricas para as toras sem casca também foram homogêneas, no nível de 99% de probabilidade. A análise de variância (ANOVA) revelou existirem diferenças estatisticamente significativas, no nível de 95% de probabilidade, entre as classes diamétricas analisadas. As médias das classes de diâmetro foram comparadas pelo teste de Duncan, cujos resultados são apresentados na tabela 7.

Tabela 7. Comparação entre as médias das classes de toras sem casca.

Table 7. Comparison among averages of log yield without bark.

Classes de diâmetro (cm)	Rendimento médio (%)
> 60	70,40 a
52 – 59,9	69,35 ab
36 - 43,9	69,14 abc
28 - 35,9	62,21 abcd
20 - 27,9	53,06 de
44 – 51,9	51,33 e

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan no nível de 95% de probabilidade.

O rendimento das toras de diâmetros menores, entre 28 e 43 cm, não difere estaticamente do rendimento das toras de classes de diâmetros maiores que 52 cm. Através do processamento de toras de classes pequenas de diâmetros, pode-se obter rendimento igual ao de toras de grandes diâmetros. Assim, justifica-se a aquisição de toras de pequenos diâmetros, devido a estas apresentarem menor valor de mercado, reduzindo os custos com matéria-prima.

## **CONCLUSÕES**

- O percentual de aproveitamento em relação às toras com casca foi em média de 44,99%, e o aproveitamento médio em relação às toras cubadas sem casca foi de 62,6%. O maior rendimento de madeira serrada foi obtido na classe de diâmetros maiores que 60 cm, sendo de 51,0% para toras com casca e de 70,5% para toras sem casca.
- O rendimento no processo de desdobro de *Araucaria angustifolia* para toras com e sem casca apresenta-se em média correlação de 91,0% com o diâmetro maior e de 93,0% com o diâmetro menor das toras industrializadas, sendo inversamente correlacionado em 84% com os resíduos.
- Observou-se que em média 17,7% do volume total das toras é representado por casca, que não é aproveitada na industrialização, porém com potencial de utilização em outros usos.
- São poucos os estudos relacionados com o rendimento e a geração de resíduos no processo de desdobro com espécies nativas, o que inviabiliza maiores comparações. Porém, abre-se uma lacuna de grande interesse científico e caráter econômico sobre a potencialidade da flora brasileira.
- A aplicação de métodos silviculturais voltados à produção de toras para serraria pode garantir melhor rendimento no processo de desdobro, pois fatores como conicidade, comprimento, nodosidade e diâmetro da tora podem ser adaptados e melhorados para a otimização na serraria.

### REFERÊNCIAS

- ANGELINI, F.; MILONE, G. Estatística Geral. São Paulo: Atlas, 1993. 206 p.
- ANUÁRIO BRASILEIRO DE ECONOMIA FLORESTAL. Aproveitamento dos resíduos de serraria. Rio de Janeiro: Instituto Nacional do Pinho, v. 9, p 97-98. 1957.
- BONDUELLE, A.; YAMAJI, F.; BORGES, C. C. Resíduo de Pinus: uma fonte para novos produtos. **Revista da Madeira**, Curitiba, n. 68, p. 156 158, 2002. Especial.
- BORGES, A. S.; GINIGLIO, G.; BRITO, J. O. Considerações energéticas e econômicas sobre resíduos de madeira processada em serraria. In: CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1., 1993, Curitiba; CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7. 1993, Curitiba. **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 1993. v. 3. p. 603-606.
- BRAND, M. A.; MUÑIZ, G. I. B.; DA SILVA, D. A.; KLOCK, U. Caracterização do rendimento e quantificação dos resíduos gerados em serraria através do balanço de materiais. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 32, n. 2, p. 247-259, 2002.
- CONAF. Pellets de aserrín. Combustible Del futuro. Chile Forestal, Santiago, n. 53. p. 5-7, 1995.
- DACOSTA, L. P. E. Utilização de resíduos do processamento mecânico da madeira para fabricação de chapas de partículas aglomeradas. 118 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria. 2004.
- FERREIRA, C. E. M.; CARRASCO, E. V. M.; HELMEISTER, J. C. Tecnologia de adesivos poliuretanos: propriedades e aplicações em madeiras. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E ESTRUTURAS DE MADEIRAS, 3., 1989, São Carlos. **Anais...** São Carlos: LaMEM/EESC-USP, 1989. p. 39 74.
- GROSSER, D. Defeitos da madeira. **Série Técnica.** FUPEF, Curitiba, n. 2, p. 1 62, 1980.
- JARA, E. R. P. A geração de resíduos pelas serrarias. São Paulo: IPT, 1987. (Boletim ABNT, n. 59).
- LEITE, P. F. As diferentes unidades fitoecológicas da Região Sul do Brasil: proposta de classificação. 160 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1994.
- MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. Dendrometria. Curitiba, 2003. 309 p.
- MIRANDA, G. M.; DA SILVA, M. L.; MACHADO, C. C.; LEITE, H. G. Contribuição da casca na composição do custo de transporte da madeira de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 26, n. 2, p. 145-148, 2002a.
- MIRANDA, G. M.; DA SILVA, M. L.; LEITE, H. G.; MACHADO, C. C.; Estimativa do custo de reposição dos nutrientes exportados pela colheita da casca da madeira em povoamentos de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 26, n. 2, p. 149-156, 2002b.
- MIYAZAKI, M. Forestry products and waste. In: KITANI, O.; HALL, C. W. (Eds.). **Biomass Handbook**. New York: Gordon and Breach Science Publishers. USA, 1989. p. 160-170.
- OLANDOSKI, D. P.; BRAND, M. A.; GORNIAK, E. Avaliação do rendimento, quantidade, qualidade e aproveitamento de resíduos no desdobro de Pinus spp. EVENTO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFPR, 5., 1997, Curitiba. **Anais**... Curitiba: UFPR / PROGRAD, 1997. p. 379.
- PAULA NETO, F.; NUNES, J. R. S.; CAMPOS, J. C. C.; DO VALE, A. B. Análise do volume de casca de reflorestamentos de Eucalipto de diferentes idades, condições de local, espécies e métodos de regeneração. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 15, n. 1, p. 55-65, 1991.
- POLZL, W. B.; DOS SANTOS, A. J.; TIMOFEICZYK JR, R.; POLZL, P. K. Cadeia produtiva do processamento mecânico da madeira segmento da madeira serrada no estado do Paraná. **Floresta**, Curitiba, v. 33, n. 2, p. 127-134, 2003.

PURNELL, R. C. Variation in wood properties of Eucaliptus nitiens in a provenance trial on the eastern transvaal highveld in south Africa. **South African Forestry Journal**, Pretoria n. 144, p. 10 – 22, 1988.

REGALADO, C.; KLINE, D. E.; ARAMAS, P. A. "Optimum edging and trimming of hardwood lumber" **Forest Products Journal**, Madison, v. 42, p. 8 -14, 1992.

ROCHA, M. P. **Técnicas e planejamento em serrarias**. Ed. rev. ampl. Curitiba: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 2002.121 p.

RODERJAN, C. V.; GALVÃO, F.; KUNIYOSHI, Y. S.; HATSCHBACH, G. G. As unidades fitogeográficas do Estado do Paraná; **Ciência e Ambiente**, Santa Maria, n. 24; p. 75-92, 2002.

SCARNAVACA JUNIOR, L.; GARCIA, J. N. Rendimento em madeira serrada de *Eucaliptus uroplhylla*. **Scientia Forestalis**, São Paulo, n. 63, p. 32-43, 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: EMBRAPA-Florestas, 1997. p. 49-70.

STEELE, P. H. Factors determining lumber recovery in sawmilling. Madison: US. Forest Service. 1984, 8 p. (General Technical Report. FPL, n. 39).

SUDAM. Centro de Tecnologia da Madeira. **Rendimento em serraria de trinta espécies de madeiras amazônicas**. Belém, 1981. 186 p.

TOMASELLI, I. Tecnologia da madeira no Brasil – evolução e perspectivas. **Ciência e Ambiente**, Santa Maria, n. 20, p. 101 – 112, 2000.

WADE, M. W.; BULLARD, S. H.; STEELE, P. H.; ARAMAN, P. A. Estimating hardwoord sawmil conversion efficiency based on sawing machine and log characteristics. **Forest Products Journal**, Madison, v. 42. n. 11/12. p. 21-26, 1992.

YUBA, A. N. Cadeia produtiva da madeira serrada de Eucalipto para produção sustentável de habitações. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001