

CARACTERIZAÇÃO DO RENDIMENTO E QUANTIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS GERADOS EM SERRARIA ATRAVÉS DO BALANÇO DE MATERIAIS

Martha Andreia Brand¹
Graciela Inês Bolzon de Muñiz²
Dimas Agostinho da Silva²
Umberto Klock²

RESUMO

Este trabalho objetivou a caracterização do rendimento e quantificação dos resíduos gerados em uma serraria, sendo desenvolvido na Empresa Battistella Indústria e Comércio Ltda. (Rio Negrinho, SC), composta por uma laminadora, serraria e manufatura de painéis. Foram realizadas visitas e elaborados questionários para avaliação dos dados existentes, que foram distribuídos em uma série histórica, desde janeiro de 1998 a julho de 1999. As determinações foram feitas com base no balanço de materiais. Foi elaborado um fluxograma da linha produtiva, de onde se pôde obter os valores do rendimento do desdobro (34,87%), da secagem (81,88%) e da classificação da madeira (86,42%). O rendimento geral foi de 38,62% e o consumo de matéria-prima foi de 2,62 m³ de toras com casca/m³ de madeira serrada seca e classificada. Daí conclui-se que o rendimento do desdobro é baixo, bem inferior ou encontrado em literatura; o rendimento geral está mais próximo de valores já publicados; o resíduo tem grande potencialidade de utilização devido a separação do mesmo durante o processo produtivo e o estabelecimento do fator de conversão de toras em madeira serrada possibilita o planejamento do volume de matéria-prima necessário para o desdobro e do volume de resíduo gerado em um período pré-estabelecido. Palavras chave: serraria, processo produtivo, balanço de materiais, rendimento

YIELD AND WASTE PRODUCTION CHARACTERIZATION IN SAWMILL THROUGH MATERIAL BALANCE

ABSTRACT

This paper is an attempt to characterize the yield and wood waste produced during the productive process of one of the sawmill, located in Rio Negrinho, Santa Catarina, Brazil (Battistella Indústria e Comércio Ltda.). The data analysis was carried out based on the material balance and on the production yield. The study pointed out the following results: unroll yield (34,87%); drying (81,88%); lumber classification (86,42%); general yield (38,62%) although low, it is in accordance with normal values; consumption of raw material of 2,62 m³ of logs with bark/m³ of lumber. The result also indicate that the wood waste has potenciality to utilization because it is separated during the process and the conversion factor of the log in lumber is very important to the development of the activities.

Key-words: lumber, material balance, sawmill, yield

INTRODUÇÃO

As indústrias de base florestal têm baixo rendimento e geram grande quantidade de resíduos no processo produtivo, principalmente as indústrias de transformação primária. O aumento progressivo da quantidade de madeira desdobrada tem revelado problemas como o crescimento do consumo da matéria-prima madeira, em um

momento que o mercado apresenta diminuição de oferta da mesma, além da disponibilização de quantidades ainda maiores de resíduos, que muitas vezes não tem utilização na indústria, onde os mesmos foram gerados.

Aliado a isto, a disponibilização dos resíduos sem uma destinação adequada gera graves problemas ambientais como o

¹ martha@uniplac.rct-sc.br. Eng^o Florestal, M.Sc., Prof.^a Dpto de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIPLAC

² gmunize@ufpr.br; dimass@floresta.ufpr.br; klockuer@floresta.ufpr.br. Eng^o Florestal, Prof. Dpto de Eng. e Tecnologia Florestal, UFPR

assoreamento e poluição dos rios, poluição do ar devido a queima para a eliminação dos mesmos, utilização de áreas para o armazenamento deste material que poderiam ser destinadas para outros fins, e o desperdício da matéria-prima que entra na indústria.

A forma mais adequada do conhecimento necessário para a solução destes problemas passa pela caracterização do rendimento produtivo das indústrias, dos fatores geradores de resíduos, do volume e tipos de resíduos existentes, da sazonalidade de geração dos mesmos, além dos possíveis usos que podem ser dados a este material. Sendo assim, é fundamental a realização da análise de cada fase do processo produtivo, caracterizado pelo balanço de materiais e pela avaliação do rendimento. Nesta avaliação é possível diagnosticar todas as entradas e saídas do processo tendo como resposta à determinação das quantidades de produtos manufaturados e resíduos gerados.

Desta forma, este trabalho teve como objetivo caracterizar o rendimento e quantificar os resíduos gerados durante as fases do processo produtivo de uma serraria de grande porte, através do estabelecimento de uma metodologia que tenha como base à aplicação dos princípios do balanço de materiais e da fórmula clássica do rendimento.

REFERÊNCIAS

Métodos de determinação do rendimento da madeira serrada

Segundo Tuset & Duran (1979) existem basicamente dois modos de avaliar o rendimento na operação de desdobro. A primeira forma básica de medir o rendimento de madeira serrada é mediante o cálculo da produtividade em cada máquina e no conjunto dos equipamentos. A forma tradicional de expressar a produtividade de uma serra é em m³ de madeira serrada por hora ou m³ de madeira serrada por hora/homem.

É possível também se fazer uma “estimativa do rendimento de madeira serrada por tora”, que é significativamente relacionada ao coeficiente de transformação e em alguns casos é muito importante na comercialização de madeira roliça ou para cálculos complementares de inventários florestais.

Existem no mundo inúmeras fórmulas para a determinação desta estimativa e algumas das mais conhecidas são: cubagem em quarto sem dedução; cubagem em quarto deduzido; cubagem em sexto deduzido; cubagem em quarto não deduzido em pés; cubagem Hopuus, etc.

A segunda forma de determinação do rendimento, também citada por Rocha (1999), é a determinação do coeficiente de transformação ou fator de rendimento, que é a relação entre o volume de madeira serrada que se obtém e o volume de toras que são usadas para o processamento. Esta unidade pode ser expressa em unidade métrica e em pés, e em ambos os casos o coeficiente é dado em porcentagem. Assim:

$$\text{Coeficiente de transformação} = \frac{\text{m}^3 \text{ de madeira serrada} \times 100}{\text{m}^3 \text{ de madeira em toras}}$$

Rocha (1999) considera ainda que, além da essência que está sendo desdobrada, outros fatores afetam o rendimento como a qualidade dos povoamentos de onde as árvores são provenientes, os equipamentos e técnicas utilizados no desdobro e a qualidade profissional dos operários.

O trabalho aqui proposto apresentado utilizou a segunda forma de determinação do rendimento para atender os objetivos propostos, adequando a fórmula às diferentes etapas do processo produtivo.

Resíduos na indústria de base florestal

Segundo C.T. Donovan Associates INC. (1990), os resíduos madeiráveis podem ser divididos em três categorias. A primeira é composta por resíduos silviculturais, também denominados como a madeira resultante da operação de colheita ou resíduos de biomassa. Consistem de árvores inteiras transformadas em partículas (cavacos); copa, galhos e ramos produzidos durante o manejo e práticas de transformação da árvore em toras.

A segunda categoria é composta por resíduos de conversões “*in situ*”, que consistem de árvores inteiras transformadas em partículas; copas, galhos e ramos obtidos de conversões localizadas em rodovias, casas, comércios, indústrias e outras atividades desenvolvidas com a utilização de madeira.

A última é composta por resíduos de

madeira, definidos como resíduos industriais, que incluem casca, partículas, destopos, serragem e restos gerados como resíduo das indústrias primária e secundária de produtos de madeira e outras indústrias, comércios e atividades residenciais.

Hoop *et al* (1997) concorda com o autor anterior na definição dos resíduos industriais de madeira e reforça que a disponibilização deste material acarreta problemas de poluição do ar e da água, sendo que uma solução comum de gerenciamento do resíduo é através do uso do mesmo como combustível.

Considerando que os resíduos madeiráveis industriais são muito heterogêneos, em termos de formas e características físicas, são gerados em diferentes locais dentro da indústria e que a quantidade disponibilizada é um dos fatores que determinam sua potencialidade de uso, é muito importante à avaliação da potencialidade da indústria em termos de geração e utilização dos mesmos.

Outro fator importante na análise dos resíduos é a questão econômica para a determinação dos custos da falta de utilização e necessidade de alocação e os benefícios da utilização.

Geração de resíduos na indústria

A conversão de toras em tábuas, pranchas, vigas ou outras peças de madeira implica, necessariamente, na 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 através das 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).

Estimativas grosseiras dos resíduos disponíveis podem ser feitas através das áreas florestais produtivas, da sua produção primária e do grau de rendimento. Para os resíduos nas diferentes indústrias madeireiras, a disponibilidade pode ser determinada diretamente das estatísticas disponíveis ou pela relação *input* matéria-prima/*output* produtos

(Patzak, 1977), ou ainda pela diferença entre a quantidade de matéria-prima que entra e a quantidade de produto que sai do processo, sendo este último o princípio do balanço de materiais.

Aproveitamento dos resíduos industriais

Os resíduos florestais ou madeiráveis, além de serem utilizados para a geração de energia de diversas formas como queima direta, briquetes de madeira, carvão, briquetes de carvão e *pellets*, pode também ser utilizados de várias outras maneiras como na fabricação de pequenos objetos e utensílios tais como brinquedos, artigos de copa/cozinha, cabos de ferramentas, artigos desportivos, decorativos e de recreação; produção de chapas de partículas de diferentes composições; cama para aviários, currais e estábulos; compostagem para adubação e complementos orgânicos para o solo; produção de fibras para diversos fins tais como chapas, isolamento termo-acústico, papel, papelão; produção de pacotes para contenção de encostas; obtenção de matéria-prima para a indústria de tintas, vernizes, corantes, adesivos, indústria alimentícia e solvente através da extração de voláteis, etc (Souza, 1997), ou ainda no paisagismo de jardins (National Association of Forest Industries, 1999).

As partículas de madeira ou resíduos que são utilizados para os usos anteriormente citados podem ser originários de muitas fontes, e entre elas as florestas nativas, plantações e resíduos de serrarias (National Association of Forest Industries, 1999).

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, como cama para cultivo de cogumelos, e o restante é consumido em queima direta. A casca é usada como matéria-prima para produção de combustíveis de madeira, mas é parcialmente queimada sem aproveitamento energético ou abandonada (Miyazaki, 1989).

Produção de resíduos nas indústrias de processamento primário da madeira

As indústrias de processamento primário da madeira são empresas que usam a tora inteira para gerar produtos como pranchas

e vigas. Os produtos são industrializados depois que as toras são desgalhadas, destopadas e serradas. Baseado nesta definição, os resíduos produzidos por estas indústrias são considerados sólidos, não necessitando assim de manuseio especial ou equipamentos para isso. Os mesmos são produzidos em grande quantidade durante os processos de manufatura e podem ser classificados em partículas,

Tabela 1: Produção de resíduos em serrarias de coníferas nos Estados Unidos e Brasil
Table 1: Production of wood waste in softwood sawmill in the United States and Brazil

País	Tipos de resíduos gerados (%)			
	Refilo	Destopo	Pó-de-lica e serragem	Casca e outros resíduos
EUA	14,40	1,60	8,50	6,70
Brasil	24,00	3,00	10,00	12,00

Fonte dos dados: Miyazaki (1989) E Olandoski *et al* (1997).

Através da tabela 1 pode-se perceber que quando a maior influência na geração de resíduos é dos equipamentos de corte (espessura dos dentes das serras) a diferença na quantidade de obtida entre os dois países não é tão acentuada. Porém, quando as operações dependem mais do treinamento dos operadores (refilo e destopo), e qualidade da matéria-prima (casca e outros resíduos), a quantidade

serragem, casca, refilos e destopos, e uma variação de combinações destes (C.T.Donovan Associates Inc, 1990).

A tabela 1 apresenta uma comparação entre os resultados obtidos por Miyazaki (1989) e Olandoski *et al* (1997) em serrarias que desdobram madeiras de coníferas, respectivamente nos Estados Unidos e Brasil.

de resíduos no Brasil pode chegar ao dobro dos Estados Unidos.

Nesta linha de pesquisa, Kock (1976) foi além, pois quantificou os resíduos gerados na manufatura de madeira serrada aplainada de coníferas para uso em construção de casas e qualificou os resíduos para usos potenciais, como pode ser observado na figura 1.

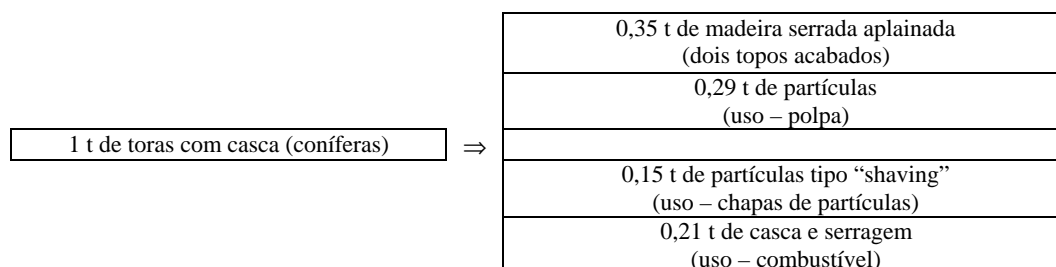


Figura 1: Fluxograma do rendimento em madeira serrada aplainada a partir de toras com casca (madeira de coníferas) (fonte dos dados: Kock (1976))

Figure 1: Lumber yield taken from log with bark (Softwood) (Kock (1976))

De maneira geral, para a manufatura de uma tonelada seca de madeira de conífera serrada são necessárias 2,86 toneladas secas de toras com casca Kock (1976).

MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido na Empresa Battistella Indústria e Comércio Ltda, localizada na região norte do Estado de Santa Catarina. As instalações industriais estão situadas à margem direita da rodovia BR 280, Km 133, aproximadamente 10 km da cidade de Rio Negrinho.

Devido a diversidade de produtos, a indústria é composta por uma laminadora e uma

serraria que são responsáveis pela produção de lâminas e madeira serrada destinadas à venda ou como matéria-prima para o setor de painéis laminados e sarrafeados. Além destes, existe um setor responsável pela geração de energia térmica e elétrica que supre as necessidades do processo produtivo.

A indústria utiliza somente madeira de florestas plantadas, e a matéria-prima restringe-se à madeira de espécies do gênero *Pinus*, principalmente *Pinus taeda* L. e *Pinus elliottii* var. *elliottii* Engelm.

Como mencionado, apesar da indústria ser composta por vários setores produtivos, este

trabalho limitou-se a avaliação do rendimento e quantificação dos resíduos gerados na serraria.

Descrição do processo produtivo

A serraria, na ocasião da coleta de dados, era composta por três linhas produtivas denominadas de Serraria de Tora Grossa (TG) com desdobro médio de 10.500 toneladas/mês de toras e duas Serrarias de Toras Finas com desdobro médio de 12.000 toneladas/mês de toras. O volume de madeira serrada produzido pelas serrarias é determinado pelas solicitações do setor comercial e pelas necessidades do setor de manufatura de painéis, porém é em média de 5000 m³/mês para a serraria de toras grossas e 4000 m³/mês para as serrarias de toras finas. Nas linhas produtivas, de forma geral, as bitolas serradas são 25, 32 e 38 mm de espessura.

A composição, em termos de equipamentos, das três linhas produtivas está representada na tabela 2.

A serraria de toras grossas desdobra toras com diâmetros entre 18 e 28 cm, sendo que os produtos desta linha produtivos são tábuas sem destopo que saem da última serra de fita quádrupla e tábuas destopadas e refiladas oriundas das serras de reaproveitamento.

Nas duas linhas de toras finas, os diâmetros são inferiores a 18 cm, e as costaneiras oriundas do processo, quando estão sem casca, são picadas e os cavacos vendidos para a fabricação de celulose.

A madeira serrada produzida nas serrarias é seca, classificada e vendida ou encaminhada para a fabricação de painéis sarrafeados.

O resíduo produzido durante o processo é captado por correias transportadoras localizadas em um piso inferior em cada ponto de geração de resíduos e encaminhado para o pátio de cavacos da caldeira, para a queima e geração de energia térmica e elétrica.

Tabela 2: Equipamentos e atividades componentes da serraria

Table 2: Sawmill equipment and activities

Serraria de Toras Grossas (TG)		
Equipamento ou atividade	Quantidade	Descrição
Serra de fita dupla	01	Primeira serra de desdobro. Retira duas costaneiras
Serra de fita simples	03	Uma serra de fita de 3 ^a face (retirada da terceira costaneira) e duas serras de fita de reaproveitamento
Serra de fita quádrupla	02	Última serra de desdobro. Obtenção de tábuas
Serra circular dupla	01	Refilo das tábuas de reaproveitamento
Serra circular pendular	02	Destopo das tábuas de reaproveitamento
Setor de montagem de pilhas	01	Preparação das pilhas para secagem
Secador de madeira ¹	07	Secagem da madeira
Picador de tambor ²	01	Transformação dos resíduos da laminadora e serrarias em cavacos para geração de energia
Picador com rotor	01	Produção de cavacos, vendidos para celulose
Correia transportadora de resíduos ³	04	Coleta e transporte de resíduos gerados durante o processo de desdobro (TG e TFs)
Serrarias de Toras Finas (TFs)		
Descascador de tambor	01	Alimenta as duas serrarias com toras sem casca
Serra de fita dupla	02	Uma serra em cada serraria. Retirada de duas costaneiras
Serra circular múltipla de dois eixos	02	Uma em cada serraria. Obtenção de tábuas
Setor de montagem de pilhas	02	Uma em cada serraria. Preparação das pilhas para secagem

1: Os secadores atendem as três linhas de produção

2: Equipamentos utilizados tanto para atender as serrarias TG como TF

3: Ao final das linhas produtivas, as correias transportadoras das serrarias e laminadora convergem para uma correia que coleta todo o resíduo gerado e leva ao picador de tambor.

Coleta de dados

Para a avaliação da indústria foram inicialmente realizadas algumas visitas à empresa que tiveram como objetivo o conhecimento e descrição da cadeia produtiva e dos fatores geradores de resíduos. Ainda com base nas visitas, foram elaborados questionários para verificar a necessidade de coleta de dados em campo e a existência de dados da indústria que pudessem ser utilizados no trabalho.

Assim, foi determinado que os dados de escritório da indústria eram confiáveis e suficientes para o desenvolvimento do trabalho, devido a empresa manter registros diários e mensais dos volumes de entrada de matéria-prima e saída de produtos, com pouca variabilidade nos dados ou quando esta ocorria era rastreada e justificada. Além disso, o registro dos dados estava sendo feito a mais de quatro anos. A partir daí foi estabelecida uma série histórica com um intervalo de dados de

18 meses, desde janeiro de 1998 a julho de 1999.

Os dados obtidos em escritório constituíram-se em tabelas de:

- consumo e entrada de matéria-prima em todos os setores da indústria;
- compra de matéria-prima;
- produção;
- estoques;
- e vendas.

De posse destas planilhas, foram determinadas as etapas do processo produtivo que seriam analisadas e o que seria considerado como entradas e saídas no balanço de materiais. Na tabela 3 pode ser visualizado o modelo de planilha utilizado para a análise dos dados, onde foram tabulados os valores volumétricos de cada atividade do processo produtivo considerada (desdobro, secagem, classificação, perdas).

Tabela 3: Organização dos dados obtidos na empresa

Table 3: Organization of the data obtained in the sawmill studied

Atividade do processo produtivo	Consumo de matéria-prima (entrada) (m ³)	Compras (entrada) (m ³)	Produção (saída) (m ³)	Estoques (entrada) (m ³)	Venda (saída) (m ³)
Desdobro	Toras		Madeira serrada verde	Madeira serrada verde	Madeira serrada verde
Secagem	Madeira serrada verde	Madeira verde	Madeira serrada seca	Madeira serrada seca	Madeira serrada seca bruta
Classificação	Madeira serrada seca	Madeira seca	Madeira serrada classificada	Madeira serrada classificada	Madeira serrada classificada
Perdas			Casca, serragem, costaneiras, refilos e destopos	Resíduos verdes	Resíduos verdes (cavacos celulose)

Determinação do rendimento e quantificação dos resíduos no processo produtivo

O trabalho foi feito com base no princípio do balanço de materiais, que consiste na determinação de todas as entradas (matéria-prima, compra de materiais e estoques) e saídas (produtos intermediários e finais, vendas de produtos e resíduos) do processo produtivo industrial e também com base na relação entre a quantidade de produto que sai e quantidade de matéria-prima que entra no processo.

Sendo assim, o trabalho se constitui em uma mescla de balanço de materiais e análise de rendimento. Porém, para o balanço de materiais não foram considerados todos os insumos que entram na produção (adesivos,

resinas, etc), limitando-se apenas à avaliação da matéria-prima madeira, como pode ser observado nas relações de entradas e saídas do processo.

Outro aspecto que deve ser observado é o fato de serem consideradas na avaliação somente as operações que geram resíduos ou perdas. Além disso, como vendas (consideradas também como saídas), foram consideradas somente as realizadas durante as fases intermediárias do processo, ou seja, as vendas de madeira serrada verde e seca.

Equações do rendimento do processo produtivo e quantificação de resíduos

A elaboração de todas as equações utilizada no trabalho baseou-se no princípio do balanço de materiais e na análise do rendimento, ou seja:

Entrada – saída = resíduo gerado no processo (disponível para geração de energia)

Os valores de resíduos gerados referem-se somente ao montante disponível para geração de energia. Esta metodologia foi adotada porque a indústria em questão vende parte do resíduo gerado, e o excedente que fica na indústria é utilizado somente para a geração de energia.

Assim, nas equações de determinação da quantidade de resíduos gerados, os resíduos vendidos foram subtraídos do total de resíduos gerados.

Rendimento de cada operação do processo produtivo =

$$\frac{\text{volume de produto que sai do processo} \times 100}{\text{volume de matéria-prima que entra}}$$

As referidas equações estão representadas nas tabelas 4 e 5.

Tabela 4: Equações para a determinação do balanço de materiais

Table 4: Equations for material balance determination

Operação ou produto	Variáveis envolvidas	Equação
Desdobro (disponível para energia)	Resíduos do desdobro das toras = (volume de toras com casca que entram na serraria) - (volume de madeira serrada verde + volume de resíduos vendidos para celulose ¹)	$RD=TES-(MSV+RVC)$
Secagem ²	Perdas na secagem da madeira serrada = (volume de madeira serrada verde + estoque anterior de madeira verde + volume de madeira verde comprada) - (volume de madeira verde vendida + volume de madeira saída do secador)	$RSM=(MSV+EaMV+MVC)-(MVV+MSS)$
Classificação de madeira	Resíduos da classificação da madeira serrada = (volume de madeira saída do secador + estoque anterior de madeira seca + volume de madeira seca comprada) - (volume de madeira classificada + volume de madeira bruta vendida)	$RCM=(MSS+EaMS+MSC)-(MC+MBV)$
Madeira seca classificada	m^3 de resíduos/ m^3 de madeira seca classificada = (volume de toras com casca que entra no processo para a geração de $1 m^3$ de madeira seca classificada - $1 m^3$ de madeira seca classificada)	m^3 de resíduos/ m^3 de msc = $(TET / m^3 \text{ de msc} - 1 m^3 \text{ de msc})$

1 – Quando havia resíduos vendidos para celulose as toras entravam no processo descascadas, porém, o volume de cascas foi contabilizado no volume de resíduos, porque a casca do descascador vinha através de correias para a serraria e dali para o pátio de cavacos da caldeira.

2 – As perdas que ocorrem durante o processo de secagem são referentes a perda de água e de volume devido a contração (as perdas na secagem não foram contabilizadas no volume total de resíduos pois não se constituem como tal).

Tabela 5: Equações para a determinação do rendimento do processo produtivo
 Table 5: Equations for production yield determination

Operação ou produto	Variáveis envolvidas	Equação
Desdobro	Rendimento do desdobro das toras = (volume de madeira serrada verde/volume de toras que entram na serraria)x100.	$Rd = (MSV / TES) \times 100$
Secagem	Rendimento da secagem da madeira serrada = volume de madeira saída do secador/(volume de madeira serrada verde + estoque anterior de madeira verde + volume de madeira verde comprada – volume de madeira verde vendida)x100	$Rsm = MSS / (MSV + EaMV + MVC - MVV) \times 100$
Classificação de madeira serrada	Rendimento da classificação de madeira serrada = (volume de madeira classificada)/(volume de madeira saída do secador + estoque anterior de madeira seca + volume de madeira seca comprada – volume de madeira bruta vendida)x100	$Rcm = MC / (MSS + EaMS + MSC - MBV) \times 100$
Serraria (geral)	Rendimento geral da serraria = (volume de madeira classificada)/(volume de toras com casca que entram na serraria + volume de madeira verde comprada + volume de madeira seca comprada – volume de madeira verde vendida – volume de madeira seca bruta vendida)x100	$Rgs = (MC) / (TES + MVC + MSC - MVV - MBV) \times 100$
Madeira seca classificada	m^3 de toras para produção de madeira seca classificada = 100/rendimento geral da serraria	m^3 de toras para produção de msc = 100/Rgs

Elaboração dos fluxogramas do balanço de materiais

Para possibilitar a avaliação do balanço de materiais foi elaborado um fluxograma com base na linha produtiva da serraria.

O fluxograma se inicia com a entrada da matéria-prima no setor, que neste caso são toras com casca. A partir da entrada, a seqüência do processo é dada sempre pela atividade ou equipamento envolvido no processo produtivo (desdobro, secagem e classificação da madeira serrada).

A matéria-prima, após passagem pela atividade produtiva tem dois caminhos. O lado esquerdo do fluxograma é representado pela saída dos produtos e sua destinação (venda e/ou estoque), e o lado direito para a saída dos resíduos gerados durante o processo e sua destinação (venda e/ou geração de energia).

Cada item componente dos fluxogramas contém a média mensal do volume produzido do período (produto ou resíduo), representada pela letra “x”. Após a média mensal é colocado um valor percentual

correspondente ao rendimento da etapa produtiva imediatamente anterior aquele valor.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Caracterização do resíduo gerado na serraria

Na serraria de toras grossas o primeiro ponto de geração de resíduos foi na correia transportadora das toras para o carro da serra de fita dupla. Neste local, parte da casca das toras se solta e cai na primeira esteira transportadora da linha de produção. O segundo ponto é a própria serra de fita dupla, onde o principal resíduo é a serragem da retirada das costaneiras. As demais serras do processo de transformação, tanto da serraria de toras grossas com a de toras finas, também geram o mesmo tipo de resíduo (serragem). As serras de fita do reaproveitamento geram costaneiras com casca, após a retirada das tábuas, que através de correias transportadoras vão para o picador de tambor.

As serras circulares que fazem o refilo e o destopo das tábuas do reaproveitamento

geram peças retiradas no processo de determinação da largura e comprimentos finais das tábuas de aproveitamento (refilos e destopos).

Quando o descascador está em atividade, o resíduo gerado pelas costaneiras das linhas de toras finas não tem casca, sendo destinado para o picador com rotor que reduz o material em cavacos que são vendidos para celulose. Quando o descascador não está funcionando as costaneiras são picadas para a geração de energia.

A casca retirada das toras no descascador também é encaminhada para a primeira esteira da serraria, que leva o material para o pátio de cavacos da caldeira.

Determinação do rendimento e quantificação dos resíduos do processo produtivo

O fluxograma da figura 2 é composto por todas as entradas e saídas do processo produtivo de madeira serrada seca classificada.

Vale salientar que se observando o fluxograma da figura 2 alguns valores apresentados não correspondem às porcentagens relacionadas a eles. Porém, este fato é devido ao uso dos valores médios encontrados para o intervalo de tempo analisado. Esta observação serve também para as tabelas e figuras que aparecerão subsequentemente.

O balanço foi constituído a partir dos passos produtivos da serraria que são desdobro, secagem e classificação. A serraria é o setor da indústria com maior volume de resíduos gerados, devido ao grande volume de madeira processado e também ao baixo rendimento apresentado pela atividade de desdobro das toras.

Através da figura 2 pode-se perceber que de uma forma geral os valores de rendimento são baixos, tanto para o desdobro, como para a secagem e classificação de madeiras.

Assim, todo o resíduo produzido neste setor é verde (desdobro das toras), porém devido à separação do resíduo em correias transportadoras com destinos distintos, há grande potencial para a utilização ou venda dos resíduos para outros fins além da geração de energia.

A tabela 6 apresenta os valores de entrada de matéria-prima, saída de produtos e resíduos e rendimento de cada atividade do setor, além do rendimento geral do mesmo.

Para permitir melhor análise do valor de rendimento da serraria foi construída a tabela 7, na qual os valores obtidos na empresa foram comparados com valores de autores que realizaram trabalhos similares em indústrias de base florestal.

Tabela 6: Dados médios de cada processo da serraria durante o período avaliado (1998/1999)

Table 6: Medium data of each process in the sawmill, from 1998 to 1999

Operação	Entrada		Saída do Produto (m ³)		Saída de Resíduo (m ³)		Rendimento da Produção (%)	
	Matéria-prima (m ³)		Média	DP	Média	DP	Média	DP
	Média	DP						
Desdobro	25668,76	2136,76	8945,55	768,18	16723,21	1522,67	34,87	1,54
Secagem	12503,69	1183,84	10281,81	1102,93	2273,82	762,70	81,88	5,49
Classificação	11980,60	1373,13	10312,82	944,98	1667,79	774,65	86,42	5,13
Geral	25668,76	2136,76	10312,82	944,98	16723,21 ¹	774,65	38,62	4,29

DP = desvio padrão.

1 - A somatória geral dos resíduos não considerou a perdas da secagem (não são resíduos como anteriormente mencionado) e os resíduos da classificação de madeiras, pois esta atividade é realizada no setor de produção de painéis e o resíduo entra na contabilização daquele setor, para efeito de quantificação.

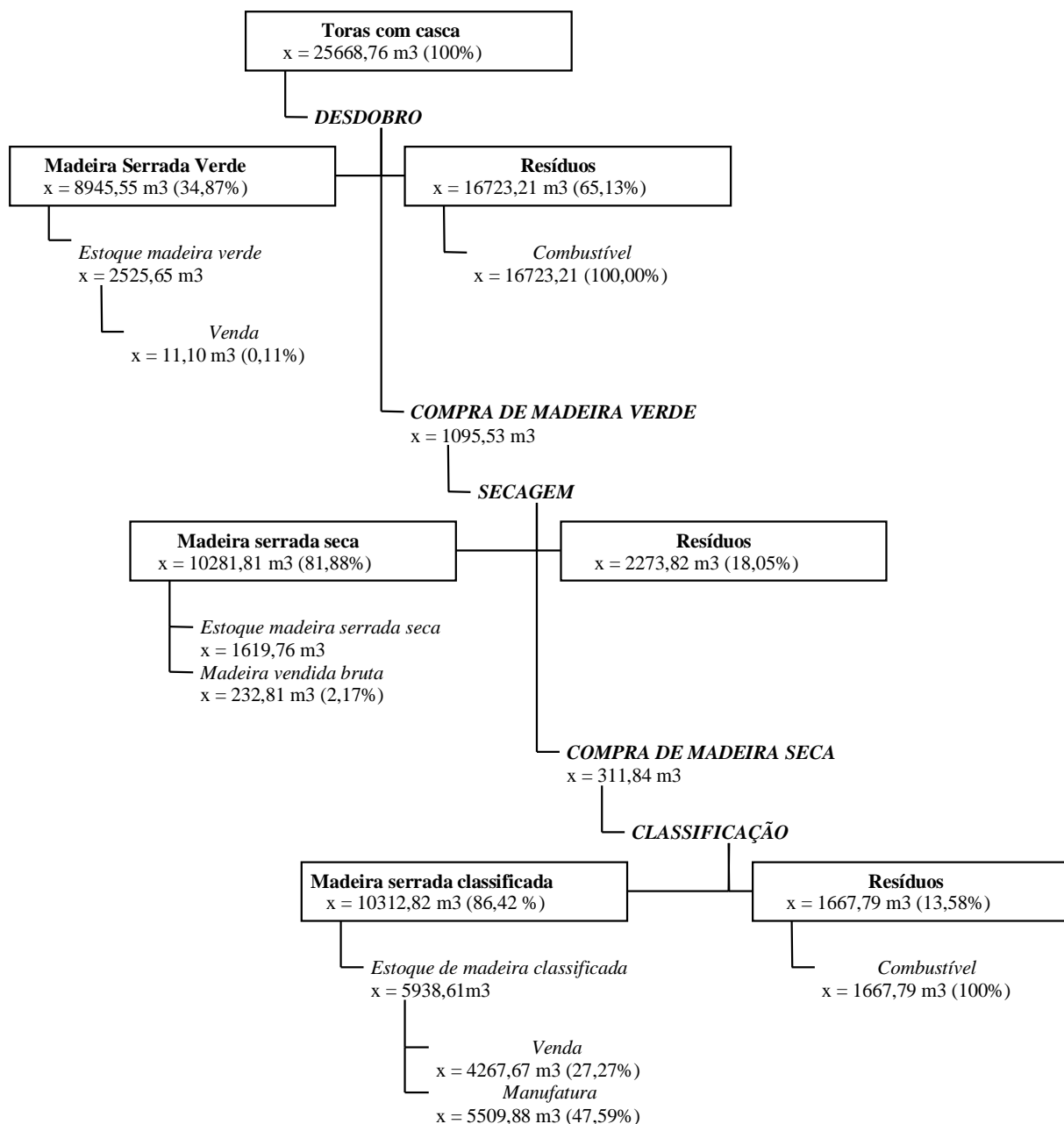


Figura 2: Fluxograma do balanço de materiais da serraria¹
 Figure 2: Sawmill material balance

¹ Como na entrada das toras na Serraria é determinado o diâmetro sem casca, para os cálculos de rendimento e geração de resíduos, bem como para a determinação do rendimento geral da serraria foi acrescido ao valor fornecido pela empresa, um valor correspondente a 12%, o que equivale em média a porcentagem de casca para o *Pinus*.

Tabela 7: Dados comparativos do rendimento da serraria
 Table 7: Comparative data of sawmill yield

	Madeira serrada verde	Madeira serrada seca classificada	% resíduos
<i>Serraria estudada</i>	34,87*	38,62	65,13* 61,38
BRITO (s/d)	-	42,34	57,66
KOCK (1976)	-	35,00	65,00
MIYAZAKI (1989)	68,80	-	31,2
OLANDOSKI <i>et al.</i> (1997)	49,00	-	51,00
BORGES (1993)	52,27	-	47,73

* Este valor considera somente o rendimento do desdobro.

Através da avaliação da tabela 7 pode-se perceber que os valores obtidos neste trabalho estão bem próximos dos obtidos por Brito (s/d) no Brasil, para madeira serrada seca e classificada e também aos dados de Kock (1976), que trabalhou com coníferas nos Estados Unidos. Para rendimento em madeira verde, os valores deste trabalho se aproximam mais ao encontrado por Olandoski *et al.* (1997), que também trabalharam no Brasil com desdobro de Pinus.

O rendimento em madeira verde deste trabalho apresentou-se menor provavelmente devido à técnica moderna de desdobro utilizada pela indústria. Por exemplo, no trabalho desenvolvido por Olandoski *et al.* (1997), foi utilizada a técnica convencional de desdobro (desdobro principal em serra-fita, refilo em serra circular de mesa e destopo em serra circular pendular), com grande variação nos diâmetros desdobrados, porém com tratamento individualizado para o desdobro de cada tora. Este fato conseqüentemente acarreta em rendimento maior. Porém, quando é incluída no cálculo, a secagem e classificação da madeira, a diferença diminui entre os autores estudados e o trabalho.

Com relação aos resíduos gerados na serraria, no período avaliado, todo o resíduo foi destinado para a geração de energia, sendo que ao final deste período estava sendo instalado um silo para a venda de parte do resíduo sem casca para indústrias de celulose. Neste sentido, Kock (1976) afirma que a quantidade de resíduos a ser destinado para a obtenção de celulose pode representar 29% da quantidade de matéria-prima que entra no processo.

Consumo de matéria-prima e quantidade de resíduo gerado por m³ de produto

Constatou-se que são necessários 2,62 m³ de toras com casca para a produção de 1 m³ de madeira serrada seca classificada. Portanto, existe a produção de 1,62 m³ de resíduos no processo.

Segundo Kock (1976), são necessárias 2,86 toneladas de toras secas com casca para a manufatura de 1 tonelada de madeira serrada seca.

Como a unidade de medida utilizada por este autor foi diferente da utilizada neste trabalho, foi feita uma transformação para a mesma unidade de medida (toneladas de toras secas/tonelada e madeira serrada seca) utilizando-se o valor da massa específica aparente básica para o Pinus de 415 kg/m³ (Klock *et al.*, 2000), e a massa específica aparente de 450 kg/cm³ (12% de umidade), usualmente utilizada como média para espécies de *Pinus*.

Utilizando-se a equação para determinação da massa específica, com estes valores de massa específica e o valor de consumo de matéria-prima do trabalho pode-se chegar a conclusão que é necessária 2,42 toneladas de toras secas com casca para produzir 1 tonelada de madeira serrada seca, sendo que este valor está próximo ao encontrado por Kock (1976).

A determinação deste fator de conversão é muito importante para a determinação da quantidade de resíduo e planejamento das atividades em uma serraria. Por exemplo, se a produção mensal de madeira serrada seca classificada for de 10.300 m³, saber-se-á que também será produzido um volume de 16.686 m³ de resíduo, que é o caso da empresa avaliada.

Além disso, poder-se-á comercializar 7.825,94 m³ deste material para a produção de celulose, se for considerada a afirmação de Kock (1976) de que é possível comercializar até 29% de toda a matéria-prima que entra na serraria para a produção de celulose (entram 26.986 m³ de toras para a produção de 10300 m³ de madeira serrada seca e classificada), restando ainda 8.860 m³ de resíduo para ser utilizado na geração de energia ou para outra finalidade.

CONCLUSÕES

- Os rendimentos das atividades do processo produtivo da serraria (desdobro, secagem e classificação de madeiras) são baixos.
- Considerando somente o desdobro, o rendimento é muito inferior aos valores encontrados por outros autores que trabalharam com Pinus.
- Considerando o rendimento geral da serraria, apesar de ser baixo, está dentro dos valores aceitos para este ramo do setor industrial florestal e se aproxima mais dos valores encontrados por outros autores.
- Todo resíduo produzido no setor é verde e tem grande potencialidade de utilização para outros usos além da energia, devido a separação dos mesmos durante o processo produtivo.
- A instalação do picador e silo para venda de cavacos sem casca para celulose, que estava sendo realizada no final do período de coleta de dados, proporciona redução do estoque de resíduos verdes da serraria, otimiza o uso e agrega valor ao resíduo gerado pela indústria.
- O fato de conversão de toras em madeira serrada possibilita o controle do volume de matéria-prima necessária e o volume de resíduo que será gerado em determinado período de análise.

REFERÊNCIAS

- ANUÁRIO BRASILEIRO DE ECONOMIA FLORESTAL. Aproveitamento dos resíduos de serraria. Vol 9. 1957. p 97-98.
- BORGES, A.S.; GINIGLIO, G. & BRITO, J.O. Considerações energéticas e econômicas sobre resíduos de madeira processada em serraria. **1º Congresso Florestal Panamericano e 7º Congresso Florestal Brasileiro**. 19 a 24 de setembro. Vol 3, Curitiba, 1993. p. 603–606.
- BRITO, E.O. Estimativa da produção de resíduos na indústria brasileira de serraria e laminação. **Revista Floresta**. Vol 26, Ano IV. p. 34-39.
- C.T. DONOVAN ASSOCIATES INC. **Opportunities and Constraints Associated with Using Wood Waste for Fuel in Connecticut**. Office of Policy and Management, Energy Division. Connecticut, 1990.
- HOOP, C.F. DE; KLEIT, S.; CHANG, S.J.; GAZO, R. & BUCHART, M.E. Survey and mapping of wood residue users and producers in Louisiana. **Forest Products Journal** 47 (3), 1997. p. 31-37.
- JARA, E.R.P. A geração de resíduos pelas serrarias. **Boletim ABNT** n° 59. São Paulo: IPT, 1987.
- KLOCK, U.; MATOS, J.L.M.; MUÑIZ, G.I.B.; BITTENCOURT, E.; ANDRADE, A.S.; VERONESE, P.A. & OLIVEIRA, A.C. Densidade básica da madeira ao longo do fuste na madeira juvenil de *Pinus taeda* L. e *Pinus maximinoi* H. E. Moore. **Pesquisa Florestal Online**. Curitiba, 2000. p. 165.
- KOCK, P. Material balances and energy required for manufacture of ten wood commodities. Energy and the wood products industry. **Forest Products Research Society**. Georgia, 1976. 173p.
- MIYAZAKI, M. Forestry products and waste. Biomass Handbook. Editors KITANI, O. & HALL, C.W. New York: **Gordon and Breach Science Publishers**. USA, 1989. p. 160-170.
- NATIONAL ASSOCIATION OF FOREST INDUSTRIES. Forest Today. woodchips. Disponível: www.nafi.com.au/faq/woodchips.html. Capturado em outubro de 1999.
- OLANDOSKI, D.P.; BRAND, M.A. & GORNIK, E. Avaliação do rendimento, quantidade, qualidade e aproveitamento de resíduos no desdobro de *Pinus* spp. 5o EVINCI - **Evento de Iniciação Científica da UFPR**. Curitiba, 1997. p. 379.
- PATZAK, W. Energia da madeira e de resíduos: estágio atual da pesquisa e da prática

na Alemanha ocidental. **Seminário FLORESTA: potencial energético brasileiro**, 1977. p. 73-83.

ROCHA, M.P. Desdobro Primário da Madeira. FUPEF – **Série Didática no 02/99**. Curitiba, 1999. 61 p.

SOUZA, MR. Tecnologias para usos alternativos de resíduos florestais: experiência do laboratório de produtos florestais - IBAMA na área de utilização de resíduos florestais e agrícolas. **Workshop Sul-Americano sobre usos alternativos de resíduos de origem florestal e urbana**. Curitiba, 1997. p. 49-70.

TUSET, A. & DURAN, F. **Manual de Madeiras Comerciales, Equipos y Proceso de Utilizacions**. Uruguai, Editorial Hemisfério Sul, 1979.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Paraná pela oportunidade de realização do trabalho e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida.

À empresa Battistella Indústria e Comércio Ltda. pelo fornecimento dos dados, sem os quais não seria possível o desenvolvimento deste trabalho e em especial para o Sr. Odelir Battistella, Lázaro Tadeu da Silva e Joel de Aviz pelo apoio, conselhos e dedicação para fornecer todas as informações necessárias para o desenvolvimento do trabalho.