

PAULO JOSÉ PRUDENTE DE FONTES

**AUTO-SUFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SERRARIA  
DE *Pinus* E APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS**

Dissertação submetida à consideração da Comissão Examinadora, como requisito parcial para a obtenção do Título de "Mestre em Ciências Florestais - M.Sc" no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná.

CURITIBA

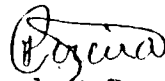
1994

MINISTERIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
COORDENAÇÃO DO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

P A R E C E R

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado apresentada pelo candidato PAULO JOSÉ PRUDENTE DE FONTES, sob o título "AUTO-SUFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SERRARIA DE *Pinus spp.* E APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS. para obtenção do grau de Mestre em Ciências Florestais - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná. Área de concentração em TECNOLOGIA E UTILIZAÇÃO DE PRODUTOS FLORESTAIS, após haver analisado o referido trabalho e argüido o candidato são de parecer pela "APROVAÇÃO" da Dissertação com média final: ( 9,4 ), correspondente ao conceito: ( A ).

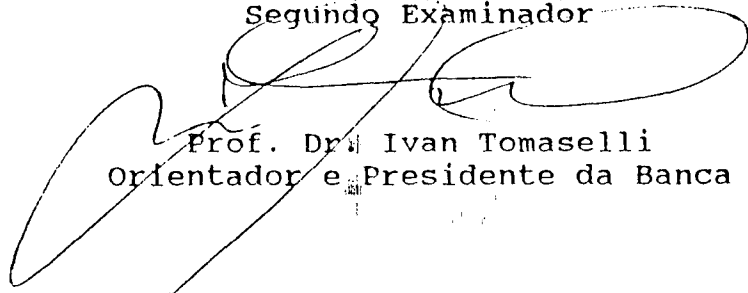
Curitiba, 01 de setembro de 1994



Pesq. Dr. José Carlos Duarte Pereira  
Primeiro Examinador



Prof. Dr. Setsuo Iwakiri  
Segundo Examinador



Prof. Dr. Ivan Tomaselli  
Orientador e Presidente da Banca

O temor do Senhor é o princípio da ciência, mas os loucos desprezam a sabedoria e a instrução.

Provérbios 1 : 7

Aos meus pais e irmãs,  
à minha esposa Telma  
e aos meus filhos Filipe e Marina,

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Aos professores Dr. Ivan Tomaselli e Dr. Amauri Simioni, por suas valiosas orientações, sugestões, estímulos e amizade durante toda a realização deste trabalho.

Aos professores Dr. João Carlos Moreschi e Dr. Sidon Keinert Junior por suas importantes considerações e sugestões.

Aos Srs. Walmor Prandi e Pedro Sálvio Boreck e aos engenheiros André e Santiago, que colaboraram para a coleta dos dados e suas respectivas empresas (cujos nomes foram propositalmente omitidos), os quais agradeço o apoio na realização do trabalho e espero que os dados sejam úteis.

Ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA, pela liberação para a realização do mestrado.

Aos funcionários, colegas e amigos do Laboratório de Produtos Florestais do IBAMA, que em muito colaboraram com o apoio, a compreensão e ajuda para vencer as dificuldades encontradas e, em particular, a Mário Rabelo de Souza, Marcus Vinícius da Silva Alves, Vera T. Rauber Coradin, Waldir Ferreira Quirino, Júlio Cesar Mendes, Ana Maria Prudente de Fontes, Jonas Moraes Corrêa e Márcia Helena Bezerra Marques.

A todos os professores, funcionários e colegas do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da UFPR, e aos amigos Graciela I. B. de Muñiz, José Carlos Duarte Pereira e Wilson Loureiro, pelo estímulo e apoio recebidos.

À minha família, pelo carinho, compreensão, motivação e colaboração manifestados durante a realização deste trabalho.

## SUMARIO

	LISTA DE FIGURAS.....	vi
	LISTA DE TABELAS.....	viii
	RESUMO.....	xi
1	INTRODUÇÃO.....	01
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	05
2.1	UTILIZAÇÃO DO <i>PINUS spp.</i> PELA INDUSTRIA MADEIREIRA DA REGIÃO SUL DO BRASIL.....	05
2.1.1	Aspectos gerais .....	05
2.1.2	O desdobro do <i>Pinus spp.</i> .....	07
2.1.3	Rendimento volumétrico em madeira serrada .....	12
2.2	GERAÇÃO DE RESÍDUOS NA INDUSTRIA MADEIREIRA.....	16
2.3	CONSUMO DE ENERGIA NA INDUSTRIA MADEIREIRA.....	21
2.4	APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS DA INDUSTRIA.....	24
2.4.1	Aspectos gerais.....	24
2.4.2	Alternativas de aproveitamento.....	25
2.4.3	Aproveitamento energético.....	27
2.4.3.1	Teor de Umidade.....	29
2.4.3.2	Poder calorífico.....	32
2.4.3.3	Densidade.....	34
2.4.3.4	Geração de energia a base de resíduos.....	36

<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>39</b>
3.1	AREA DE ESTUDO.....	39
3.2	SELEÇÃO DAS INDUSTRIAS.....	39
3.3	DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE BENEFICIAMENTO DA MADEIRA DE <i>PINUS</i> SPP. NAS SERRARIAS 1, 2 e 3 .....	41
3.4	COLETA DE DADOS.....	47
3.4.1	Formação dos lotes de toras.....	48
3.4.2	Medição dos volumes das toras.....	49
3.4.3	Beneficiamento da madeira serrada.....	50
3.4.4	Quantificação dos resíduos gerados.....	51
3.4.5	Caracterização energética dos resíduos.....	52
3.5	DELINEAMENTO ESTATÍSTICO.....	52
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>55</b>
4.1	RENDIMENTO VOLUMÉTRICO DE MADEIRA SERRADA.....	55
4.2	QUANTIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS GERADOS.....	58
4.2.1	Resíduos de costaneiras.....	61
4.2.2	Resíduos de refilo.....	63
4.2.3	Resíduos de destopo.....	65
4.2.4	Resíduos de serragem e casca.....	67
4.3	CARACTERIZAÇÃO ENERGÉTICA DOS RESÍDUOS GERADOS	69
4.4	CONSUMO MÉDIO DE ENERGIA NAS SERRARIAS.....	70
4.5	GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DOS RESÍDUOS.....	72
4.6	EFICIENCIA E RENTABILIDADE NAS SERRARIAS COM O APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS.....	73
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>83</b>
<b>6</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>	<b>86</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>95</b>

## LISTA DE FIGURAS

1	REPRESENTAÇÃO DOS CORTES SUCESSIVOS, SIMULTANEOS E ALTERNADOS.....	08
2	SISTEMA DE DESDOBRO DE PINUS COM MADEIRA JUVENIL PARA PEÇAS DE 5 x 10 cm E DIAMETRO ATÉ 20 cm.....	10
3	SISTEMA DE DESDOBRO DE PINUS COM MADEIRA JUVENIL PARA PEÇAS DE 5 x 10 cm E DIAMETROS ENTRE 25 e 40 cm.....	11
4	EXEMPLOS DE SISTEMAS DE DESDOBRO RECOMENDADOS NA AFRICA DO SUL PARA PINUS spp COM MADEIRA JUVENIL.....	12
5	ESQUEMA DO PROCESSO DE BENEFICIAMENTO DA MADEIRA DE PINUS spp. NA SERRARIA 01.....	42
6	ESQUEMA DO PROCESSO DE BENEFICIAMENTO DA MADEIRA DE PINUS spp. NA SERRARIA 02 .....	44
7	ESQUEMA DO PROCESSO DE BENEFICIAMENTO DA MADEIRA DE PINUS spp. NA SERRARIA 03 .....	46
8	RENDIMENTO MÉDIO DE MADEIRA SERRADA E RESÍDUOS EM FUNÇÃO DAS CLASSES DIAMÉTRICAS - SERRARIA 01 .....	60
9	RENDIMENTO MÉDIO DE MADEIRA SERRADA E RESÍDUOS EM FUNÇÃO DAS CLASSES DIAMÉTRICAS - SERRARIA 02 .....	60
10	RENDIMENTO MÉDIO DE MADEIRA SERRADA E RESÍDUOS EM FUNÇÃO DAS CALSSES DIAMÉTRICAS - SERRARIA 03 .....	60
11	RENDIMENTO MÉDIO NO PROCESSAMENTO DA MADEIRA DE <i>PINUS ELLIOTTI</i> , NA SERRARIA 01.....	75
12	RENDIMENTO MÉDIO PROPOSTO PARA O PROCESSAMENTO DA MADEIRA DE <i>PINUS ELLIOTTI</i> , DA SERRARIA 01.....	75
13	RENDIMENTO MÉDIO NO PROCESSAMENTO DA MADEIRA DE <i>PINUS ELLIOTTI</i> , DA SERRARIA 02.....	77

14	RENDIMENTO MÉDIO PROPOSTO PARA O PROCESSAMENTO DA MADEIRA DE PINUS ELLIOTTI DA SERRARIA 02 .....	77
15	RENDIMENTO MÉDIO NO PROCESSAMENTO DA MADEIRA DE PINUS ELLIOTTI DA SERRARIA 03 .....	79
16	RENDIMENTO MÉDIO PROPOSTO PARA O PROCESSAMENTO DA MADEIRA DE PINUS ELLIOTTI DA SERRARIA 03 .....	79
17	RENDIMENTO MÉDIO PROPOSTO PARA O PROCESSAMENTO DA MADEIRA DE PINUS ELLIOTTI DA SERRARIA 01, 02 e 03 .....	80



## LISTA DE TABELAS

1	ESTIMATIVA DE DISPONIBILIDADE DE MADEIRAS EM REFLORESTAMENTOS DE PINUS, NA REGIÃO SUL, NO PERÍODO DE 1975 a1992 (st/ha) .....	06
2	RENDIMENTO VOLUMÉTRICO MÉDIO ADOTADO EM ALGUNS PAÍSES PARA MADEIRAS DE CONÍFERAS.....	13
3	PORCENTAGEM DE RESÍDUOS GERADOS EM RELAÇÃO AO VOLUME TOTAL DE MATÉRIA PRIMA CONSUMIDA NA IND. DE TRANSFORMAÇÃO DA MADEIRA DOS ESTADOS DO PARANA E DE SANTA CATARINA EM 1982.....	18
4	PORCENTAGEM MÉDIA DE RESÍDUOS GERADOS EM SERRARIA.....	19
5	DESDOBRO COM TORAS DE 04 ESPÉCIES DE PINUS E RENDIMENTOS MÉDIOS EM MADEIRA SERRADA E RESÍDUOS.....	20
6	CORRELAÇÃO DE ÍNDICES DE RENDIMENTO PARA MAD. SERRADA E RESÍDUOS DE ACORDO COM O DIAMETRO DAS TORAS.....	21
7	CONSUMO ENERGÉTICO ESPECÍFICO POR M3 DE PRODUTO ACABADO EM SERRARIAS DE PAÍSES DESENVOLVIDOS.....	22
8	NECESSIDADES ENERGÉTICAS NA INDÚSTRIA DA MADEIRA DE TRANSFORMAÇÃO PRIMARIA.....	24
9	INFLUENCIA DA UMIDADE NO PODER CALORÍFICO DA MADEIRA DE BRACATINGA ( <i>Mimosa scabrella</i> ).....	30
10	EFEITO DO TEOR DE UMIDADE DO PODER CALORÍFICO DA MADEIRA COMPARADO COM OUTROS COMBUSTÍVEIS.....	32
11	EQUIVALENCIAS GERAIS ENTRE MADEIRA EM TORA E CAVACOS.....	36
12	BITOLAS COMERCIALIZADAS NO MERCADO DE MADEIRA DE PINUS spp.....	50

13	ESQUEMA DO DELINEAMENTO EM FUNÇÃO DOS FATORES SERRARIA E CLASSES DE DIAMETRO.....	53
14	QUADRO DA ANOVA COM AS FONTES DE VARIAÇÃO E OS GRAUS DE LIBERDADE.....	54
15	RENDIMENTOS MÉDIOS EM MADEIRA SERRADA DE <i>PINUS ELLIOTTII</i> EM FUNÇÃO DAS SERRARIAS E DAS CLASSES DE DIAMETRO.....	55
16	ANALISE DE VARIANCIA DAS PERCENTAGENS DO RENDIMENTO VOLUMÉTRICO EM MADEIRA SERRADA.....	57
17	RENDIMENTOS MÉDIOS EM RESÍDUOS GERADOS (%) PELAS INDUSTRIAS, COM RELAÇÃO ÀS CLASSES DE DIAMETRO .....	58
18	RESÍDUOS DE COSTANERIAS GERADOS (%) NAS SERRARIAS EM FUNÇÃO DAS CLASSES DE DIAMETRO .....	62
19	ANALISE DE VARIANCIA DAS QUANTIDADES DO RESÍDUO DE COSTANEIRA .....	63
20	RESÍDUOS DE REFILOS GERADOS (%) NAS SERRARIAS EM FUNÇÃO DAS CLASSES DE DIAMETRO .....	64
21	ANALISE DE VARIANCIA DAS QUANTIDADES DOS RESÍDUOS DE REFILO .....	65
22	RESÍDUOS DE DESTOPO GERADOS (%) NAS SERRARIAS EM FUNÇÃO DAS CLASSES DE DIAMETRO.....	66
23	ANALISE DE VARIANCIA DAS QUANTIDADES DOS RESÍDUOS DE DESTOPO .....	67
24	RESÍDUOS DE SERRAGEM E CASCA GERADOS (%) NAS SERRARIAS EM FUNÇÃO DAS CLASSES DE DIAMETRO .....	68
25	ANALISE DE VARIANCIA DAS QUANTIDADES DOS RESÍDUOS DE SERRAGEM E CASCA .....	69
26	CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS GERADOS PELAS SERRARIAS NO BENEFICIAMENTO DA MADEIRA DE <i>PINUS ELLIOTTII</i> .....	70
27	CONSUMO MÉDIO DE ENERGIA NAS SERRARIAS EM FUNÇÃO DA PRODUÇÃO DE MADEIRA SERRADA .....	71

28	ESTIMATIVA DA ENERGIA A SER GERADA PELA INDUSTRIA COM A UTILIZAÇÃO INTEGRAL DOS RESÍDUOS.....	72
29	RENDIMENTO E EFICIENCIA NAS SERRARIAS COM MADERIA DE PINUS ELLIOTTI, DIAMETRO DE 15,00 A 29,50cm .....	73
30	ESTIMATIVA DE GANHO ADICIONAL PARA AS SERRARIAS COM SUB-PRODUTOS 1 E 2 .....	81

## RESUMO

Este trabalho foi desenvolvido junto a três serrarias típicas da Região Sul do Brasil, que processam madeira de *Pinus* e teve por objetivo quantificar e comparar os rendimentos volumétricos de madeira serrada e resíduos gerados, visando o aproveitamento destes como fonte de energia e, conseqüentemente, a auto-suficiência energética e maior rentabilidade para estas indústrias. As três serrarias foram selecionadas no Estado de Santa Catarina, sendo representativas do setor de transformação da madeira de *Pinus* e apresentando sistemas de desdobro conceitualmente diferenciados. Os dados foram coletados através de questionários e diretamente na linha de produção das serrarias. As toras de madeira de *Pinus elliottii* foram selecionadas no pátio das indústrias, medidas em comprimento e diâmetro, pesadas e agrupadas em lotes, os quais tiveram seus volumes determinados. Esses lotes foram distribuídos em três classes de diâmetro (15,00-19,50 cm; 20,00-24,50 cm; e 25,00-29,50 cm). À medida que cada lote era processado, quantificava-se o volume de madeira serrada e de resíduos gerados, sendo processados 27 lotes, num total de 189 toras. A análise estatística dos dados foi realizada através de delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3x3 e 3 repetições para cada tratamento. As variáveis que mais influenciaram no rendimento em madeira serrada e resíduos foram os diâmetros das toras e o tipo de serraria. O rendimento em madeira serrada variou de 22,37 a 39,38%, dependendo do tipo de serraria e classe de diâmetro, sendo que a média geral foi da ordem de 30%. Foi constatado em todas as serrarias que com o aumento do diâmetro das toras, aumentou também o rendimento em madeira serrada. A serraria 2 apresentou o melhor rendimento para todas as classes de diâmetro, demonstrando que a engenharia de processo e o sistema de desdobro adotados influem mais no rendimento volumétrico do que os diâmetros das toras. O consumo de energia nas serrarias foi dimensionado em função da produção de madeira serrada, variando entre 2,9 e 3,5 GJ/m<sup>3</sup> e sendo considerado elevado para os padrões internacionais. No entanto, verificou-se que a quantidade de resíduos gerados no beneficiamento da madeira é suficiente para atender às necessidades energéticas das serrarias, tornando-as auto-suficientes energeticamente.

## 1 . INTRODUÇÃO

A maior concentração das indústrias de transformação primária da madeira está localizada nas Regiões Sul e Sudeste do Brasil. Esta atividade industrial vem passando por sucessivas alterações no seu perfil de abastecimento da matéria-prima florestal: inicialmente com a madeira do Pinho-do-Paraná (*Araucaria angustifolia*), depois com madeiras de folhosas como a Canela (*Nectandra* sp.) e a Imbuia (*Ocotea* sp.) e, mais recentemente, com a madeira de reflorestamentos do gênero *Pinus* spp. Segundo dados da Associação Brasileira de Produtores de Madeira - ABPM, em 1992, foram produzidos cerca de 3 milhões de metros cúbicos de madeira serrada de *Pinus* spp. Alguns estudos indicam que até o final da década de 90, a produção total na Região Sul será da ordem de 10 milhões de metros cúbicos/ano e a madeira de *Pinus* spp. representará 85 % do total de madeira serrada a ser produzida nas Regiões Sul e Sudeste do país (FERREIRA, 1993; AZEREDO, 1988).

Na verdade, esses índices representam um grande desafio para o setor, que por um lado precisa atender às necessidades crescentes no volume da demanda por madeira serrada e por outro, assiste ao desestímulo no reflorestamento de *Pinus* spp desde o fim dos incentivos fiscais, em função de: baixos preços da madeira; longo prazo de maturação dos investimentos; falta de um manejo adequado aos plantios existentes produzindo madeiras de melhor qualidade e, conseqüentemente, melhores preços; baixo rendimento no processamento em madeira serrada de reflorestamentos com má utilização dos resíduos industriais; poucas pesquisas tecnológicas; e um mercado restrito para material de pequenas dimensões. Estes são alguns dos fatores que estão restringindo os plantios a poucas empresas verticalizadas.

Como forma de viabilizar as atividades do processamento mecânico da madeira de *Pinus* spp. na Região Sul do país, segundo BERTOLANI (1993), deve-se: incrementar o plantio de florestas não vinculadas às empresas verticalizadas; melhorar o rendimento e a produtividade nas serrarias; e desenvolver técnicas de manejo e de industrialização para florestas de *Pinus* spp., visando a qualidade da madeira, obtendo melhores remunerações capazes de estimular a reposição florestal. A melhoria do nível tecnológico industrial é condição essencial para o aproveitamento máximo da matéria-prima e está diretamente relacionada com a conservação dos recursos florestais. SUCHEK (1993) afirma que falta ao Brasil apoio tecnológico para que a atividade madeireira obtenha melhor aproveitamento da matéria-prima, especialmente com sistemas avançados de utilização da madeira.

Assim, a eficiência técnica e econômica dos processos de transformação do recurso florestal em produtos pela indústria madeireira é fator básico para a sua sobrevivência. Esta eficiência dependerá de: disponibilidade e transferência de recursos tecnológicos; capitalização das empresas; integração das linhas de produção; produtividade; especialização; e em geral, das condições operacionais em que se processa a matéria-prima na indústria. Em termos médios, de 50 a 70 % do volume de madeira em tora consumido na indústria madeireira é transformado em resíduos. Portanto, a indústria de transformação da madeira que não estiver preocupada em melhorar seus rendimentos e conseqüentemente, viabilizar seus custos de produção, dando uma utilização total aos resíduos gerados no processo, assume um sério risco de perder em competitividade e paralisar as suas atividades.

Uma grande vantagem da indústria florestal, em relação às demais, é o fato de poder utilizar seus resíduos para suprir suas necessidades energéticas. No processamento mecânico da madeira, a maior parte da sua exigência de energia térmica poderá ser atendida com

os resíduos disponíveis e, ainda, com possibilidades de produzir um excedente de calor e eletricidade para outros processos deficientes energeticamente, em se tratando de um complexo integrado, ou para fornecer energia a terceiros.

Por vários anos, a indústria madeireira tem considerado os resíduos como um subproduto problemático do processamento da madeira e procurado desfazer-se dos mesmos, utilizando-os para aterro (entulho, lixo), ou incinerando-os em queimadores, apenas com a finalidade de desocupar os pátios sem realizar aproveitamento energético. Entretanto, estas soluções têm se convertido, recentemente, em sérios problemas ambientais. Além disso, a questão dos crescentes aumentos nos custos dos insumos energéticos tem levado as indústrias a pensarem nas vantagens do aproveitamento dos resíduos como fonte alternativa de combustível ou utilizá-los como matéria-prima para outros produtos, quais sejam a produção de celulose e ou de chapas de composição.

Em estudo realizado pelo extinto Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF) e a Fundação da Universidade Federal do Paraná (1982), estimou-se o volume de resíduos gerados pelas indústrias de transformação da madeira no Estado do Paraná (Serrarias, Serrarias / Beneficiamento, Laminadoras e Fab. de Compensado) em 2,16 milhões de toneladas/ano ou cerca de 180 mil toneladas/mês de resíduos. Deste total, 40% ou 840 mil toneladas/ano de resíduos, aproximadamente, apresentavam-se disponíveis para qualquer uso. Este volume de resíduos equivalia, energeticamente, a 2,9 milhões de m<sup>3</sup> de lenha ou quase 20 mil hectares de florestas de *Eucalyptus* spp. implantadas, segundo dados do Ministério da Agricultura/Coordenadoria de Agroenergia-CAERG (1984).

Entretanto, quando se fala da utilização de resíduos de serrarias, laminadoras e fábricas de compensado, existe normalmente, uma grande dificuldade, em termos de quantificação e caracterização destes resíduos na indústria, devido à falta de informações e à indisponibilidade de dados.

A quantificação, em geral feita por estimativas, nem sempre atualizadas, e em nível de diagnósticos gerais; e a caracterização do resíduo são fatores fundamentais para o seu aproveitamento, sendo que a carência de dados tem dificultado bastante o desenvolvimento de estudos de viabilidade técnica e econômica para a efetiva utilização dos mesmos.

Dentro desse contexto, este trabalho procurou levantar os dados e as informações técnicas referentes ao rendimento em madeira serrada, geração de resíduos e consumos energéticos junto à 03 serrarias de *Pinus* spp, localizadas no Estado de Santa Catarina, cujos nomes foram propositalmente omitidos, visando a auto-suficiência energética destas indústrias, através da utilização dos resíduos como fonte alternativa de energia. Dessa forma, procurou-se fornecer subsídios básicos para o aproveitamento dos resíduos da madeira de *Pinus elliottii*, gerados pelas mesmas, tendo como objetivos específicos:

# Comparar o rendimento volumétrico em madeira serrada de *Pinus elliottii* e resíduos gerados, em 3 (três) serrarias com projetos conceitualmente diferenciados;

# Caracterizar os resíduos gerados em relação à: tipo de resíduo; densidade; teor de umidade e poder calorífico;

# Avaliar a utilização dos resíduos como fonte de energia visando a auto-suficiência energética da serraria;

# Avaliar o aproveitamento dos resíduos como matéria-prima para outros produtos visando melhor rentabilidade da empresa.



## 2 . REVISÃO DE LITERATURA

### 2 . 1 Utilização do *Pinus spp.* pela indústria madeireira da Região Sul do Brasil.

#### 2 . 1 . 1 Aspectos gerais

No início da década de 80, a Região Sul perdeu a hegemonia do comércio externo de madeira serrada para a região Norte, que passou a liderar as exportações brasileiras. No período 80/82, as exportações de madeira serrada e manufaturada, provenientes do Sul do país, registraram um decréscimo de 39,6 % e no período 82/85, o índice negativo foi de 37,9 % (IBDF,1988). Os dados confirmaram que a Região Sul passou a enfrentar problemas com relação à oferta de matéria-prima. Assim, com os seus recursos florestais nativos próximos da exaustão, o tradicional e expressivo parque industrial florestal desta região ficou cada vez mais dependente das florestas implantadas. Entretanto, em 1986, o consumo estimado de madeira para processamento mecânico na região foi da ordem de 27 milhões de metros cúbicos, sendo que 85 % deste total de florestas nativas e apenas 15%, ou cerca de 4 milhões de metros cúbicos de madeira de reflorestamentos de *Pinus spp.*, existentes na região. (IBDF, 1988).

AZEREDO (1988) considera os plantios de florestas de *Pinus spp.* como a principal matéria-prima para as indústrias de processamento mecânico da madeira (serrarias, beneficiadoras, laminadoras e fábricas de compensado) e para as indústrias de celulose e papel da Região Sul. Em seu trabalho, afirma que o setor de processamento mecânico havia utilizado, até o ano de 1987, um percentual muito pequeno de madeiras de reflorestamentos, que apresentavam pequenos diâmetros, em virtude de serem provenientes de 1º e 2º desbastes. Por outro lado, o autor considera que esse setor é prioritário e deveria atingir um crescimento

maior nos anos subseqüentes, associado também à grande disponibilidade de matéria-prima que ocorreria, mais precisamente a partir de 1993, quando os primeiros reflorestamentos implantados estariam disponíveis para corte final.

O estudo realizado pela Associação Brasileira dos Produtores de Madeiras (ABPM) e citado por AZEREDO (1988), com o objetivo de estimar o potencial futuro da matéria-prima de reflorestamentos, considerou e utilizou, para sua base de cálculo, alguns critérios básicos em relação a: períodos de desbastes; rendimentos volumétricos; percentuais destinados aos setores industriais; e rendimentos no setor de processamento mecânico. Estes critérios estão relacionados na TABELA 01, que apresenta de forma simplificada uma estimativa de disponibilidade de madeiras de reflorestamentos, no período de 1975 a 1992.

**TABELA 01. Estimativa de disponibilidade de madeiras em reflorestamentos de *Pinus* spp., na Região Sul, no período 1975/1992 (st/ha)**

Desbastes / Período (1975/92)	Volume (st/ha)	Destinação				Proc. Mecânico	
		Celulose		P. Mecânico		Rend. %	Vol. Proc. ( m 3 )
		Volume	%	Volume	%		
1º Desbaste	80,00	72,00	90	8,00	10	15	1,20
2º Desbaste	90,00	63,00	70	27,00	30	20	5,40
3º Desbaste	95,00	47,50	50	47,50	50	25	11,87
4º Desbaste	130,00	52,00	40	78,00	60	33	25,74
Corte Final	245,00	73,50	30	171,50	70	50	85,75
<b>TOTAL</b>	<b>640,00</b>	<b>308,00</b>	<b>48</b>	<b>332,00</b>	<b>52</b>	-	<b>129,96</b>

Fonte : AZEREDO ( 1988 )

Com base nos critérios apresentados na TABELA 01, a ABPM estimou, para o período 1988/1992, que a oferta total de madeira de desbastes de *Pinus* spp. seria da ordem de 198 milhões de metros estéreos (st), sendo que para o setor de processamento mecânico estariam disponíveis cerca de 80 milhões de metros estéreos (st), o que deveria traduzir-se em um volume líquido processado de 22 milhões de metros cúbicos (m<sup>3</sup>) ou seja, uma média de 4,4 milhões de metros cúbicos/ano. Em 1992, esta média foi superada, uma vez que a produção de madeira serrada de *Pinus* spp. atingiu cerca de 3,0 milhões de metros cúbicos e a produção de chapas (compensados, aglomerados e de fibras) foi da ordem de 2,0 milhões de metros cúbicos, de acordo com MUÑIZ (1993) e CASTRO (1993).

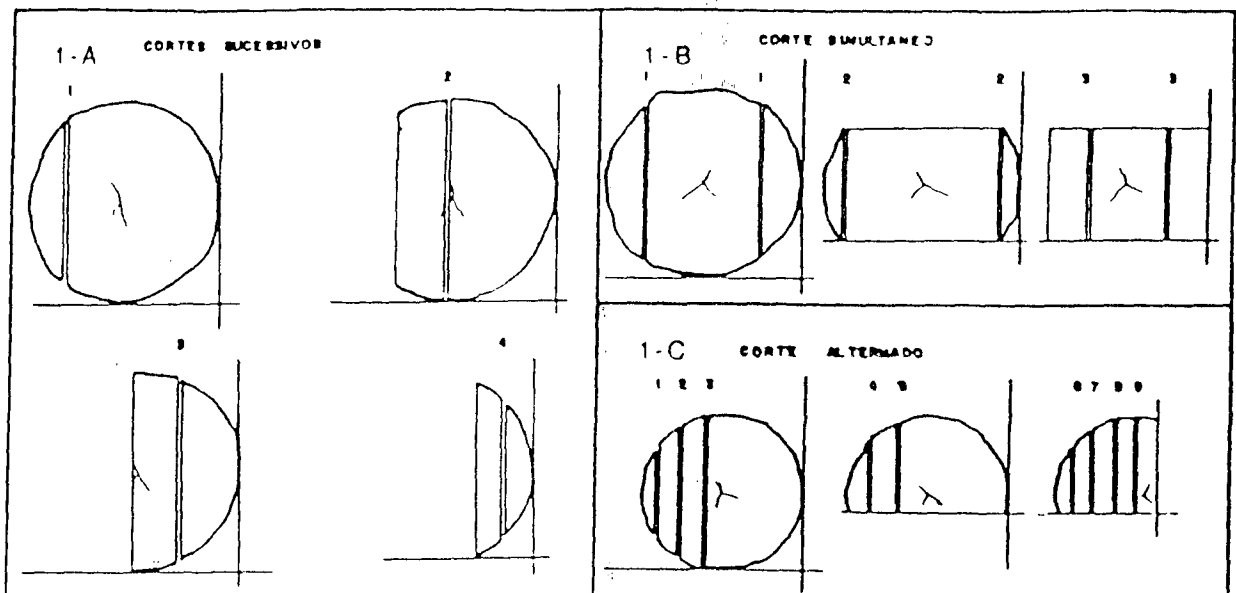
Segundo FREITAS & BRITO NETO (1993), o *Pinus* spp. responde hoje por, 3,4 milhões de metros cúbicos/ano de madeira serrada aproximadamente, o que corresponde a 20 % do mercado brasileiro. Porém, estes autores alertam que enquanto os plantios incentivados estiverem atingindo a maturação, não haverá maiores problemas com o suprimento de madeira. No entanto, a partir do período 2000/2005 estas florestas terão se exaurido e forçosamente teremos que importar madeira de coníferas, a menos que a madeira de *Eucalyptus* spp. torne-se uma fonte alternativa para a produção de madeira serrada, com o que concordam BERTOLANI (1993); FERREIRA (1993) e SUCHEK (1993).

### 2 . 1 . 2 O desdobro do *Pinus* spp.

O processo de transformação de uma tora de madeira de seção circular em peças de seção quadrangular é chamado de sistema de desdobro de toras. Existem vários sistemas que podem ser adaptados às

mais diversas necessidades, variedades de espécies e formas de toras, mas, segundo VIANNA NETO (1984), do ponto de vista geométrico e anatômico, as possibilidades que envolvem praticamente todas as variantes de desenhos de corte de uma tora podem ser agrupadas em três classes, ou seja: 1) em função dos anéis de crescimento (cortes tangenciais ou radiais); 2) em relação ao eixo longitudinal da tora (cortes paralelos ao eixo ou paralelos à casca); e 3) em função da sequência dos cortes (sucessivos, simultâneos, alternados), apresentados de forma esquemática na FIGURA 01, ou das características e defeitos da madeira. A sequência de cortes depende basicamente do tipo de equipamento utilizado e do produto final.

**FIGURA 01 – Representação dos cortes sucessivos, simultâneos e alternados**



Fonte: VIANNA NETO (1984)

Os cortes sucessivos são realizados de maneira contínua, paralelos entre si e sempre no mesmo sentido. Em geral, para *Pinus* spp., são executados por serra circular simples ou serra-de-fita simples, ambas com carro (FIGURA 1-A).

Os cortes simultâneos são normalmente realizados por máquinas contendo duas ou mais serras, que desdobram a tora simultaneamente, retirando-se duas costaneiras e transformando-as em cavacos, caso seja empregado um picador-perfilador (FIGURA 1-B). Serras-de-fita duplas, quádruplas ou serras alternativas podem ser utilizadas.

Os cortes alternados são normalmente executados com serra-de-fita simples ou serra circular com carro porta-toras, sendo os mesmos efetuados sucessivamente em uma das faces da tora, que é rolada e depois serrada no outro plano, abrindo novas faces que poderão ser paralelas ou perpendiculares à primeira (FIGURA 1-C).

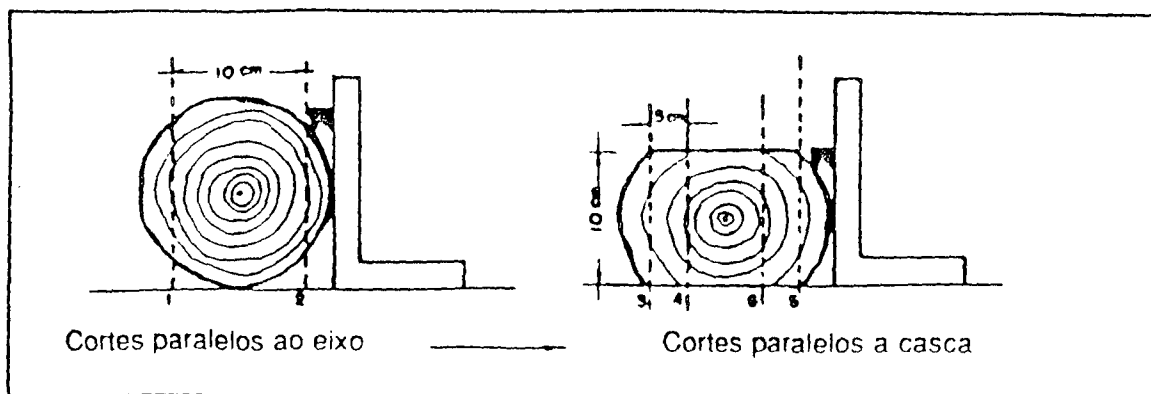
As serras circulares duplas e múltiplas, bem como as serras-de-fita duplas e quádruplas, com as quais também se obtém cortes simultâneos, são equipamentos que produzem cortes de maior precisão e rendimento, se comparados com os tradicionais, que possuem serras-de-fita simples ou circulares. Conforme TUSET & DURAN (1979), o desdobro feito por cortes simultâneos com esses equipamentos, tem mostrado ser um sistema recomendável para evitar ou diminuir a manifestação de tensões de crescimento em espécies de rápido crescimento.

No caso do *Pinus* spp., espécie de rápido crescimento e com a presença de madeira juvenil envolvendo a medula da tora, recomenda-se a utilização de desenhos de cortes especiais, em função das características da espécie, para a obtenção dos produtos adequados (MONTAGUE, 1971; WILLISTON, 1981).

Estudos realizados por HALLOCK (1965); HALLOCK & LEWIS (1971 e 1973); e FREESE (1973) indicam algumas medidas práticas com relação ao desdobro de *Pinus* spp. Em resumo, as recomendações para se obter peças com tamanhos de 5 x 10 cm, de toras com diâmetros até 20 cm (FIGURA 02), são :

- a) os dois primeiros cortes devem ser paralelos ao eixo e separados por uma distância igual à largura da peça final;
- b) o bloco resultante deve ser apoiado sobre uma de suas faces planas e os demais cortes devem ser realizados sucessivamente paralelos à casca, produzindo de 2 ou mais peças, além de uma residual que contém o lenho juvenil.

**FIGURA 02 – Sistema de desdobro de *Pinus* com madeira juvenil para peças de 5x10cm e diâmetro até 20 cm**



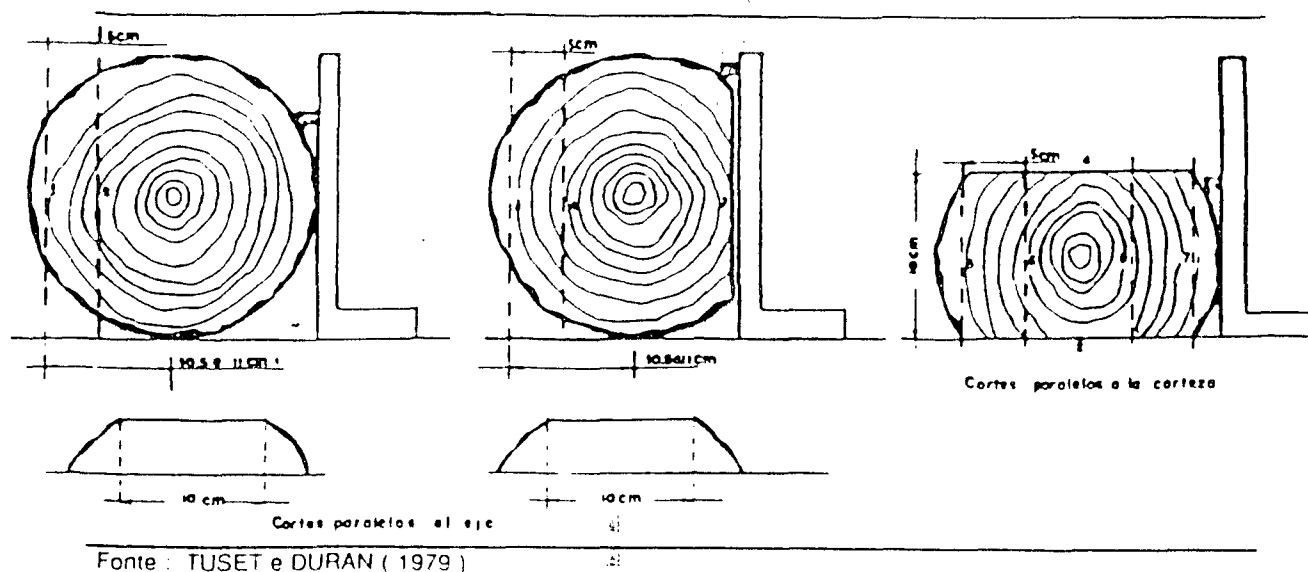
Fonte : TUSET e DURAN ( 1979 )

As recomendações para obter-se peças do mesmo tamanho, a partir de toras com diâmetros entre 25 e 40 cm (FIGURA 03) são :

- a) dois cortes sucessivos paralelos ao eixo, retirando-se uma peça de 5 cm de espessura : a distância do primeiro corte ao centro da tora deve ser um pouco maior do que o dobro da sua espessura;
- b) outros cortes similares do lado oposto da tora;
- c) extrair as peças de 5 x 10 cm do bloco resultante, através de cortes paralelos à casca, deixando-se uma peça residual no centro.

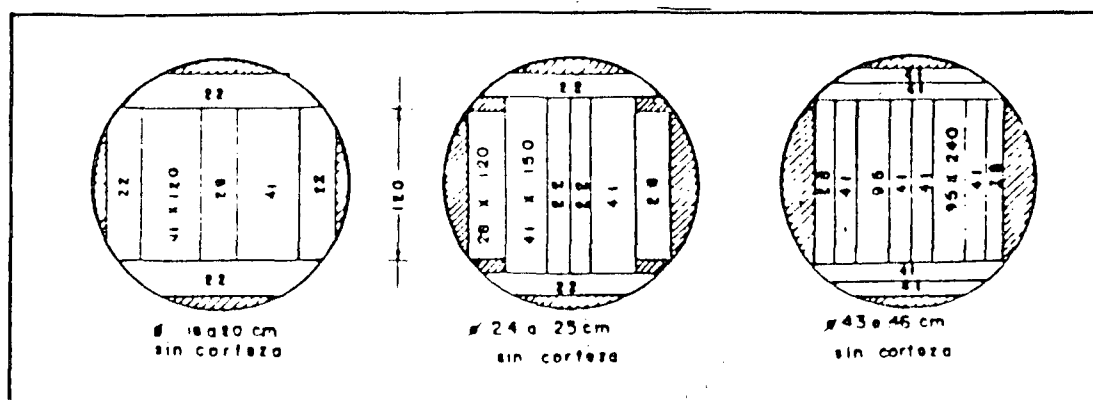
Na Africa do Sul, segundo VIANNA NETO (1984), as técnicas mais recomendadas visam orientar o desdobro das toras, de tal forma que da parte central sejam obtidas peças de pouca espessura, onde a medula é dividida em duas partes adjacentes. Neste caso, as peças contendo medula são recomendadas para utilização, quando as características mecânicas e estéticas não forem muito solicitadas. As recomendações sul-africanas referem-se às toras de *Pinus* spp. de qualquer diâmetro, sendo os cortes paralelos ao eixo da tora, conforme apresenta a FIGURA 04.

FIGURA 03 – Sistema de desdobro de *Pinus* spp. com madeira juvenil para peças de 5x10cm e diâmetros entre 25 e 40 cm



FREITAS (1986), avaliando a tecnologia da produção de madeira serrada, afirma que as técnicas de desdobro tem evoluído continuamente. STEELE & RISBRUDT (1985) chamam a atenção para a utilização de equipamentos de perfilagem do tipo "chip-n-saw" e de serras múltiplas em série, no processamento de toras de pequenos diâmetros, com maior velocidade linear.

FIGURA 04 – Exemplos de sistemas de desdobro recomendados na Africa do Sul para *Pinus* spp. com madeira juvenil



Fonte : TUEST e DURAN ( 1979 )

MOOSMAYER (1984) fala das técnicas de desdobro de *Pinus* com o aproveitamento dos resíduos e compara com as indústrias de países desenvolvidos, que utilizam sistemas computadorizados para fazer os controles e chegar à melhor combinação de produtos a serem obtidos de determinada tora com diâmetro conhecido. Este autor afirma, ainda, que a principal característica para o desenvolvimento das novas tecnologias de processamento é a tendência para a diminuição dos diâmetros das toras.

### 2 . 1 . 3 Rendimento volumétrico em madeira serrada

O rendimento volumétrico, também chamado de coeficiente de serragem ou coeficiente de transformação, ou ainda fator de rendimento, é a relação entre o volume produzido de madeira serrada e o volume utilizado de madeira em forma de tora, expresso em porcentagem. Ocorrem, entretanto, uma série de fatores que interferem no volume obtido de madeira serrada, influenciando assim no rendimento volumétrico. A FAO (1970), adota em seus quadros de equivalências gerais, o coeficiente de 59 % para coníferas e de 55 % para folhosas.



PHILLIPS & SCHROEDER (1975), estudando o fator de rendimento com madeira de *Pinus echinata* em diferentes idades e diâmetros, verificaram que a porcentagem de madeira serrada obtida variou de 43 a 58 % em relação ao peso total das toras, sendo o diâmetro a maior influência observada. A TABELA 02, apresenta os coeficientes médios gerais adotados por alguns países, em relação ao rendimento para madeiras de coníferas.

Segundo MASON, citado por TUSET & DURAN (1979), apesar do fator nacional de rendimento adotado nos EUA ser de 54 % , as serrarias modernas estão atingindo índices da ordem de 58 a 67 %.

**TABELA 02 . Rendimento volumétrico médio adotado em alguns países para madeira de coníferas**

<b>Países</b>	<b>Rendimento volumétrico médio</b>
<b>Estados Unidos</b>	54 %
<b>URSS</b>	58 %
<b>Finlândia</b>	63 - 68 %
<b>Canadá</b>	48 - 73 %
<b>Alemanha</b>	44 - 63 %

Fonte : TUSET & DURAN ( 1979 )

Esta variação, também encontrada em outros países, é devida a vários aspectos e, segundo VIANNA NETO(1984), pode estar ligada à engenharia de produção (tipo de equipamento, tipo de matéria-prima, espessura do corte no desdobro, afiação e manutenção das serras, tolerâncias e sobremedidas para a secagem, aparelhamento e desvios da serra) ou ao sistema de desdobro (tipo de produto, desenho de corte e aproveitamento de subprodutos, tais como costaneiras, cavacos, refilos e destopos). Outro aspecto levantado pelo autor é o fato do diâmetro da tora

ser elevado ao quadrado para a obtenção do seu volume. Assim, uma indústria trabalhando com toras de *Pinus* com pequenos diâmetros, necessitará processar um número bem maior de toras, para produzir o mesmo volume de madeira serrada, do que uma indústria trabalhando com toras de diâmetros maiores. Portanto, movimentar um grande volume de peças pequenas requer um contínuo aperfeiçoamento e melhoria de desempenho, que na maioria das vezes deve começar pelo rendimento volumétrico.

MOOSMAYER (1984) afirma que somente um maior número de toras processadas pode compensar a diminuição dos diâmetros e que a velocidade do processamento deve aumentar na mesma função geométrica que diminui o volume com a redução do diâmetro da tora.

ASSINI *et alii* (1979) trabalhando com um conjunto de serra circular dupla como serra principal e madeira de *Pinus elliotii* com diâmetro médio de 16,7 cm, obtiveram um rendimento volumétrico de 30,42% de madeira serrada. Atribuíram este baixo rendimento à qualidade inferior do material processado e performance do equipamento utilizado.

Um estudo realizado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), citado por VIANNA NETO (1984), que avaliou o desdobro de toras de quatro espécies de *Pinus* (*P. caribaea* var. *hondurensis*, *P. elliotii*, *P. taeda* e *P. oocarpa*) com idades entre 11 e 19 anos e diâmetros na ponta fina variando de 15,9 a 19,9 cm, apresentou uma variação no rendimento volumétrico de 31,2 a 48,5 % .

PONCE (1984) afirma que o rendimento cresce abruptamente a partir dos 15 cm até aos 30 cm de diâmetro, sendo que o crescimento torna-se menor acima desse valor. FREITAS (1986) conclui que o rendimento na operação de desdobro depende do tipo de matéria-prima, do equipamento utilizado e da habilidade do operador.

RIBAS *et alii* (1989) estudando a influência do diâmetro e do comprimento de toras de *Pinus elliotii* Engel. var. *elliotii* na produção

de madeira serrada e resíduos de serraria, concluíram que o rendimento em madeira serrada, variou entre 37,5 e 56,4 % em média, e foi significativamente maior nas toras mais grossas e mais curtas. Entretanto, o comprimento da tora não influenciou de maneira consistente o rendimento em madeira serrada, talvez devido à boa forma do fuste das árvores, que geraram toras com baixo índice de tortuosidade. Estes autores concluíram também que as quantidades de casca, resíduos e po-de-serra não foram influenciadas pela variação no comprimento das toras. Trabalharam com cinco classes diamétricas, com variações de 12,1 cm a 25,5 cm no diâmetro e de 2,10 m a 4,20 m no comprimento das toras.

GARCIA, citado por BORGES *et alii* (1993) idealizou uma tabela correlacionando índices de rendimento para madeira serrada e resíduos, de acordo com o diâmetro mínimo da tora e o procedimento de desdobro da mesma. Os diâmetros variaram de 15 a 30 cm e os rendimentos em madeira serrada de 38,98 até 64,87 % .

REZENDE *et alii* (1992) analisando cinco estruturas de corte para o desdobro de toras de *Pinus elliottii*, em três classes de diâmetro (14,0 a 19,0 cm ; 19,5 a 24,5 cm e 25,0 a 30,0 cm), visaram maximizar os lucros de uma serraria. Estes autores concluíram que o retorno econômico aumenta, quando se emprega uma estrutura de corte específica para cada classe de diâmetro. Com a utilização dessa metodologia, pode-se obter um ganho de 10,3 % no volume total de madeira serrada, permitindo um aumento nos lucros da serraria da ordem de 28,3 %.

HOCHHEIM & MARTIN (1993) afirmam que a qualidade das toras influencia no processo produtivo da serraria, uma vez que todas as decisões de corte são tomadas em função da qualidade apresentada pela peça, com consequências sobre o rendimento material e velocidade do fluxo dos produtos em elaboração. Assim, o conjunto destes fatores reflete nos custos dos produtos finais, repercutindo na rentabilidade da serraria.

## 2 . 2 Geração de resíduos na indústria madeireira

A FAO (1970) adota os seguintes fatores de conversão para estimar os resíduos gerados pela indústria de transformação da madeira, na obtenção de 1 metro cúbico de produto acabado :

1,0 m <sup>3</sup> de mad. serrada conífera.....	1,67 m <sup>3</sup> de tora.....	59,8 %
1,0 m <sup>3</sup> de mad. serrada folhosa.....	1,82 m <sup>3</sup> de tora.....	54,9 %
1,0 m <sup>3</sup> de chapa de compensado.....	2,30 m <sup>3</sup> de tora.....	43,5 %
1,0 m <sup>3</sup> de laminado.....	1,90 m <sup>3</sup> de tora.....	52,6 %

FONTES (1989) em seu estudo realizado junto às indústrias madeireiras (Serrarias e Laminadoras) da Região Norte do país, mais precisamente em Rondônia, demonstra que o índice de aproveitamento das toras de madeira no processamento industrial sofre variações em função do tipo e tamanho das indústrias, equipamentos e espécies utilizadas, indicando que as principais perdas são as costaneiras e o pó-de-serra (serragem), chegando a representar 25 a 70 % do volume da tora. Nas serrarias, além da serragem e costaneiras, as peças são aparadas para padronizar a largura, o comprimento e a espessura, produzindo aparas, cavacos e/ou maravalhas. Nas laminadoras, o maior resíduo é formado pelas lâminas iniciais com tamanhos irregulares e defeitos decorrentes do formato das toras. O autor considera o rendimento médio das toras nas serrarias e laminadoras como sendo da ordem de 50 e 60 %, respectivamente, e assume uma composição de 25 % de serragem e 75 % de costaneiras e aparas, para os resíduos procedentes das serrarias.

QUEZADA & LISBOA (1983) também realizando estudo com a indústria madeireira da região Amazônica, consideram o rendimento da tora na serraria da ordem de 50 % e que aproximadamente, 70 % dos

resíduos gerados são constituídos por cascas, costaneiras, destopa e os 30 % restantes, por serragem e aparas finas.

NOCK (1977) afirma que a casca pode ocorrer em grande quantidade como resíduo da utilização industrial da madeira, sendo uma função do consumo de madeira bruta na indústria, dos diâmetros das toras, da espécie e do sítio ou região de origem da matéria prima. O autor indica também uma porcentagem média de casca em relação ao volume útil de madeira, podendo atingir 25 % para o *Pinus* spp. e 15 % para o Pinho (*Araucaria angustifolia*).

Um trabalho realizado pelo extinto IBDF e a Fundação da Universidade Federal do Paraná (1982), visando o levantamento dos resíduos das indústrias florestais do Paraná e de Santa Catarina, agrupou essas indústrias em: Serrarias, Serraria/Beneficiamento, Beneficiamento e Laminadoras/Fábricas de compensado. Este estudo classificou também os resíduos em três tipos distintos, ou seja:

- a) serragem : resíduo originado da operação de serras, encontrado em todos os tipos de indústria, à exceção das laminadoras;
- b) cepilho : resíduo gerado pelas plainas nas instalações de serraria/beneficiamento e beneficiadoras (indústrias que adquirem a madeira já transformada e a processam em componentes para móveis, esquadrias, pisos, forros, etc.), disponível exclusivamente no estado seco;
- c) lenha : resíduo de maiores dimensões, gerado em todos os tipos de indústria, composto por costaneiras, aparas, refilos, casca e outros.

O trabalho do IBDF/FUNPAR adotou os parâmetros relacionados na TABELA 03, como os fatores de conversão para estimar os resíduos gerados em relação ao volume útil total de matéria-prima consumida na indústria madeireira.

**TABELA 03 . Porcentagem de resíduos gerados em relação ao volume total de matéria-prima consumida na indústria de transformação da madeira dos Estados do Paraná e de Santa Catarina, em 1982**

TIPO DE RESÍDUO	INDUSTRIAS MADEIREIRAS			
	Serrarias	Beneficia - mento	Laminadoras	Fábricas de compensado
Serragem	12 %	05 %	-	03 %
Cepilhos	-	20 %	-	-
Lenha	50 % * 40 % **	15 %	50 %	08 %

Fonte : IBDF/ Fundação da UFPR (1982)

\* Lenha de toras de pequeno diâmetro

\*\* Lenha de toras de maior diâmetro

Como resultado final, o trabalho apresentou uma estimativa média de resíduos gerados pelas indústrias dos Estados do Paraná e Santa Catarina por tipo de industrialização, ou seja:

Serrarias	-	43 %
Serrarias/Beneficiamento	-	46 %
Beneficiamento	-	31 %
Laminadoras/Fab. de compensado	-	41 %

A quantidade real de resíduos obtida com a fabricação de produtos de madeira é distinta de uma instalação industrial para outra e depende de vários fatores, começando pelas propriedades da madeira.

passando pelo tipo e sistema de produção adotado pela indústria, até o produto final acabado. Entretanto, alguns trabalhos utilizam índices médios por tipo de indústria, como o estudo da FAO (1991), que apresenta uma porcentagem média de resíduos gerados em serrarias para os países em desenvolvimento, conforme demonstra a TABELA 04.

TABELA 04. Porcentagem média de resíduos gerados em serraria

INSUMO PRODUTO	Proporção do volume sólido de toras ( % )	
	Serraria com madeira seca ao ar	Serraria com madeira seca em estufa
Matéria-prima bruta <sup>1)</sup>	112 %	112 %
Casca	12 %	12 %
Matéria-prima líquida <sup>2)</sup>	100 %	100 %
Resíduos :		
costaneiras, refilos e destopo	34 %	34 %
serragem e pontas aparas de plaina	12 %	14 %
Total dos resíduos	46 %	54 %
Contração	02 %	04 %
Total mad. serrada	52 %	42 %

Fonte : FAO (199 )

(1) Matéria-prima com casca

(2) Matéria-prima sem casca

Estudo realizado pelo IPT e citado por VIANNA NETO (1984), sobre o desdobro de madeiras de quatro espécies de *Pinus* em serra alternativa, apresentou diferenças significativas de rendimentos entre as espécies. Diversos fatores que influíram nesse resultado são mostrados na TABELA 05. Entretanto, as diferenças foram causadas, basicamente, pelas características da matéria-prima processada, não sendo por aspectos inerentes à espécie mas sim, a idade do material, a dimensão, a

forma e a qualidade das toras foram os principais elementos causadores das diferenças.

RIBAS *et alii* (1989) trabalhando com *Pinus elliottii*, verificaram que as porcentagens de resíduos variaram de 24,5 a 40,5 % e foram significativamente maiores nas toras mais finas e nas mais longas. As maiores quantidades de serragem foram produzidas pelas toras mais finas e mais curtas (de 10,9 a 12,8 %). As porcentagens de casca variaram de 8,1 a 9,3 % , sendo maiores nas toras mais finas, independentemente do comprimento das mesmas.

TABELA 05 . Desdobro com toras de quatro espécies de *Pinus* e rendimentos médios em madeira serrada e resíduos

Características Rendimentos	<i>P. caribaea</i>	<i>P. elliottii</i>	<i>P. taeda</i>	<i>P. oocarpa</i>
Idade/anos	19	12	11	18
Desbaste	4 <sup>o</sup>	2 <sup>o</sup>	1 <sup>o</sup>	4 <sup>o</sup>
Diâmetro menor	19,9	18,9	15,9	19,5
Madeira serrada (%)	45,4	43,5	32,7	48,5
Casca (%)	8,5	11,2	8,4	7,3
Refilo (%)	33,6	34,8	37,2	30,7
Destopo (%)	4,4	4,3	10,0	4,5
Serragem (%)	16,7	17,5	20,1	16,3
Flexa (cm)	4,6	4,7	8,3	3,9

Fonte: VIANNA NETO ( 1984 )

GARCIA, citado por BORGES *et alii* (1993), montou uma tabela correlacionando índices de rendimento para costaneiras, aparas, serragem e madeira serrada, de acordo com o diâmetro mínimo da tora e os procedimentos de desdobramento das mesmas. A TABELA 06 apresenta estes índices para toras, com diâmetros na faixa de 15 a 30 cm.



**TABELA 06 . Correlação de índices de rendimento para madeira serrada e resíduos, de acordo com o diâmetro das toras**

Madeira e Resíduos	RENDIMENTO ( % )			
	15 cm	20 cm	25 cm	30 cm
<b>Madeira serrada</b>	38,98	51,91	53,31	64,87
<b>Costaneiras</b>	20,63	18,71	23,23	14,29
<b>Aparas</b>	30,03	16,43	9,68	6,17
<b>Serragem</b>	10,36	12,95	13,78	14,66

Fonte: BORGES *et alii* (1993)

### 2 . 3 Consumo de energia na indústria madeireira

Comparando com outros tipos de indústria, a da madeira não é considerada de emprego intensivo de energia. Em geral, a energia utilizada pelas indústrias de processamento mecânico da madeira, compreende a elétrica e a térmica. A primeira é empregada em grande parte para o acionamento de motores elétricos e iluminação, sendo que a sua obtenção é feita normalmente, através de compra na rede concessionária, por meio de contratos de fornecimento ou através de produção própria, utilizando-se de grupos geradores a diesel/gasolina e, no caso de instalações de co-geração, com turbo-geradores de vapor.

A segunda é obtida com a queima de combustíveis como: derivados do petróleo, carvão, gás natural, lenha, resíduos de madeira e resíduos ligno-celulósicos em geral, que produzem a energia térmica necessária, tanto para os processos produtivos (secagem de madeira serrada, lâminas e partículas; acondicionamento de toras; preparação de colas e de resinas; e prensagem à quente), como para conversão em energia secundária com a ajuda de turbogeradores de vapor e motores ou

turbinas a vapor. O vapor saturado é considerado o meio mais eficaz de transmitir calor em um processo produtivo.

Os consumos de energia na produção de madeira serrada, de lâminas, de painéis e de outros produtos são, em geral bastante específicos. As comparações de energia consumida por unidade de produto, a nível internacional, são muitas vezes incoerentes, devido a uma série de fatores que podem influir sensivelmente no consumo energético específico de cada tipo de indústria (FAO, 1993). Por outro lado, estes dados servem como indicadores do consumo de energia, para um mesmo tipo de atividade em vários países, conforme apresenta a TABELA 07.

**TABELA 07 . Consumo energético específico por m<sup>3</sup> de produto acabado em serrarias de países desenvolvidos**

Países	Energia elétrica (kwh/m <sup>3</sup> )	Energia térmica (GJ/m <sup>3</sup> )	Energia Total (GJ/m <sup>3</sup> )
Canadá	50	0,80	0,98
Finlândia	61	1,16	1,38
URSS	21	1,47	1,54
Polônia	64	2,61	2,84
Suécia	78	1,65	1,93

Fonte : FAO (1991), EKONO OY (1980)

LEVELTON & ASSOCIATION (1982) em um estudo encomendado pelo Serviço Florestal Canadense, avaliaram as necessidades energéticas das indústrias de serrarias canadenses e estabeleceram as seguintes faixas de consumo por tipo de energia :

energia elétrica	20,0 - 90,0	kwh/m <sup>3</sup>
energia térmica	0,3 - 1,6	GJ/m <sup>3</sup>

Segundo a FAO (1991), estas diferenças podem ser causadas, em boa parte, por diversos fatores entre os quais pode-se mencionar:

- capacidade da serraria;
- índice de utilização industrial;
- equipamentos e procedimentos industriais adequados;
- atividade integrada ou não;
- grau de automação industrial utilizado;
- espécies madeireiras, dimensões e teor de umidade;
- tipo e interação de produtos;
- nível de acabamento do produto;
- sistemas de secagem utilizados;
- condições climáticas da região;
- alcance das medidas de conservação de energia adotadas.

Não restam dúvidas que as diferenças entre instalações e tipos de processos permitam variações diversas com relação às quantidades necessárias de energia, para a obtenção de cada tipo de produto acabado. Segundo os dados da FAO (1992), para produção de madeira serrada seca ao ar livre, são necessários de 0,06 a 0,20 GJ/m<sup>3</sup>. Em relação à produção de madeira serrada seca em estufa, a energia necessária fica na faixa de 1,00 a 2,85 GJ/m<sup>3</sup>.

Entretanto, as necessidades energéticas requeridas em instalações características, que estejam bem administradas e mantidas podem, em média, ser as indicadas na TABELA 08.

TABELA 08 . Necessidades energéticas na indústria de transformação primária da madeira

TIPO DE INDUSTRIA	Energia elétrica (kwh/m <sup>3</sup> )	Energia térmica (GJ/m <sup>3</sup> )	Combustível para motor (L/m <sup>3</sup> )
<b>Mad. serrada</b> (seca ao ar)			
de folhosas	30	-	5
de coníferas	20	-	4
<b>Mad. serrada</b> (seca estufa)			
de folhosas	7,5	2,5	5
de coníferas	4,5	1,5	4

Fonte: FAO (1983), EKCNO 07 (1980)

## 2 . 4 Aproveitamento dos resíduos da indústria

### 2 . 4 . 1 Aspectos gerais

Considerando-se que 50 a 70 % do volume de madeira em tora que entra em uma serraria, para ser convertido em madeira serrada, resulte na forma de cascas, costaneiras, refilos, aparas e serragem, seria bastante irracional não promover o aproveitamento máximo destes subprodutos do beneficiamento primário da madeira que, em um primeiro momento, possam ser tidos apenas como rejeitos do processo, mas seguramente podem sair da serraria como matéria-prima para a produção de pasta e celulose, de chapas e de compostos orgânicos, bem como promover a auto-suficiência energética da própria indústria.

TUSET & DURAN (1979) afirmam que quando as costaneiras, os refilos e as aparas são transformados em partículas e/ou cavacos, a rentabilidade econômica da indústria melhora de 25 a 30 %. Tratando-se de uma indústria de médio a grande porte, possuidora de elevado consumo anual de madeira em tora, um aproveitamento adicional, com a produção

de cavacos pode ser o elemento decisório para atingir-se os benefícios necessários dentro de uma atividade de produção industrial.

Atualmente, nas instalações de serrarias modernas, o aproveitamento dos subprodutos é parte integrante normal da empresa e os equipamentos necessários para este fim têm sido considerados tanto quanto uma serra ou sistema de desdobro principal.

#### **2 . 4 . 2 Alternativas de aproveitamento**

A grande quantidade de resíduos gerados pelas indústrias de transformação da madeira é o principal motivo pelo qual tem-se buscado encontrar soluções para resolver este problema. Estas soluções estão basicamente, voltadas para: a) redução do volume de resíduos; b) eliminação dos resíduos; e c) utilização econômica dos mesmos.

Com relação à redução do volume, as serrarias têm apresentado soluções variadas: corte seletivo de toras, considerando a presença de defeitos nas mesmas; manutenção correta de discos, fitas, volantes e carros, principalmente afiação e regulagem; utilização serras-de-fita e serras alternativas de menor espessura possível; e a transformação dos resíduos (costaneiras, refilos, destopos e aparas) em cavacos durante o desdobro das toras (através de perfiladores-picador ou canteadeiras-picador) ou mesmo fora do processo, por meio de picadores anexos ao sistema de beneficiamento.

No que se refere à eliminação dos resíduos, o mais utilizado é a sua queima que, em algumas serrarias, é realizada a céu aberto, totalmente desprovida de qualquer controle ambiental, e em outras, médias e grandes, em queimadores construídos para este fim. Entretanto, o que mais caracteriza este processo é o grande desperdício de energia que normalmente é desperdiçada, sem nenhuma forma de aproveitamento. Quando o resíduo não é queimado pela empresa, é removido para terrenos

baldios ou utilizado como material de aterro (lixo, entulho), para desocupar o pátio industrial.

Segundo TUSET & DURAN (1979) a questão da utilização econômica dos resíduos é, na verdade, o tema que tem preocupado cada vez mais os empresários madeireiros, as instituições de pesquisa e os economistas florestais. Estes autores afirmam também que nos países escandinavos, a utilização dos resíduos constitui um requisito econômico prévio, para os investimentos em serrarias e fábricas de compensados.

Este princípio é confirmado no trabalho realizado pela FAO/CEPAL/ONUDI (1972) para indústrias florestais na América Latina, onde para uma serraria com produção anual de 60.000 m<sup>3</sup> de madeira serrada de *Pinus*, o retorno líquido por m<sup>3</sup> poderia ser de US\$ 9,50, sem o aproveitamento dos resíduos, e de US\$ 17,50, com a produção e venda de cavacos a partir dos resíduos.

Os resíduos da indústria de transformação mecânica da madeira, têm crescido tanto em importância como em valor, que em muitos países é mais correto chamá-los de subprodutos. Nas indústrias dos países escandinavos, os cavacos de costaneiras e recortes contribuem com 10 a 15 % das vendas totais das serrarias. Este ganho equivale em geral, ao custo total de mão-de-obra na serraria (FAO,1978; HASEK,1976).

Na Suécia, os empresários madeireiros fundaram uma poderosa organização para a comercialização dos produtos derivados das serrarias (APPERT, 1972). Na Finlândia, 20 % da pasta de sulfato e 10 % da pasta de sulfito, são obtidos a partir desta matéria-prima (HAKKILA ,1972) e quase todos os subprodutos das serrarias, são utilizados novamente na indústria florestal. Em outros países, estes subprodutos são convertidos em matéria-prima para a fabricação de chapas e pastas (FAO,1979).

Em relação à serragem, existem alguns aproveitamentos como: combustível para queima direta em fornos e caldeiras, "in natura" ou prensada na forma de briquetes: forração em estábulos ou para criações

avícolas; material de limpeza em curtimento; matéria orgânica para elaboração de composto (humos); e fabricação de moldulados fenólicos (TUSET & DURAN, 1979).

Segundo trabalho da FAO (1979) a produção de pasta refinada termomecânica, a partir de serragem, começou na década de 70, sendo que as propriedades de resistência são inferiores às da pasta mecânica, mas adequada para algumas qualidades de papel. O inconveniente de usar este tipo de resíduo na indústria de pasta celulósica é o tamanho reduzido de suas partículas, resultando em fibras muito curtas.

A utilização das cascas além das suas possibilidades energéticas (NOCK, 1977; MOODY, 1976; CORDER *et alii*, 1970 e CORDER, 1973) também apresenta possibilidades no campo dos extrativos, de acordo com as espécies. Entre estes extrativos, que podem ser separados quimicamente, encontram-se: taninos, ceras, óleos essenciais, complexos fenólicos, etc. A exemplo destas possibilidades, alguns taninos extraídos da casca do *Pinus radiata* foram estudados como adesivos para a fabricação de madeira compensada (HARKIN & ROWE, 1971).

### 2 . 4 . 3      **Aproveitamento energético**

A conversão direta da madeira em energia térmica é talvez a utilização mais antiga da energia fotossintética. A queima direta da madeira produz calor, produtos químicos e gases, sendo que a combustão completa, além de calor, produz também vapor d'água e CO<sub>2</sub> (ASSUMPÇÃO, 1978).

GRANTHAN *et alii* (1974) analisando a utilização de resíduos de madeira para geração de energia, apresentaram algumas vantagens e desvantagens. Como vantagens temos: a) providenciar as necessidades de energia térmica e elétrica requeridas pelo processo; b) a conversão madeira/energia pode diminuir consideravelmente os efeitos indesejáveis

causados ao meio ambiente, pelos despojos de resíduos originados junto às indústrias; c) economiza outras fontes energéticas (eletricidade, derivados de petróleo) e, conseqüentemente, melhora os custos de produção; d) a energia produzida não produz poluentes como nitrogênio e enxofre; etc. Como desvantagens os autores citam: a) o volume de resíduos industriais disponíveis nem sempre é suficiente para atender à demanda energética; b) incertezas em relação aos custos e ao suprimento contínuo da matéria-prima; c) falta de tecnologia eficiente, econômica e unidades geradoras para transformar os resíduos em energia elétrica; d) corrosões dos tubos de caldeiras são maiores com os combustíveis à base de madeira do que com aqueles derivados do petróleo.

Mediante o uso de energia da combustão da madeira, o vapor gerado poderá servir para aquecimento, força motriz ou para gerar eletricidade (BRITO & BARRICHELO, 1979).

Atualmente, a maioria das indústrias de transformação da madeira, implantadas nos países desenvolvidos, incorporam queimadores de serragem (resíduos finos) suficientes para economizar nos custos de determinados combustíveis fósseis. Caso o volume de resíduos produzidos não seja suficiente para cobrir as necessidades térmicas da unidade de produção, é usual comprá-los de terceiros. Entretanto, nos países em desenvolvimento, o potencial energético dos resíduos da indústria madeireira é pouco empregado devido à baixa utilização da secagem da madeira em estufas ou mesmo os investimentos de capital para a instalação de uma planta termogeradora.

O estudo da FAO (1991), sobre a conservação de energia nas indústrias mecânicas florestais, considera que quando se pensa em utilizar resíduos de madeira como fonte de energia, tanto para fornecer calor para o processo de secagem em estufas, quanto para gerar calor e energia em um complexo integrado; deve-se estudar com rigor alguns



elementos que podem influir decididamente na viabilidade do projeto, apresentados a seguir:

- a) custos atuais e futuros, previstos para as fontes tradicionais de energia e sua disponibilidade;
- b) necessidades energéticas da indústria (calor e eletricidade);
- c) disponibilidade e confiabilidade nos suprimentos de resíduos, custos, tipo, dimensões, conteúdo de umidade e proporção de elementos estranhos;
- d) custo de capital do equipamento necessário para recolher, tratar e queimar os resíduos de madeira;
- e) custo estimado para fazer a eliminação dos rejeitos;
- f) valor de mercado dos resíduos, como matéria prima para a fabricação de celulose, chapas e etc.

Portanto, a realização de um estudo criterioso, envolvendo todos estes elementos, bem como o planejamento de um sistema eficaz de manuseio, tratamento e combustão dos resíduos são medidas fundamentais para que o projeto de utilização dos resíduos como fonte de energia na indústria madeireira seja técnica e economicamente viável.

#### **2 . 4 . 3 . 1      Teor de Umidade**

O teor de umidade é considerado o fator que exerce a maior influência sobre a queima de materiais combustíveis. Inicialmente, a presença de água representa poder calorífico negativo, influenciando decididamente no poder calorífico do combustível, de modo inversamente proporcional. No processo de combustão, a primeira etapa consiste na evaporação e eliminação da água que se encontra no combustível. Sendo este teor elevado, o processo geralmente irá requerer o consumo de uma quantidade de tempo e combustível significativa (BRITO & BARRICHELO, 1982).

Segundo AROLA (1976), para se evaporar 1 kg de água contida na madeira, são necessários aproximadamente 556 Kcal, as quais devem ser deduzidas do seu poder calorífico. De acordo com MENDES (1983), o calor necessário para evaporar toda a água da madeira de *Pinus elliottii* ( calor latente de vaporização), a uma temperatura de 93 °C e pressão de vapor de 0,8103 Kg/cm<sup>2</sup>, é de 543,3 kcal/kg.

KOLLMANN (1968) coloca como condição indispensável para o uso da lenha/madeira, em instalações de geração de vapor, que a umidade não exceda à 25 %, pelo fato de que maiores proporções de água não somente diminuem o poder calorífico, como também reduzem a temperatura da fornalha e dos gases liberados, favorecendo a formação de voláteis sem queimar e vapores de alcatrões mesclados com vapores d'água, que se depositam nas chaminés como fuligem e material isolante.

FARINHAQUE (1981) realizando estudo sobre a influência da umidade no poder calorífico da madeira de Bracatinga (*Mimosa scabrella*), mostra a relação negativa entre o poder calorífico e o teor de umidade; quando o teor de umidade variou de 0 à 80 % , o poder calor ífico inferior da madeira alterou de 4.566 para 1.094 kcal/kg. Estes dados são apresentados na TABELA 09.

**TABELA 09 . Influência da umidade no poder calorífico da madeira de bracatinga (*Mimosa scabrella*)**

Umidade da Madeira em base seca (%)	Poder calorífico superior (kcal/kg)	Poder calorífico inferior (kcal/kg)
0	4.890	4.566
8	4.453	3.779
15	4.147	3.246
27	3.826	2.630
40	3.404	2.029
60	3.110	1.516
80	2.774	1.094

Fonte: FARINHAQUE (1981)

NOCK (1977), em relação à casca da madeira, apresenta um valor médio de 4.000 kcal/kg para a casca absolutamente seca. Como a umidade deste material encontra-se, normalmente, com valores entre 50 e 65 %, o autor assume um poder calorífico médio de 2.000 kcal/kg para a casca de madeira de *Pinus* spp., com massa específica básica de 350 kg/m<sup>3</sup>. O autor afirma ainda que a utilização da casca como combustível, além do alto teor de umidade, apresenta também como dificuldade alto teor de cinzas.

BRITO (1993) apresenta uma equação que permite fazer a dedução da quantidade de energia a ser gasta com a evaporação da água contida na madeira. O cálculo é efetuado a partir do conhecimento do "Poder Calorífico Inferior" (PCI) e do teor de umidade da madeira. Obtém-se, então, o "Poder Calorífico Líquido" (PCL), para um determinado teor de umidade ( U ), conforme mostra a equação 1.

$$PCL_u = PCI \times \frac{100 - U}{100} - 6 \times U \quad (\text{Eq. 1})$$

onde :  
 PCL<sub>u</sub> = poder calorífico líquido à umidade "U" (kcal/kg)  
 PCI = poder calorífico inferior (kcal/kg)  
 U = teor de umidade da madeira, em base úmida (%)

Considerando-se todas as perdas de calor, BRITO & BARRICHELO (1982) estimam que a eficiência do processo de combustão da madeira seca situa-se em torno de 70 - 80%, para um poder calorífico superior (PCS) médio de 4.900 kcal/kg. Com a madeira verde (50 % em base úmida), seu PCS será de apenas 2.305 kcal/kg e a sua eficiência é reduzida para

65%. A TABELA 10 oferece uma análise comparativa com alguns combustíveis alternativos.

**TABELA 10. Efeito do teor de umidade no poder calorífico da madeira comparado com outros combustíveis**

COMBUSTÍVEL	Poder calorífico bruto (MJ/kg)	Eficiência do processo (%)	Poder calorífico líquido (MJ/kg)
Madeira - 0 % U	19,8	80	15,8
" - 20 % U	15,9	76	12,1
" - 30 % U	14,5	74	10,7
" - 50 % U	10,0	67	6,7
Fueloil pesado	42,6	82	35,1
Fueloil leve	43,5	82	35,9
Gás propano	50,0	79	39,4
Gás butano	49,3	79	38,9

Fonte : DOBIE e WRIGHT (1979), LIN (1981), PINGREY e WAGGONER (1979)  
1 MJ/kg = 238,8 kcal/kg

## 2 . 4 . 3 . 2 Poder calorífico

O poder calorífico de um combustível expressa a quantidade de energia ou calor liberado em sua completa combustão, a uma pressão constante. A quantidade de calor produzida durante a combustão é, normalmente, apresentada na forma de calorias por grama (cal/g), quilocalorias por quilograma (kcal/kg) ou Joule por quilograma (J/kg) de combustível (KOLLMANN, 1968; BRITO & BARRICHELO, 1982; BRITO, 1993; SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES/INPM, 1971).

No caso da madeira e seus derivados, combustíveis que contêm hidrogênio e umidade, os gases liberados na combustão apresentam água na forma de vapor, influenciando no valor do poder calorífico. Assim, o poder

calorífico pode ser apresentado como poder calorífico superior (PCS) e poder calorífico inferior (PCI), dependendo se o calor gerado pela condensação da água de constituição do combustível é ou não considerado BRITO (1993).

Para a determinação do poder calorífico de um combustível, normalmente utiliza-se uma bomba calorimétrica (calorímetro). Neste caso, a água contida no combustível é evaporada durante a combustão e depois condensada sendo, portanto, seu calor latente recuperado. Dessa forma, através do calorímetro obtém-se o poder calorífico superior (PCS). Porém, na prática, o que interessa é o poder calorífico inferior (PCI), uma vez que o calor condensado do vapor d'água contido nos gases de combustão não é reutilizado. Para contornar este fato, utiliza-se a relação entre o PCS e o PCI, que é regida pela quantidade de hidrogênio do combustível, tendo-se então descontado o calor de vaporização da água formada no processo, conforme mostra a equação 2 (KOLLMANN, 1968; DOAT, 1977 citado por BRITO & BARRICHELO, 1982).

$$\text{PCI} = \text{PCS} - 600 \times 9.H / 100 \quad (\text{Eq. 2})$$

onde : PCI = poder calorífico inferior (kcal/kg)

PCS = poder calorífico superior (kcal/kg)

H = teor de Hidrogênio (%)

Como o teor de hidrogênio das madeiras em geral, é praticamente constante e situado em torno de 6,0 %, a Equação 2 resulta em:

$$\text{PCI} = \text{PCS} - 324 \quad (\text{Eq. 3})$$

KOLLMANN (1968) afirma que o poder calorífico da madeira seca, sem considerar o teor de cinzas, pode ser tomado a um valor médio de 4.500 Kcal/kg, para cálculos técnicos, uma vez que a composição química elementar das madeiras varia muito pouco. BRITO & BARRICHELO (1982) comentam que em processos calorimétricos têm-se encontrado valores para o PCS de madeiras secas variando entre 3.500 e 5.000 kcal/kg, sendo que as madeiras com maior teor de resina (geralmente as coníferas) apresentam valores mais elevados. Este fato é explicado pelo elevado poder calorífico das resinas, que pode atingir até 9.500 kcal/kg (BARKLEY, 1950; citado por CORDER, 1973).

No trabalho do IBDF/FUNDAÇÃO DA UFPR (1982), foi considerada para efeito de transformação do volume de resíduos em peso, a massa específica básica de 450 kg/m<sup>3</sup> e como poder calorífico médio, o PCS de 4.500 Kcal/m<sup>3</sup>, para madeira seca.

Para se ter uma idéia mais completa do poder calorífico dos resíduos de madeira, deve-se ter em conta o conteúdo térmico unitário deste combustível, envolvendo não apenas o seu poder calorífico, mas também o seu teor de umidade, tamanho das partículas e a eficiência do processo de transformação em que o combustível está sendo utilizado (FAO, 1991).

### 2 . 4 . 3 . 3      Densidade

Em relação aos produtos lenhosos, a forma mais comum de expressar a sua densidade é através da densidade aparente básica, que é a relação entre a massa seca do material (g) e o volume sólido no estado de

completa saturação ( $\text{cm}^3$ ). A densidade básica é uma das propriedades da madeira mais estudadas, existindo na literatura uma série de determinações da mesma para diversas espécies, em diferentes idades e procedências. SILVA, REICHMANN NETO & TOMASELLI (1983), em estudo comparativo da produção de biomassa para energia, apontaram uma densidade aparente básica de  $0,38 \text{ g/cm}^3$  para a madeira, e de  $0,28 \text{ g/cm}^3$  para a casca de *Pinus elliottii*.

O calor gerado a partir da combustão da madeira depende da concentração da "substância madeira". Segundo WEEKS, LASSOIE & BAKER (1977), citados por BRITO & BARRICHELO (1982), em geral as madeiras mais densas apresentam maior poder calorífico por unidade volumétrica.

O tamanho e a forma das partículas de madeira (cavacos e serragem) tem uma importância decisiva, tanto para as características de manuseio, armazenagem e transporte, como para a eficiência da queima dos resíduos. Enquanto as partículas finas e a serragem podem ser queimadas em suspensão, os resíduos maiores, como cavacos grandes, aparas, recortes, resíduos triturados e as costaneiras, necessitam de um tempo de permanência maior durante a queima, o que geralmente se faz em sistemas de grelhas.

Em geral, adotam-se alguns fatores de conversão para estabelecer, em termos médios, a relação entre a madeira bruta em tora e os seus subprodutos. Não resta dúvida que estas relações são extremamente dependentes das condições em que se encontram os materiais, principalmente em relação à espécie, densidade, teor de umidade, granulometria das partículas, medidas de volume, fatores de empilhamento ou armazenamento, rendimentos de processos, etc. Entretanto, a TABELA 11 mostra algumas destas equivalências, de caráter geral e valores médios.

**TABELA 11 . Equivalências gerais entre madeira em tora e cavacos**

UNIDADES	EQUIVALENCIAS
1 m estéreo de madeira em tora (madeira verde e sem casca)	= 0,65 a 0,75 metros cúbicos (m <sup>3</sup> ) = 600 a 700 kg (dependendo da espécie) = 1,3 m <sup>3</sup> de cavacos = 450 a 500 kg de cavacos
1 m cúbico de madeira em tora (madeira verde e sem casca)	= 1,5 a 1,6 metros estéreos (st) = 700 a 1000 kg (dependendo da espécie) = 2,5 a 2,7 m <sup>3</sup> de cavacos = 600 a 900 kg de cavacos
1 m cúbico de cavacos (úmido e empilhado)	= 240 a 330 kg = 0,55 m estéreo de madeira em tora = 0,37 a 0,40 m <sup>3</sup> de madeira em tora

Fonte: TUSET e DURAN (1979)

#### 2 . 4 . 3. 4 Geração de energia a base de resíduos

Para uma indústria madeireira com uma boa disponibilidade de resíduos, que possam ser utilizados como combustíveis, apresentam-se várias possibilidades quanto à forma de poder transformá-los em energia aproveitável. A eleição da utilização mais eficaz e rentável da energia baseada em resíduos, bem como a seleção do processo mais adequado são questões para se estudar caso a caso, dadas as peculiaridades e particularidades de cada indústria. Entretanto, atualmente, existe uma gama de condições para a utilização do calor gerado pela queima da



madeira e resíduos no campo industrial, sendo que os usos mais comuns estão ligados à produção de vapor em caldeiras e à cogeração de energia.

Os sistemas de caldeiras distribuem-se basicamente, em duas categorias: as fogotubulares e as aquatubulares. As primeiras são utilizadas quando necessita-se de pressões de vapor até o máximo de 20 kg/cm<sup>2</sup>, em operações que servem muito bem para as necessidades térmicas da indústria de transformação da madeira. Elas são mais acessíveis economicamente, e funcionam aproveitando o princípio dos gases quentes da combustão, que passam por tubos de aço colocados em camisas externas de água. As caldeiras aquatubulares apresentam os tubos soldados de tal forma que constituem paredes completas, fechando a câmara de combustão, através da qual passa a água, vapor ou ambos. Devido a sua construção, estas caldeiras são utilizadas, quase que exclusivamente, quando as necessidades de pressão de vapor são superiores a 10 kg/cm<sup>2</sup> e para proporcionar energia motriz aos geradores de turbinas (FAO, 1991).

A maioria das caldeiras industriais à base de madeira/lenha, instaladas em vários países, operam na faixa de 9.000 a 20.000 kg de vapor/hora, com um consumo médio de 4 a 5 kg de madeira combustível/kg de vapor produzido (BRITO & BARRICHELO, 1982).

A cogeração é a produção simultânea de energia elétrica e uma forma utilizável de energia térmica, como o vapor. O processo inicia-se com a geração de vapor a alta pressão, em uma caldeira passando através de um gerador de turbina, para a produção de energia elétrica utilizando o vapor de escape como energia térmica para a secagem industrial. Conseqüentemente, mais do que simplesmente gerar eletricidade a partir dos resíduos de madeira, a cogeração eleva a eficiência da utilização energética para aproximadamente 75 % (HAYGREEN & BOWYER, 1982).

Outra forma de gerar energia a partir dos resíduos é através da gaseificação de madeiras que, segundo ASSUMPÇÃO (1978), é obtida nos

processos de pirólise, na presença de quantidades controladas de ar ou misturas de oxigênio e vapor d'água, em diferentes proporções. Entre os vários processos de gaseificação existentes, o poder calorífico médio dos gases gerados varia de 1.100 a 2.600 kcal/m<sup>3</sup> de gás, com uma produção média de 1.700 m<sup>3</sup> de gás/tonelada de combustível seco (madeira ou resíduo) e uma eficiência de conversão térmica da ordem de 60 a 80 % (CTFT, 1971 e KATZEN, 1975).

Os gases de madeira podem ser utilizados como fonte energética de várias maneiras, entre elas: a queima direta (como é feita em fornos de cal) e/ou como combustível em motores a diesel e turbinas. Quando empregado como combustível em motores a diesel, acoplado a um alternador, um gás de madeira pode gerar energia elétrica na proporção de 1 kwh/1,2 kg de madeira seca (ASSUMPÇÃO, 1978 e CTFT, 1971).

VON WENDORF (1980) afirma que 3,4 kg de madeira seca ao ar tem melhor rendimento que 1,0 litro de óleo diesel, no caso de motores que utilizam como combustível esse tipo de gás.

### 3 . MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi baseado no estudo de casos envolvendo três serrarias da região Sul do país, trabalhando com madeira de *Pinus elliottii* (2º e 3º desbastes). Os dados e as informações, levantadas junto a estas empresas, foram considerados básicos e complementados com alguns testes realizados em laboratório. Define-se como serraria uma unidade industrial que transforma toras em madeira serrada (transformação primária).

#### 3 . 1 Area de estudo

Na região Sul do Brasil, mais especificamente nos Estados do Paraná e Santa Catarina, localizam-se aproximadamente 9.000 indústrias de transformação da madeira (Serrarias, Serrarias/Beneficiamento, Laminadoras e Fábricas de Compensado), sendo que o tipo de indústria que interessou a este trabalho (Serraria integrada Desdobro/Beneficiamento) apresenta cerca de 1.300 unidades instaladas.

Considerando o expressivo número de indústrias que atuam neste segmento, o desenvolvimento de um estudo abrangente seria bastante difícil de ser executado. Dessa forma, optou-se por analisar casos distintos e algumas empresas representativas do setor de transformação da madeira de *Pinus spp.* do Estado de Santa Catarina.

#### 3 . 2 Seleção das indústrias

A partir do contato com várias empresas, realizou-se um processo de seleção onde foram escolhidas de 03 empresas, que

forneceram as informações necessárias para a execução deste trabalho. Neste processo seletivo, foram adotados os seguintes critérios :

- a . **tipo de matéria prima consumida:** apenas as empresas que estavam beneficiando a madeira de *Pinus elliottii* com idade e diâmetro correspondentes ao 2º e 3º desbastes;
- b . **capacidade instalada:** empresas com produção mensal de madeira serrada na faixa de 1.200 a 2.200 m<sup>3</sup>;
- c . **processamento mecânico:** empresas utilizando processos de beneficiamento da madeira com equipamentos diferenciados, em especial, as serras principais de desdobro das toras;
- d . **interesse da empresa:** somente aquelas interessadas em participar e colaborar com o trabalho, permitindo a coleta de dados em suas unidades de produção.

As três empresas selecionadas foram do Estado de Santa Catarina e apresentaram as seguintes características básicas :

**Serraria 01** - Produção de madeira serrada : 1.600 m<sup>3</sup>/mês

Nº total de funcionários : 126

Serras principais : serra-de-fita com 800 mm e serra circular dupla (diâmetro máximo de 30 cm).

**Serraria 02** - Produção de madeira serrada : 1.300 m<sup>3</sup>/mês

Nº total de funcionários : 110

Serras principais : serra-de-fita com 1000 mm e serra-de-fita de reserra com 1.100 mm.

**Serraria 03** - Produção de madeira serrada : 2.100 m<sup>3</sup>/mês

Nº total de funcionários : 142

Serras principais : perfilador/picador (diâmetro máximo de 40 cm) e duas serras circulares múltiplas (com altura de corte de 8").

### 3 . 3 Descrição do processo de beneficiamento da madeira de *Pinus spp.*, nas Serrarias 1 , 2 e 3.

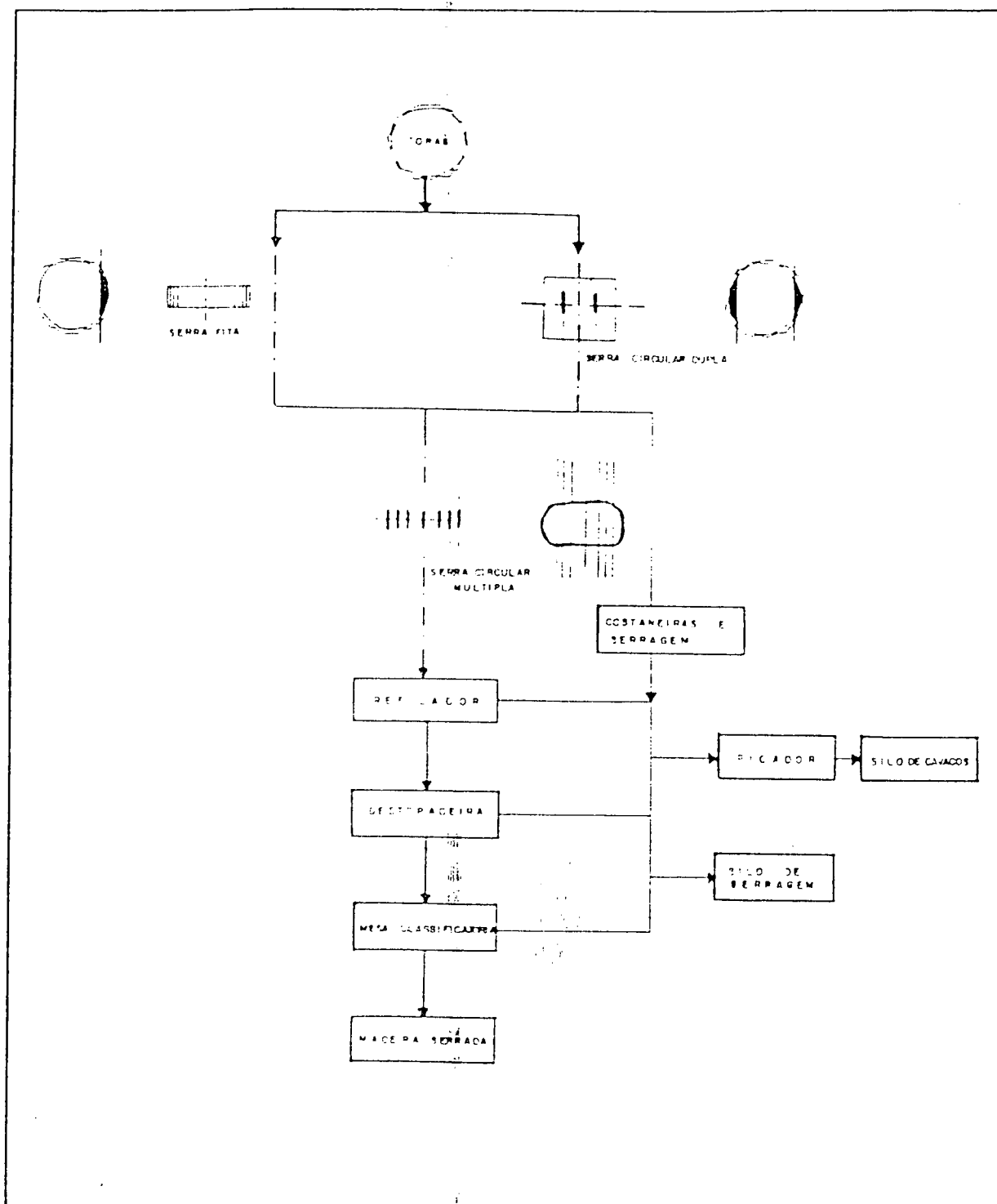
O processo de beneficiamento da madeira de *Pinus spp.* em uma serraria refere-se ao sistema utilizado por esta unidade industrial para desdobrar uma tora em peças de seção quadrangular. Entretanto, este sistema pode ser adaptado, modificado ou sofrer uma nova configuração para atender às mais diversas necessidades, como variações da matéria prima (forma das toras) e uma diversidade de produtos. Estes fatos provocam mudanças nos desenhos de cortes de uma tora.

Devido aos vários aspectos ligados, tanto à engenharia de produção quanto ao sistema de desdobro adotado em cada indústria, o presente trabalho considerou que cada uma das três serrarias estudadas apresenta projeto conceitualmente diferenciado, com relação ao seu processo de beneficiamento da madeira. Portanto, faremos a seguir uma descrição de cada um destes processos.

A Serraria 01 é considerada como uma serraria mista, uma vez que apresenta duas serras principais : uma serra-de-fita com volante de 800 mm, e uma serra circular de eixo duplo, com limite de diâmetro até 30 cm. O equipamento utilizado para a resserra é uma serra circular múltipla, que trabalha com blocos de até 20 cm de altura, e os auxiliares são : refiladeira, destopadeira e um picador, para a produção de cavacos.

A FIGURA 05 apresenta um esquema simplificado do processo de beneficiamento da madeira de *Pinus spp.* da Serraria 01. As toras são colocadas no estaleiro, dando início ao processo de desdobro, e passam por uma classificação, em função do diâmetro médio e do aspecto geral da mesma (conicidade e tortuosidade). As toras retas, com pouca conicidade e diâmetro médio acima de 26 cm, são destinadas à serra-de-fita (em média, 20% do total de toras processadas no dia), onde são realizados dois cortes sucessivos paralelos ao eixo, retirando-se a costaneira e a

FIGURA 05. Esquema simplificado do processo de beneficiamento da madeira de *Pinus ssp.*, na Serraria 01.



primeira tábua para formar um semibloco, que segue até a serra circular múltipla para o desdobro das tábuas. As demais toras são destinadas à serra circular dupla, onde são realizados dois cortes simultâneos

paralelos ao eixo, retirando-se as costaneiras e formando o semibloco, que segue também até a serra circular múltipla para o desdobro das tábuas.

As costaneiras com casca, produzidas nas duas serras principais (serra de fita e serra circular dupla), são transportadas por correias até um picador para a produção dos cavacos, que são posteriormente armazenados em silos.

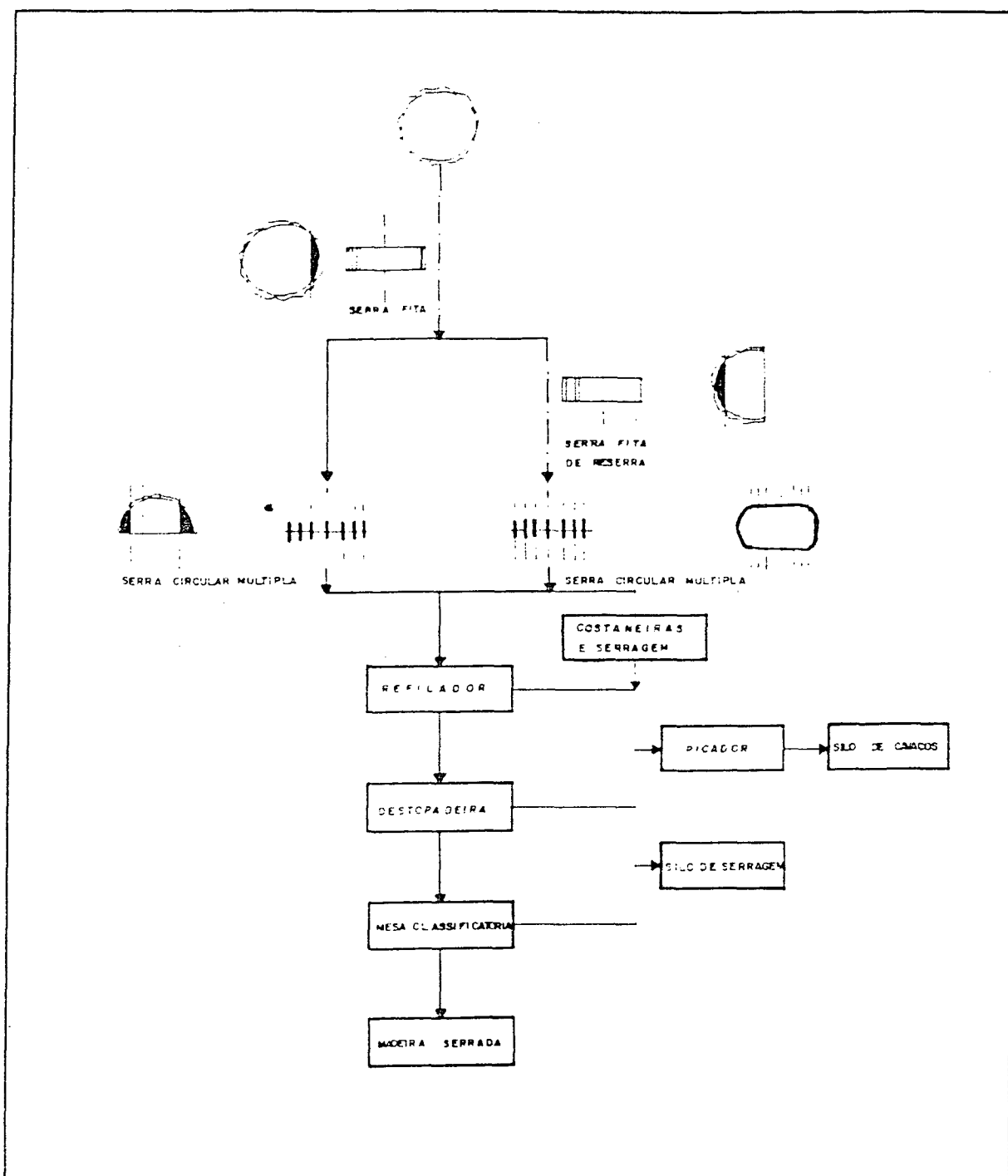
As tábuas produzidas pela serra circular múltipla seguem para uma mesa, que distribui as peças para o refilador e a destopadeira. Após estarem devidamente alinhadas e bitoladas, as peças passam pelo banho de preservantes e chegam à mesa classificadora final, onde a madeira serrada é selecionada.

Os resíduos gerados no refilador e na destopadeira seguem também por correias até o picador. A serragem produzida é coletada em cada máquina por um sistema de exaustão e destinada a um silo de serragem. Entretanto, este sistema não coleta toda a serragem e parte da mesma segue junto com as costaneiras, refilos e recortes, sendo que o produto comercializado por esta indústria (biomassa para uso energético) apresenta, em média, uma composição de 85% de cavacos e 15% de finos (serragem).

A Serraria 02 possui duas serras principais uma serra-de-fita dupla, com volante de 1100 mm, e uma serra-de-fita de resserra, com volante de 1000 mm. Os equipamentos auxiliares são : duas serras circulares múltiplas, serra circular de mesa, destopadeira dupla e um picador.

A FIGURA 06 apresenta um esquema simplificado do processo de beneficiamento da madeira de *Pinus spp.* da Serraria 02. Nesta indústria, as toras são admitidas no processo de desdobro, passando inicialmente pela serra-de-fita dupla, onde são realizados dois cortes sucessivos e paralelos ao eixo da tora, retirando-se a costaneira e a primeira tábua.

FIGURA 06. Esquema simplificado do processo de beneficiamento da madeira de Pinus spp., na Serraria 02.



Dependendo da tora, o semibloco formado segue para uma serra circular múltipla, onde é realizado o desdobro das tábuas.



Após o corte inicial na serra-de-fita dupla, as toras com diâmetros maiores passam também por uma serra-de-fita de resserra, a fim de realizar os cortes sucessivos do lado oposto da tora e formar o semibloco, que seguirá para a serra circular múltipla.

As peças produzidas nas serras circulares múltiplas são levadas até uma mesa de distribuição e então conduzidas para o refilador e a destopadeira. Após alinhadas e bitoladas, as peças passam por um banho de preservantes e chegam a mesa de classificação. A madeira serrada é selecionada e destinada ao processo de secagem.

Na Serraria 02, as costaneiras com cascas e os resíduos dos refilos e do destopo são também transportados por correias até um picador, para serem transformados em cavacos e, posteriormente, levados para um silo de armazenamento. A serragem também é coletada junto às máquinas de corte, através de um sistema de exaustão, e transportada para um silo.

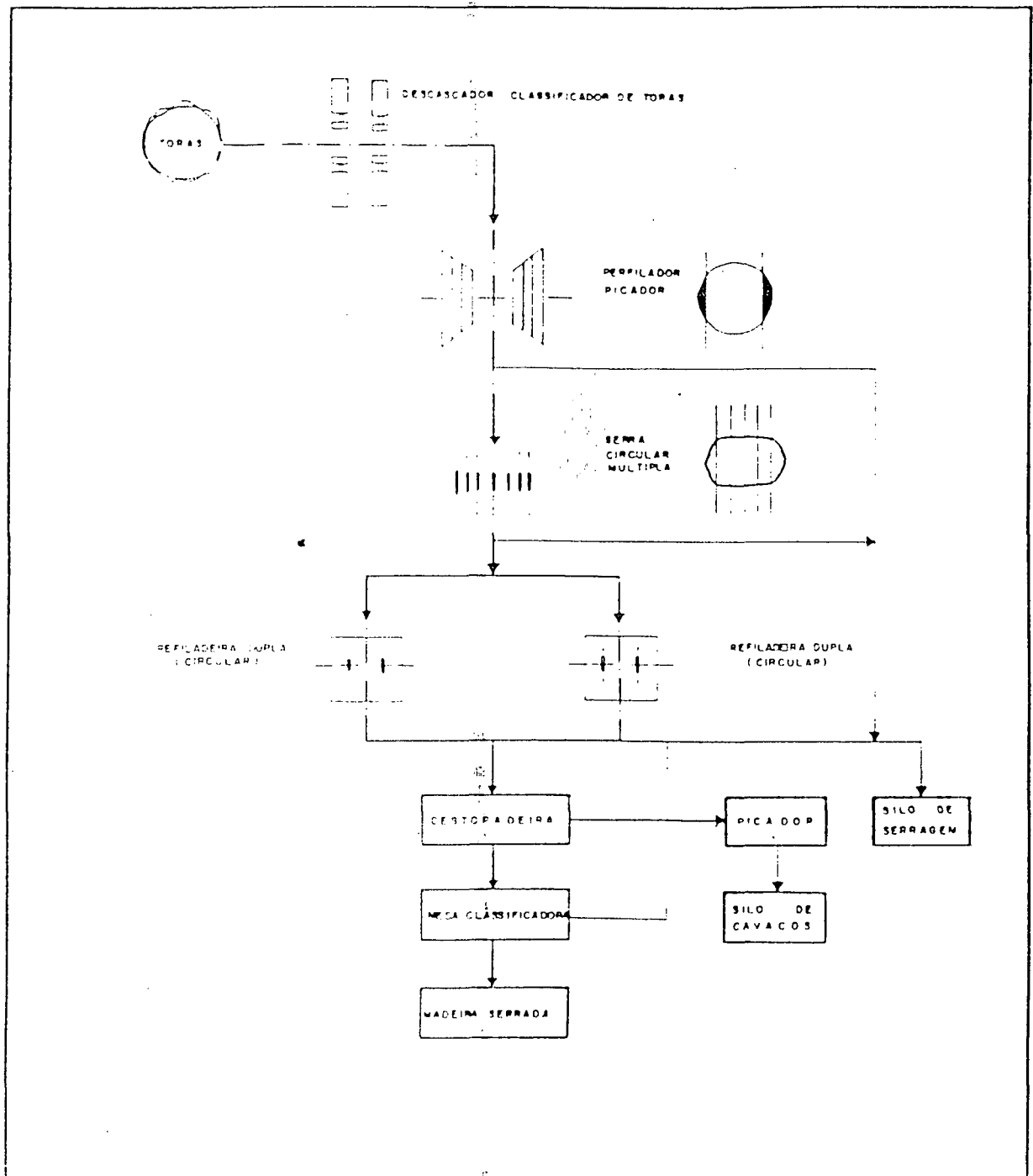
A Serraria 03 diferencia-se das demais por adotar a técnica de perfilagem, que é caracterizada : pela alta velocidade de processamento, os cortes múltiplos, a rapidez de variação nos esquemas de corte e automatização do fluxo de produção. A FIGURA 07, apresenta um esquema simplificado do processo de beneficiamento da madeira de *Pinus spp.*, na Serraria 03.

A linha de processamento desta serraria é composta por : um picador-perfilador, com altura de corte máxima para diâmetros de 40 cm; uma serra circular múltipla; duas serras circulares de eixo duplo (refiladeiras); uma destopadeira dupla; e um picador.

As toras estocadas no pátio da indústria passam, inicialmente, pelo descascador mecanizado sendo classificadas, em seguida, em três classes de diâmetro : a 1ª, com 15 a 18 cm de diâmetro; a 2ª, com 18 a 20 cm de diâmetro; e a 3ª, com diâmetros acima de 20 cm. Esta

classificação é para viabilizar a utilização de um esquema de corte para cada classe de diâmetro.

FIGURA 07. Esquema simplificado do processo de beneficiamento da madeira de *Pinus spp.*, na Serraria 03.



Toda a linha de processamento é comandada por um painel central. As toras, após serem descascadas e selecionadas nas três classes de diâmetro, são admitidas no processo pelo picador-perfilador. Este equipamento, através de uma única operação, produz um bloco de secção transversal retangular e, simultaneamente, transforma os segmentos periféricos em cavacos, ou seja : as costaneiras são picadas junto com a formação do bloco que, em seguida, é conduzido para uma serra circular múltipla, onde é desdobrado em peças com as dimensões requeridas.

Após a resserragem, as duas tábuas laterais são separadas, seguindo para o refilamento pelas serras circulares duplas. A madeira serrada, resultante do centro da tora, segue diretamente para o destopo e, após essas operações (refilo e destopo), passam pelo banho de preservantes, chegando a mesa classificadora final.

A proposta da técnica de perfilagem é de que, em uma única linha compacta de desdobro, ocorra o processamento integral da tora, com todos os segmentos laterais sendo transformados diretamente em cavacos. Entretanto, no caso da Serraria 03, apenas as costaneiras são picadas simultaneamente, através do picador-perfilador, e os resíduos do refilamento e do destopo, picados posteriormente, como no sistema tradicional.

### **3 . 4      Coleta de dados**

As informações necessárias para a realização deste trabalho foram coletadas diretamente nas três serrarias selecionadas, durante o segundo semestre de 1990, mais especificamente, no mês de novembro. Na fase inicial, os dados foram levantados, através de entrevista realizada com os gerentes destas serrarias, por meio de um questionário geral (Anexo I), dividido em 05 partes, objetivando : a) informações

gerais sobre a empresa, b) matéria-prima consumida, c) equipamentos utilizados, d) nível de processamento, e e) resíduos gerados. Em seguida, levantaram-se os dados básicos de consumo de matéria-prima, rendimento em madeira serrada e quantificação dos resíduos na própria linha de produção de cada indústria, conforme metodologia descrita a seguir.

### 3 . 4 . 1      Formação dos lotes de toras

A matéria-prima, utilizada nas três serrarias, foi constituída de toras de madeira de *Pinus elliotti*, provenientes dos cortes de 2º e 3º debates, de florestas próximas às indústrias ou disponíveis em seus pátios. Considerando-se o fato de que a coleta dos dados (medições e pesagens) na linha de produção da indústria, para cada tora, ser de difícil execução prática, foi necessária a formação de lotes, para que os trabalhos pudessem ser realizados. Desta forma, as toras foram selecionadas, medidas, pesadas e separadas em lotes com 07 unidades nos pátios das serrarias, sendo agrupadas em classes de diâmetros com amplitude de 4,50 cm, a partir do mínimo de 15,00 e até o máximo de 29,50 cm. A precisão adotada para a medição dos diâmetros foi de 0,5 cm.

As classes diamétricas utilizadas foram:

**Classe A** \_ 15,00 a 19,50 cm de diâmetro

**Classe B** \_ 20,00 a 24,50 cm de diâmetro

**Classe C** \_ 25,00 a 29,50 cm de diâmetro

Para cada classe diamétrica, foram separados três lotes de toras, sendo processadas vinte e uma toras por classe e sessenta e três toras por indústria. O total de toras processadas nas três serrarias foi de cento e oitenta e nove, distribuídas em vinte e sete lotes.

### 3 . 4 . 2 Medição dos volumes das toras

Os diâmetros foram medidos com a casca, nas pontas fina (d1) e grossa (d2) das toras, sendo que o diâmetro médio (D) de cada tora foi tomado como referência, tanto para a classificação diamétrica quanto para o cálculo de seu volume. O comprimento das toras variou entre 3,00 e 4,40 m, dependendo da serraria. No mesmo dia do corte, as toras foram pesadas individualmente. Com estes dados, determinou-se o volume de cada tora através da fórmula :

$$V = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot L}{4}$$

onde :

V = Volume da tora (m<sup>3</sup>)

D = Diâmetro médio da tora (cm)

L = Comprimento da tora (m)

A variação no comprimento das toras ocorreu pelo fato das serrarias trabalharem com comprimentos diferenciados. Em cada serraria o tamanho da tora obedece a uma padronização já estabelecida desde a exploração florestal. Tanto assim, que dentro de cada serraria estudada, a variação no comprimento das toras, entre os lotes formados, não foi tão expressiva ou seja; para a Serraria 1 de 3,14 a 3,53 m, para a Serraria 2 de 3,84 a 4,39 m e para a Serraria 3 de 3,21 a 3,26 m.

Com os somatórios dos volumes e pesos das toras, determinou-se o volume ( $m^3$ ), o peso (Kg) e a densidade ( $Kg/m^3$ ) correspondente a cada lote. Os dados referentes a cada um deles, vinte e sete no total, são apresentados no Anexo II deste trabalho.

### 3 . 4 . 3 Beneficiamento da madeira na serraria

Os lotes de toras foram admitidos individualmente no processo de desdobro, seguindo a ordem normal de funcionamento da serraria. O desenho de corte, utilizado em cada indústria, foi aquele que permitia obter a maior quantidade de peças de madeira serrada de *Pinus*, comercializadas no mercado madeireiro, com base nas bitolas apresentadas na TABELA 12.

**TABELA 12. Bitolas comercializadas no mercado de madeira de *Pinus spp.***

BITOLAS COMERCIAIS	DENOMINAÇÃO
7,5 x 7,5 cm	Pontaletes
2,5 x 7,5 cm	Sarrafos de 7,5 cm
2,5 x 10,0 cm	Sarrafos de 10,0 cm
2,5 x 15,0 cm	Tábuas de 15,0 cm
2,5 x 20,0 cm	Tábuas de 20,0 cm

Fonte: ABPM - Associação Brasileira dos Produtores de Madeira (1987).

Tendo como base as bitolas comerciais apresentadas na TABELA 12, a madeira serrada produzida foi classificada e pesada logo após o desdobro, sendo realizada a cubagem das peças de cada lote.

### 3 . 4 . 4 Quantificação dos resíduos gerados

Considerando-se que no processo de industrialização da madeira a geração de resíduos está em função da matéria-prima utilizada, do tipo de equipamento, do nível de processamento na indústria e do produto final, procurou-se controlar estas variáveis, utilizando os mesmos tipos de matéria-prima, nível de processamento e produto final, nas 03 (três) serrarias estudadas.

Com relação ao tipo de equipamento, houve uma variação nas serrarias, envolvendo não somente os equipamentos mas todo um processo de beneficiamento da madeira, relacionado aos aspectos da engenharia de produção e ao sistema de desdobro adotados por estas indústrias. As FIGURAS 05, 06 e 07 apresentam a diferenciação destes processos, que correspondem a 03 (três) tratamentos distintos neste trabalho.

À medida que cada lote de toras era processado, o resíduo gerado naquela fase era coletado e pesado. Dessa forma, quando as toras passavam pelas serras principais, sendo desdobradas em tábuas, os resíduos de costaneiras eram coletados e pesados, assim como os resíduos das refiladeiras e destopadeiras. Na serraria 3, houve uma alteração em função da impossibilidade de pesar as costaneiras, pois no desdobro das toras as mesmas eram simultaneamente picadas e transformadas em cavacos. Assim, o peso das costaneiras foi obtido pela diferença entre os pesos das toras e dos blocos formados pelo picador-perfilador, dentro de cada lote.

Finalmente, logo após o desdobro, a madeira serrada obtida das 07 (sete) toras de cada lote, foi pesada e cubada.

A separação e a quantificação dos resíduos gerados nas linhas de produção das serrarias apresentaram algumas dificuldades. No caso da serragem (pó-de-serra) e das cascas, não foi possível, durante o processo de desdobro das toras, coletar e pesar individualmente, estes

resíduos. O peso da serragem e da casca foi fornecido pela diferença entre os pesos das toras e a somatória dos pesos da madeira serrada, dos resíduos de costaneiras, refilos e destopo, que foram coletados e pesados individualmente.

Com base em informações das empresas estabeleceu-se, também, que 1% da diferença entre os pesos das toras, e da madeira serrada e resíduos seria considerado como perdas no processo, ou seja, em relação aqueles resíduos que não puderam ser quantificados, uma vez que estavam dispersos por toda a linha de produção, nas máquinas, nas correias transportadoras, etc.

Os formulários utilizados na coleta destes dados e a compilação dos mesmos estão apresentados nos Anexos I e II.

### **3 . 4 . 5 Caracterização energética dos resíduos**

Para a determinação do poder calorífico dos resíduos (cavacos e serragem), utilizou-se de uma bomba calorimétrica (calorímetro) e obteve-se o poder calorífico superior (PCS) das amostras testadas. Para o conhecimento do poder calorífico inferior (PCI), considerou-se a relação entre o PCS e o PCI, conforme demonstrado por KOLLMANN (1968).

A metodologia utilizada para os testes é baseada na norma ASTM 5287-77, com adaptações para o peso da amostra e nº de repetições, conforme procedimentos adotados por BRITO & BARRICHELO (1982).

Foram coletadas amostras de cavacos e serragem apenas nas Serrarias 1 e 3 , uma vez que os resíduos da Serraria 2 eram similares aos da Serraria 1 ou seja, a casca da tora também está nos resíduos.

### **3 . 5 Delineamento estatístico**



Para a análise dos dados utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado, com tratamentos fatoriais 3 x 3. Esta escolha deu-se em razão da boa uniformidade apresentada pelos lotes de toras de *Pinus elliottii* dentro de suas respectivas classes diamétricas. As unidades de amostras deste trabalho foram constituídas por lotes de 07 toras, sendo que os dados analisados corresponderam às médias de cada lote.

Foram utilizados 09 (nove) tratamentos discriminados em relação aos fatores Serraria (tipo de desdobro) e Classe diamétrica. Estes tratamentos são descritos a seguir :

- T 1 = Serraria 01 e Classe diamétrica A.
- T 2 = Serraria 01 e Classe diamétrica B.
- T 3 = Serraria 01 e Classe diamétrica C.
- T 4 = Serraria 02 e Classe diamétrica A.
- T 5 = Serraria 02 e Classe diamétrica B.
- T 6 = Serraria 02 e Classe diamétrica C.
- T 7 = Serraria 03 e Classe diamétrica A.
- T 8 = Serraria 03 e Classe diamétrica B.
- T 9 = Serraria 03 e Classe diamétrica C.

Para cada tratamento foi utilizado o número de 03 (três) repetições. O esquema do delineamento utilizado é apresentado a seguir :

**TABELA 13 . Esquema do delineamento em função dos fatores Serraria e Classes de diâmetro.**

		Classes de diâmetro ( B )						E
		b 1		b 2		b 3		
Serrarias  ( A )	a 1	Y111		Y121		Y131		Y 1..
		Y112	Y11.	Y122	Y12.	Y132	Y13.	
		Y113		Y123		Y133		
	a 2	Y211		Y221		Y231		Y 2..
		Y212	Y21.	Y222	Y22.	Y232	Y23.	
		Y213		Y223		Y233		
	a 3	Y311		Y321		Y331		Y 3..
		Y312	Y31.	Y322	Y32.	Y332	Y33.	
		Y313		Y323		Y333		

As variáveis de resposta consideradas na análise de variância foram :

- # Rendimento de madeira serrada ( % )
- # Resíduos de costaneiras ( % )
- # Resíduos de destopadeira ( % )
- # Resíduos de refiladeira ( % )
- # Resíduos de Serragem e Cascas ( % )

A TABELA 14 apresenta as fontes de variações obtidas em cada uma das análises realizadas.

**TABELA 14 . Quadro da Anova com as fontes de variação e os graus de liberdade.**

Fonte de variação	Graus de liberdade
Tratamentos	$( t-1 ) = 8$
Serraria ( A )	$( a-1 ) = 2$
Classes de diâmetro ( B )	$( b-1 ) = 2$
Interação Serraria x Classe	$( a-1 ).( b-1 ) = 4$
Erro experimental	$t ( r-1 ) = 18$
<b>TOTAL</b>	$( t.r-1 ) = 26$

#### 4 . RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos em cada uma das análises realizadas são apresentados, possibilitando a avaliação das diferenças entre os 9 (nove) tratamentos em relação às serrarias e às classes de diâmetro.

##### 4 . 1 Rendimento volumétrico em madeira serrada

As médias do rendimento volumétrico em madeira serrada, ou seja, a relação percentual entre o volume de madeira serrada e o volume da tora, são apresentadas na TABELA 15. Estes resultados demonstram que o rendimento em madeira serrada para os tratamentos estabelecidos variou de 22,37 a 39,38 % em média, dependendo do tipo de serraria e da classe de diâmetro.

**TABELA 15 . Rendimentos médios em madeira serrada de *Pinus elliottii* (%) em função das serrarias e das classes de diâmetro**

Serrarias	Classes de diâmetro (cm)			Média Geral
	A (15.00-19.50)	B (20.00-24.50)	C (25.00-29.50)	
1	22,37	27,77	32,03	27,39
2	32,53	37,33	39,38	36,41
3	25,48	27,47	29,78	27,58
Média Geral	26,79	30,86	33,73	30,46

O rendimento médio geral das três serrarias estudadas foi da ordem de 30,46 %, que é considerado baixo por alguns autores como ASSINI *et alii* (1979), FREITAS (1986) e RIBAS *et alii* (1989), e normalmente atribuído à qualidade inferior do material processado e à performance do equipamento utilizado. Entretanto, os rendimentos aqui apresentados foram obtidos na linha de produção de três unidades industriais distintas, processando matéria-prima de qualidade normal e com equipamentos variando do tradicional ao moderno, como é o caso da Serraria 3.

Com base nos dados obtidos e apresentados na TABELA 15, pode-se afirmar que com o aumento dos diâmetros, houve também um aumento do rendimento em madeira serrada em todas as serrarias, concordando com as observações e afirmações de PHILLIPS & SCHROEDER (1975), VIANNA NETO (1984), PONCE (1984), FREITAS (1986) e RIBAS *et alii* (1989), de que o diâmetro das toras influencia decididamente no rendimento em madeira serrada.

As classes de diâmetro A, B e C apresentaram um rendimento médio variando de 26,79 % (Classe A) a 33,73 % (Classe C), com uma diferença de 6,94 %. No entanto, as variações dentro de cada classe diamétrica foram mais expressivas que aquelas existentes entre estas classes, ou seja: 10,21 % (Classe A); 9,86 % (Classe B); e 9,6 % (Classe C). Isso demonstra que, neste caso, o tipo de serraria influenciou mais no rendimento volumétrico do que o diâmetro das toras. É bastante provável que este fato esteja diretamente relacionado com a engenharia de produção e o sistema de desdobro, adotados em cada uma destas serrarias, uma vez que estas variáveis influem significativamente no rendimento em madeira serrada, de acordo com VIANNA NETO (1984), FREITAS (1986) e REZENDE *et alii* (1989).

A Serraria 2 foi a que apresentou os melhores índices de rendimento em madeira serrada, em todas as classes diamétricas. Com

toras de maior diâmetro (classe C), alcançou aproximadamente 40 % de rendimento. O rendimento obtido pela serraria 2, com toras de menor diâmetro (classe A), foi superior ao rendimento das serrarias 2 e 3 com toras de maior diâmetro (classe C).

A análise de variância do rendimento volumétrico em madeira serrada é apresentada na TABELA 16. Os valores obtidos para F, com relação aos fatores Serraria e Classes de diâmetro, indicam que existe uma diferença significativa ao nível de 95,0 % de probabilidade. Entretanto, para a interação Serraria x Classe não foi detectada uma diferença significativa.

**TABELA 16 . Análise de variância das percentagens do rendimento volumétrico em madeira serrada**

Fonte de Variação	G.L.	S . Q .	Q . M .	F
<b>Efeito Principal</b>				
Serraria (A)	2	478.171	239.086	26.364**
Classe (B)	2	218.779	109.390	12.062**
Interação (A) . (B)	4	23.982	5.995	0.661 ns
Erro Experimental	13	163.234	9.063	
<b>TOTAL</b>	<b>26</b>	<b>884.167</b>		

(\*\*) significativo ao nível de 95,0 % de probabilidade

(ns) não significativo

Quando as médias dos tratamentos para o rendimento em madeira serrada, expressas em porcentagem, foram comparadas através do teste de Tukey ao nível de 95,0 % de probabilidade (Anexo III-2), observou-se que as Serrarias 1 e 3 não diferiram entre si e, estatisticamente, apresentaram o mesmo rendimento. A Serraria 2 é que diferiu significativamente das demais, com um rendimento bem superior.

Quanto às classes diamétricas, observou-se que a classe A diferiu significativamente das demais, apresentando um rendimento inferior. As classes B e C não diferiram entre si, apresentando, estatisticamente, o mesmo rendimento em madeira serrada.

#### 4 . 2 Quantificação dos resíduos gerados

Os rendimentos médios em peso dos resíduos gerados nas serrarias, segundo cada tratamento, são apresentados na TABELA 17. Pode-se observar que o rendimento médio para os tratamentos estabelecidos variou de 60,62 a 77,63 % dependendo do tipo de serraria e da classe de diâmetro. O rendimento médio geral foi da ordem de 69,54 % . As serrarias 1 e 3 apresentaram, em média os maiores índices de geração de resíduos: 72,61 % e 72,42 %, respectivamente.

**TABELA 17. Rendimentos médios ( % ) em resíduos gerados pelas indústrias com relação às classes de diâmetro**

Serrarias	Classes de diâmetro ( cm )			Média Geral
	A (15.00-19.50)	B (20.00-24.50)	C (25.00-29.50)	
1	77.63	72.23	67.97	72.61
2	67.47	62.67	60.62	63.58
3	74.52	72.53	70.22	72.42
Média Geral	73.21	69.14	66.28	69.54

Os dados apresentados nas TABELAS 15 e 17 são complementares e correspondem aos rendimentos médios em madeira serrada e resíduos de *Pinus elliottii*, obtidos em função das classes diamétricas nas Serrarias 1, 2 e 3.

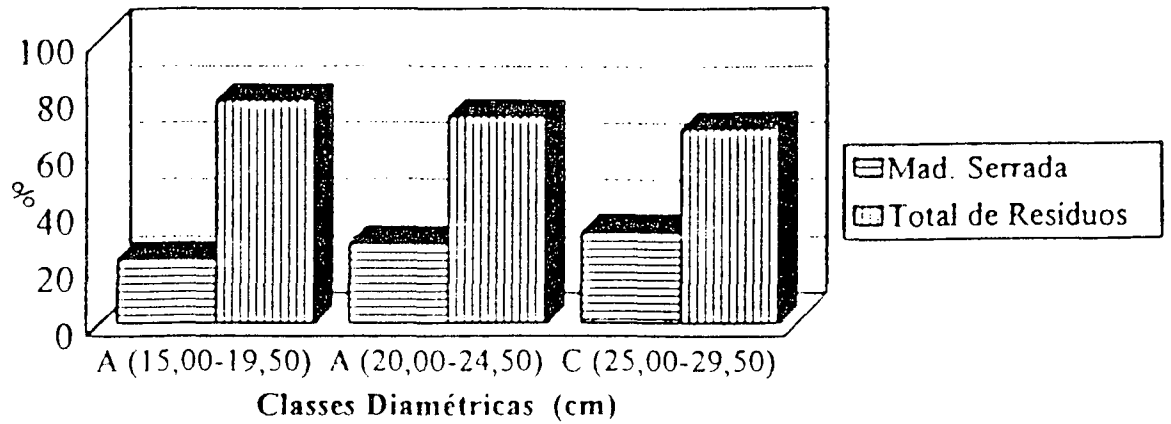
Observando-se estes dados e considerando-se apenas o aumento dos diâmetros das toras, pode-se dizer que a Serraria 1 foi a que apresentou a melhor performance em rendimento de madeira serrada, que passou de 22 % para 32 %, ou seja, cerca de 10 % a mais quando os diâmetros aumentaram de 15,00 para 29,50 cm, confirmando a grande influência do diâmetro no rendimento em madeira serrada (PHILLIPS & SCHROEDER, 1975).

A Serraria 3 foi a de menor desempenho, melhorando em cerca de apenas 4 %, se considerarmos o seu rendimento em função do aumento dos diâmetros das toras.

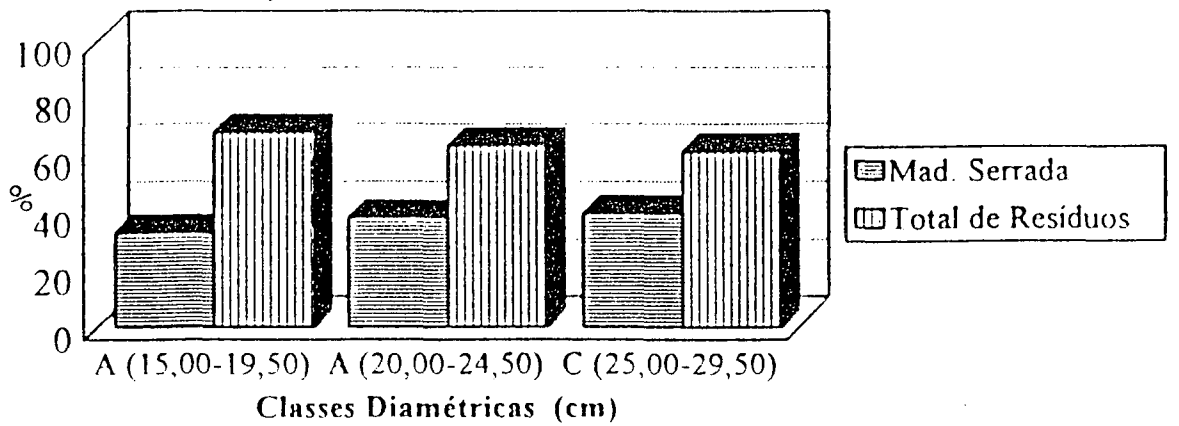
Apesar do comprimento das toras ter variado de 3,00 a 4,40 m entre as serrarias, esta variável não foi considerada no experimento em função de: a) o comprimento das toras fez parte do processo de beneficiamento da madeira adotado por cada serraria estudada; b) as Serrarias 1 e 3 apresentaram um comprimento médio das toras da ordem de 3,45 m e 3,22 m, respectivamente, e apenas a serraria 2 apresentou um comprimento médio superior 4,26 m; c) as toras processadas estavam com boa forma, apresentando pouca tortuosidade e conicidade; e d) no estudo realizado por RIBAS *et alii* (1989), o comprimento das toras não apresentou influência significativa no rendimento em madeira serrada e resíduos.

As FIGURAS 08, 09 e 10 facilitam a visualização dos rendimentos médios em madeira serrada e resíduos obtidos pelas Serrarias 1, 2 e 3, respectivamente, em função das classes diamétricas.

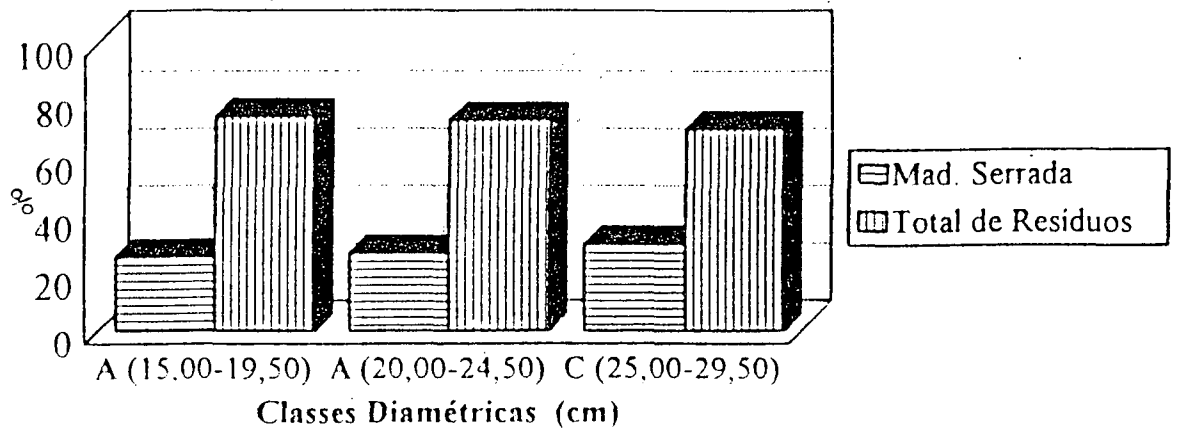
**Figura 08 - Rendimento médio de madeira serrada e resíduos em função das classes diamétricas da serraria 1**



**Figura 09 - Rendimento médio de madeira serrada e resíduos em função das classes diamétricas da serraria 2**



**Figura 10 - Rendimento médio de madeira serrada e resíduos em função das classes diamétricas da serraria 3**





Com relação ao total de resíduos gerados, estas figuras mostram que para a faixa de diâmetro considerada (15,00 a 29,50 cm), as indústrias geram de 61 a 78 % do insumo na forma de resíduo. Em média, esta perda pode ser considerada da ordem de 70 % para a madeira de *Pinus elliottii* destinada ao beneficiamento mecânico nestas indústrias. Estes índices estão em concordância com aqueles relatados por MOOSMAYER (1988).

Estes resultados evidenciam a influência significativa do diâmetro das toras na geração de resíduos, observando-se que quanto menor o diâmetro, maior é o valor total dos resíduos gerados, independente do tipo de indústria onde a madeira está sendo processada. Esta relação inversa do diâmetro da tora com a quantidade de resíduo gerado foi relatada por RIBAS *et alii* (1989).

#### 4 . 2 . 1 Resíduos de costaneiras

As porcentagens de rendimento em peso dos resíduos de costaneiras gerados pelas três serrarias, são apresentadas na TABELA 18.

Pode-se observar que a quantidade média de costaneiras geradas foi da ordem de 14,12 % e que, em termos médios, com o aumento do diâmetro das toras, houve uma redução da sua quantidade da ordem de 7,91 %, independente do tipo de serraria. Portanto, as quantidades de resíduos de costaneiras foram significativamente maiores para as toras com diâmetros menores, de acordo com os resultados obtidos por RIBAS *et alii* (1989).

Para as Serrarias 1 e 2 , a diminuição das costaneiras ocorreu de forma bem acentuada na passagem da classe de diâmetro A para a B, e para a Serraria 3, na passagem da classe de diâmetro B para a C. Estas variações estão provavelmente relacionadas com o desenho do corte

adotato em cada uma destas serrarias, conforme relata VIANNA NETO (1984) e FREITAS (1986).

**TABELA 18. Resíduos de costaneiras gerados nas serrarias (%) em função das classes de diâmetro.**

Serrarias	Classes de diâmetro (cm)			Média Geral
	A (15.00-19.50)	B (20.00-24.50)	C (25.00-29.50)	
1	26,60	18,94	17,32	20,95
2	16,85	7,94	6,92	10,57
3	12,28	12,71	7,65	10,85
<b>Média Geral</b>	18,54	13,19	10,63	14,12

Outro aspecto relevante é o fato da quantidade de resíduo de costaneira gerada pela Serraria 1 ter sido praticamente o dobro das Serrarias 2 e 3. Em relação a Serraria 2, a explicação está diretamente ligada ao seu melhor rendimento em madeira serrada e conseqüentemente, menor geração de resíduos. No caso da Serraria 3, pode-se relacionar esta diferença ao fato de que na Serraria 1 as toras não são descascadas para serem desdobradas, tornado as costaneiras mais pesadas do que as da Serraria 3, que não têm cascas.

A análise de variância das quantidades do resíduo de costaneira é apresentada na TABELA 19. Os valores obtidos para F, com relação aos fatores Serraria e Classes de diâmetro, indicam que existe uma diferença significativa ao nível de 95,0% de probabilidade. Também para a interação Serraria x Classe foi detectada uma diferença significativa.

**TABELA 19– Análise de variância das quantidades do resíduo de costaneira**

Fonte de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Efeito Principal				
Serraria (A)	2	630.337	315.168	68.606**
Classes (B)	2	293.563	146.781	31.951**
Interação (A).(B)	4	79.311	19.827	4.316**
Erro Experimental	18	82.690	4.593	
<b>TOTAL</b>	<b>26</b>	<b>1085.902</b>		

(\*\*) significativo ao nível de 95.0 % de probabilidade

Quando as médias dos tratamentos para o resíduo de costaneira, expresso em porcentagem, foram comparadas através do teste de Tukey, ao nível de 95,0 % de probabilidade (Anexo III-4), observou-se que as serrarias 2 e 3 não diferiram entre si e estatisticamente apresentaram o mesmo resultado. A Serraria 1 diferiu significativamente das demais, com uma geração de resíduos de costaneiras bem superior.

Para as classes diamétricas, observou-se que a Classe A diferiu significativamente das demais, com um resultado superior. As Classes B e C não diferiram entre si e estatisticamente apresentaram o mesmo resultado em resíduos de costaneiras.

#### 4 . 2 . 2 Resíduos de refilo

As porcentagens de rendimento em peso dos resíduos de refilos gerados pelas três serrarias são apresentadas na TABELA 20.

**TABELA 20. Resíduos de refilos gerados nas serrarias (%) em função das classes de diâmetro**

Serrarias	Classes de diâmetro (cm)			Média Geral
	A (15,00-19,50)	B (20,00-24,50)	C (25,00-29,50)	
1	4,64	8,24	8,30	7,06
2	19,63	19,69	15,34	18,22
3	18,22	17,33	16,75	17,43
<b>Média Geral</b>	14,16	15,09	13,46	14,24

Estes resultados demonstram que o rendimento médio geral em resíduos de refilos para as três serrarias foi da ordem de 14,24 %. Entretanto, ocorreu uma variação de 4,64 % a 19,69 % para os tratamentos estabelecidos, dependendo do tipo de serraria e da classe de diâmetro.

Note-se que a Serraria 1 foi a que apresentou um rendimento em resíduo de refilo bem inferior, principalmente para a classe A (toras de menor diâmetro), enquanto as Serrarias 2 e 3 mantiveram os seus rendimentos praticamente constantes. Mais uma vez, a explicação está relacionada ao desenho de corte e sistema de desdobro adotados pela serraria 1 ou seja, quando ocorre a produção de uma grande quantidade de costaneiras, conseqüentemente o resíduo do refilo tende a diminuir, uma vez que a quantidade de tábuas retiradas também é reduzida.

A análise de variância das quantidades do resíduo de refilos é apresentada na TABELA 21. O valor obtido para F, com relação ao fator Serraria, indica que existe uma diferença significativa ao nível de 95,0 % de probabilidade. O valor obtido para F com relação ao fator Classes de

diâmetro, indica não existir uma diferença significativa. Entretanto, para a interação Serraria x Classes foi detectada uma diferença significativa.

**TABELA 21. Análise de variância das quantidades do resíduo de refilo.**

Fonte de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Efeito Principal				
Serraria (A)	2	698.151	349.075	116.231 **
Classes (B)	2	11.953	5.976	1.99 ns
Interação (A).(B)	4	55.032	13.758	4.581 **
Erro Experimental	18	54.059	3.003	
<b>TOTAL</b>	<b>26</b>	<b>819.196</b>		

\*\* significativo ao nível de 95,0 % de probabilidade

ns não significativo

Quando as médias dos tratamentos para o resíduo de refilo, expresso em porcentagem, foram comparadas através do teste de Tukey ao nível de 95,0 % de probabilidade (Anexo III-6), observou-se que a Serraria 1 diferiu significativamente das demais. As serrarias 2 e 3 não diferiram entre si e estatisticamente apresentaram o mesmo resultado.

Para as classes de diâmetro, observou-se que não diferiram entre si e estatisticamente apresentaram o mesmo resultado. Isto demonstra que o diâmetro das toras não influenciou decisivamente no rendimento dos resíduos de refilos.

#### 4 . 2. 3 Resíduos de destopo

As porcentagens de rendimento em peso dos resíduos de destopo gerados pelas três serrarias, são apresentados na TABELA 22. Estes resultados demonstram que o rendimento médio geral em resíduos de destopo para as três serrarias foi da ordem de 5,07 %, com uma variação

para os tratamentos estabelecidos de 2,85 a 7,16 %, dependendo do tipo de serraria e classe de diâmetro.

**TABELA 22. Resíduos de destopo gerados nas serrarias (%) em função das classes de diâmetro**

Serrarias	Classes de diâmetro (cm)			Média Geral
	A (15,00-19,50)	B (20,00-24,50)	C (25,00-29,50)	
1	6,75	5,45	5,12	5,77
2	7,16	6,53	4,73	6,14
3	3,15	3,93	2,85	3,31
<b>Média Geral</b>	5,69	5,30	4,23	5,07

Observa-se que, em geral, os resíduos de destopo diminuíram à medida que os diâmetros das toras aumentaram. A Serraria 3 apresentou o menor rendimento em resíduo de destopo, praticamente a metade do rendimento da Serraria 2. É bastante provável que este fato esteja relacionado com o comprimento das toras, uma vez que a Serraria 3 utilizou toras com o menor comprimento (3,22 m, em média) e a Serraria 2 toras com maior comprimento (4,26 m, em média), gerando portanto, mais resíduos no bitolamento das peças.

A análise de variância das quantidades de resíduo de destopo é apresentada na TABELA 23. Os valores obtidos para F, com relação aos fatores Serraria e Classes de diâmetro, indicam que existe uma diferença significativa ao nível de 95,0 % de probabilidade. Para a integração Serraria x Classes não foi detectada uma diferença significativa.

**TABELA 23. Análise de variância das quantidades do resíduo de destopo.**

Fonte de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Efeito Principal				
Serraria (A)	2	42.551	21.275	32.945 **
Classes (B)	2	10.224	5.112	7.916 **
Interação (A).(B)	4	5.679	1.419	2.199 ns
Erro Experimental	18	11.624	0.645	
<b>TOTAL</b>	<b>26</b>	<b>70.079</b>		

\*\* significativo ao nível de 95.0 % de probabilidade

ns não significativo

Quando as médias dos tratamentos para o resíduo de destopo, expresso em porcentagem, foram comparadas através do teste de Tukey ao nível de 95,0 % de probabilidade (Anexo III-8), observou-se que os resultados das Serrarias 1 e 2 não diferiram entre si, estatisticamente. A Serraria 3 diferiu significativamente das demais, com uma geração de resíduos de destopo bem inferior.

Para as classes diamétricas, nota-se que a Classe C diferiu significativamente das demais, apresentando uma geração de resíduo de destopo inferior. As classes A e B não diferiram entre si e estatisticamente apresentaram o mesmo resultado para os resíduos de destopo.

#### 4 . 2 . 4 Resíduos de serragem e casca

As porcentagens de rendimento em peso dos resíduos de serragem e casca, gerados pelas três serrarias, são apresentados na TABELA 24.

**TABELA 24. Resíduos de serragem e casca gerados nas serrarias (%), em função das classes de diâmetro.**

Serrarias	Classes de diâmetro (cm)			Média Geral
	A (15,00-19,50)	B (20,00-24,50)	C (25,00-29,50)	
1	37,92	37,75	35,47	37,05
2	22,64	27,25	32,19	27,36
3	38,94	37,26	40,77	38,99
<b>Média Geral</b>	33,17	34,09	36,14	34,47

Estes resultados demonstram que o rendimento médio geral em resíduos de serragem e casca para as três serrarias foi da ordem de 34,47%, ocorrendo uma variação de 22,64 a 40,77 % entre os tratamentos estabelecidos, dependendo do tipo de serraria e da classe de diâmetro.

Observa-se que a Serraria 2 foi a que apresentou as menores quantidades de serragem e casca, independente da classe de diâmetro. Isto é justificado pelo fato desta serraria ter como serras principais de desdobro duas serras de-fita, que permitem um corte de menor espessura em relação aos cortes com serras circulares, podendo gerar desta forma, menores quantidades de serragem, conforme afirmam MOOSMAYER (1988) e VIANNA NETO (1984).

A análise de variância das quantidades do resíduo de serragem e casca é apresentada na TABELA 25. O valor obtido para F, com relação ao fator Serraria indica que existe uma diferença significativa ao nível de 95 % de probabilidade. Os valores obtidos para F, com relação ao fator Classe de diâmetro e para a interação Serraria x Classes, indicam não existir uma diferença significativa.



**TABELA 25. Análise de variância das quantidades do resíduo de serragem e casca**

Fonte de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Efeito Principal				
Serraria (A)	2	698.157	349.078	11.984 **
Classes (B)	2	41.874	20.937	0.719 ns
Interação (A).(B)	4	124.695	31.173	1.070 ns
Erro Experimental	18	524.305	29.128	
<b>TOTAL</b>	<b>26</b>	<b>1389.032</b>		

\*\* significativo ao nível de 95,0 % de probabilidade

ns não significativo

Quando as médias dos tratamentos para o resíduo de serragem e casca, expresso em porcentagem, foram comparadas através do teste de Tukey ao nível de 95 % de probabilidade (Anexo III-10), observou-se que os resultados da Serraria 2 diferiu, significativamente, das demais. Os resultados das Serrarias 1 e 3 não diferiram entre si, estatisticamente.

Para as classes de diâmetro, observou-se que elas não diferiram entre si e estatisticamente apresentaram o mesmo resultado, apesar dos dados apontados na TABELA 24 demonstrarem uma tendência dos resíduos de serragem e casca aumentarem com os diâmetros das toras.

#### **4 . 5 Caracterização energética dos resíduos gerados**

Os dados apresentados na TABELA 26 procuram caracterizar energeticamente os resíduos da indústria madeireira. Tomaram-se apenas os dados de serragem e cavacos, por serem a forma final dos resíduos encontrados nas indústria estudadas. O poder calorífico inferior (PCI) médio encontrado foi da ordem de 2.094,39 kcal/kg ou 8,77 MJ/kg.

Os dados referentes aos valores do poder calorífico dos cavacos apresentaram uma pequena variação, cerca de 96 kcal/kg, entre os cavacos da Serraria 1 e 3. Esta variação pode ser explicada pela presença da casca nos cavacos da Serraria 1 e ausência da mesma nos cavacos da Serraria 3. A casca, em geral, contribui para melhorar o poder calorífico, em função da presença de resinas, conforme NOCK (1977). Os resíduos (cavacos e serragem) da Serraria 2, não foram coletados e caracterizados por serem similares aos da Serraria 1.

**TABELA 26. Caracterização dos resíduos gerados pelas serrarias no beneficiamento da madeira de *Pinus elliottii***

Serraria e Tipo de Resíduo	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	Teor de Umidade (%) (base seca)	P. C. S. * (kcal/kg)	P. C. I. ** (kcal/kg) (MJ/kg)	
<b>Serraria 1</b>					
Serragem	373	155,53	2.262,73	1.938,73	8,12
Cavacos	395	137,33	2.640,89	2.316,89	9,70
<b>Serraria 3</b>					
Serragem	352	153,23	2.225,13	1.901,13	7,96
Cavacos	390	135,51	2.544,81	2.220,84	9,30
<b>Valores Médios</b>	380	145,40	2.418,39	2.094,39	8,77

PCS \* - poder calorífico superior, determinado em bomba calorimétrica.

PCI \*\* - poder calorífico inferior, calculado

#### 4 . 4 Consumo médio de energia nas serrarias

Em geral, ocorrem variações entre uma serraria e outra, em relação ao consumo energético específico de cada indústria. Os dados mostrados na TABELA 27 revelam que o consumo total de energia nas três serrarias estudadas ficou entre 2,9 e 3,5 GJ/m<sup>3</sup>. Este consumo está acima dos padrões internacionais: nos países desenvolvidos, a faixa de energia necessária para a indústria madeireira (serrarias com secagem artificial)

está entre 1.0 e 2.85 GJ/m<sup>3</sup>, de acordo com trabalho da FAO (1991) e EKONO OY (1980).

**TABELA 27 . Consumo médio de energia nas Serrarias em função da produção de madeira serrada.**

Serrarias	Produção média de madeira serrada		Consumo de Energia Elétrica		Consumo de Energia Térmica		Consumo Total de Energia GJ/m <sup>3</sup>
	m <sup>3</sup> /dia	m <sup>3</sup> /mês	Kwh/m <sup>3</sup>	Kw/mês	Kwh/m <sup>3</sup>	GJ/m <sup>3</sup>	
1	76	1.600	65	104.160	916	3.3	3.5
2	62	1.300	73	95.260	814	2.9	3.2
3	100	2.100	49	98.000	763	2.7	2.9

Equivalência 1 kwh = 3.60 MJ = 0.0036 GJ  
 Fonte : FAO (1991)

Estas variações podem ser explicadas, em boa parte, por uma série de fatores, tais como: capacidade das serrarias; engenharia de projeto; eficiência geral da operação e, em particular, dos motores; nível de manutenção e de utilização dos equipamentos; integração ou não das atividades; etc.

O consumo de energia elétrica ficou no mesmo nível das indústrias canadenses, que chegam a consumir até 90 kwh por metro cúbico de madeira serrada processada, de acordo com LEVELTON e ASSOCIATION (1982).

As variações no consumo de energia elétrica, observadas na TABELA 27, estão provavelmente relacionadas com a eficiência e a taxa de utilização dos motores elétricos bem como com o grau de mecanização destas unidades industriais.

Pode-se perceber também que o consumo de energia térmica é bem superior, representando algo em torno de 90 a 95 % do consumo total de energia das serrarias. A relação entre o consumo de energia térmica e

energia elétrica nos países desenvolvidos, para indústrias de processamento mecânico da madeira com secagem em estufa, está entre 87 e 13 % respectivamente.

#### 4 . 5 Geração de energia a partir dos resíduos

O potencial combustível dos resíduos gerados nas serrarias estudadas supera as necessidades de calor e de energia elétrica das mesmas, considerando-se os dados apresentados na TABELA 28. Estas são estimativas para a geração de energia a partir dos resíduos, com vista a atingir a auto-suficiência energética destas indústrias. Estes cálculos consideram que todos os resíduos serão aproveitados para uso energético.

**TABELA 28. Estimativa da energia a ser gerada pela indústria com a utilização integral dos resíduos**

Serra rias	Produção de Resíduos	Equivalência Energética		Consumo Próprio		Energia Disponível	
	m <sup>3</sup> /mês	kwh/mês	GJ/mês	GJ/mês	%	GJ/mês	%
1	10.380	5.283.420	19.020	5.600	29,4	13.420	70,6
2	5.507	2.303.063	10.091	4.160	41,2	5.931	58,8
3	13495	6.368.955	24.728	5.880	23,8	18.848	76,2

Densidade : 380 kg.m<sup>3</sup> de resíduo (cavacos/serragem), material úmido

Equivalências energéticas

1 m<sup>3</sup> de resíduo = 437.727 Kcal = 509 kwh = 1.83 GJ

1 kwh = 0.0036 GJ

#### 4. 6 Eficiência e rentabilidade nas serrarias com o aproveitamento dos resíduos.

A TABELA 29 mostra o rendimento médio, em porcentagem, e a eficiência ( $m^3/\text{operário/mês}$ ) apresentados pelas três serrarias no desdobro de toras de *Pinus elliottii*, na faixa de 15,00 a 29,50 cm de diâmetro. Para o cálculo da eficiência de cada serraria, considerou-se apenas um turno de trabalho de oito horas e vinte e um dias no mês. Com relação à mão de obra, tomou-se o número de operários envolvidos na produção (pátio, serraria e secagem), perfazendo um total de : a) Serraria 1 - 97 operários, b) Serraria 2 - 96 operários e c) Serraria 3 - 117 operários.

**TABELA 29 – Rendimento e Eficiência nas serrarias com madeira de *Pinus elliottii*, diâmetro de 15,00 a 29,50 cm**

Serraria	Volume de toras processado		Produção de madeira serrada		Rendimento (%)	Eficiência	
	( $m^3/\text{dia}$ )	( $m^3/\text{mês}$ )	( $m^3/\text{dia}$ )	( $m^3/\text{mês}$ )		( $m^3/\text{op. dia}$ )	( $m^3/\text{op. mês}$ )
1	277	5.817	76	1.600	27,4	2,85	59,85
2	170	3.570	62	1.300	36,4	1,77	37,17
3	362	7.602	100	2.100	27,6	3,09	64,89

Observa-se que a Serraria 2, com o melhor rendimento em madeira serrada, não apresentou o melhor índice de eficiência em relação às demais. Por outro lado, a Serraria 3 com um rendimento em madeira serrada inferior ao da Serraria 2, apresenta um índice de eficiência superior. Normalmente, espera-se que a serraria com melhor rendimento apresente também a melhor eficiência.

Os termos rendimento e eficiência são parâmetros distintos e exprimem características técnicas das serrarias (GUERRA,1983). A eficiência, refletindo aspectos mais amplos como, fator tempo, mão de obra envolvida, produtividade, automação do processo e aspectos gerenciais e administrativos, corresponde a uma indicação mais abrangente da serraria. Dentro deste contexto, o índice de eficiência mais elevado para a Serraria 3 já era esperado, uma vez que a mesma apresenta uma engenharia de projeto moderna e uma linha de produção totalmente mecanizada.

No entanto, o aproveitamento econômico dos resíduos e a rentabilidade das serrarias, são preocupações constantes para os empresários madeireiros, uma vez que podem viabilizar ou não um empreendimento ou atividade produtiva. Em primeiro plano está o rendimento sobre o produto a ser obtido, pois quanto maior for o volume de madeira serrada, maior rentabilidade para a serraria; em segundo, o melhor aproveitamento dos resíduos. No caso destas três serrarias, os resíduos são aproveitados para uso energético e como matéria-prima para a indústria de chapas (Serraria 3).

Os dados apresentados na TABELA 28 demonstram que os resíduos gerados por estas indústrias atendem às suas necessidades energéticas e ainda apresentam um grande excedente. A Serraria 1 por exemplo, consumiria cerca de 30% do resíduo para ser auto-suficiente energeticamente. Observando então a FIGURA 11, que ilustra o rendimento médio em massa, obtido no processamento da madeira de *Pinus elliottii* da Serraria 1, podemos notar que para as três classes de diâmetro estudadas apenas os resíduos de serragem e cascas seriam suficientes para atender a esta demanda energética. Os resíduos de costaneiras, refilos e destopos poderiam ser destinados para usos mais nobres, que viabilizem maior retorno do capital investido na obtenção da madeira.

FIGURA 11. Rendimento médio em massa no processamento da madeira de *Pinus elliottii*, da serraria 1.

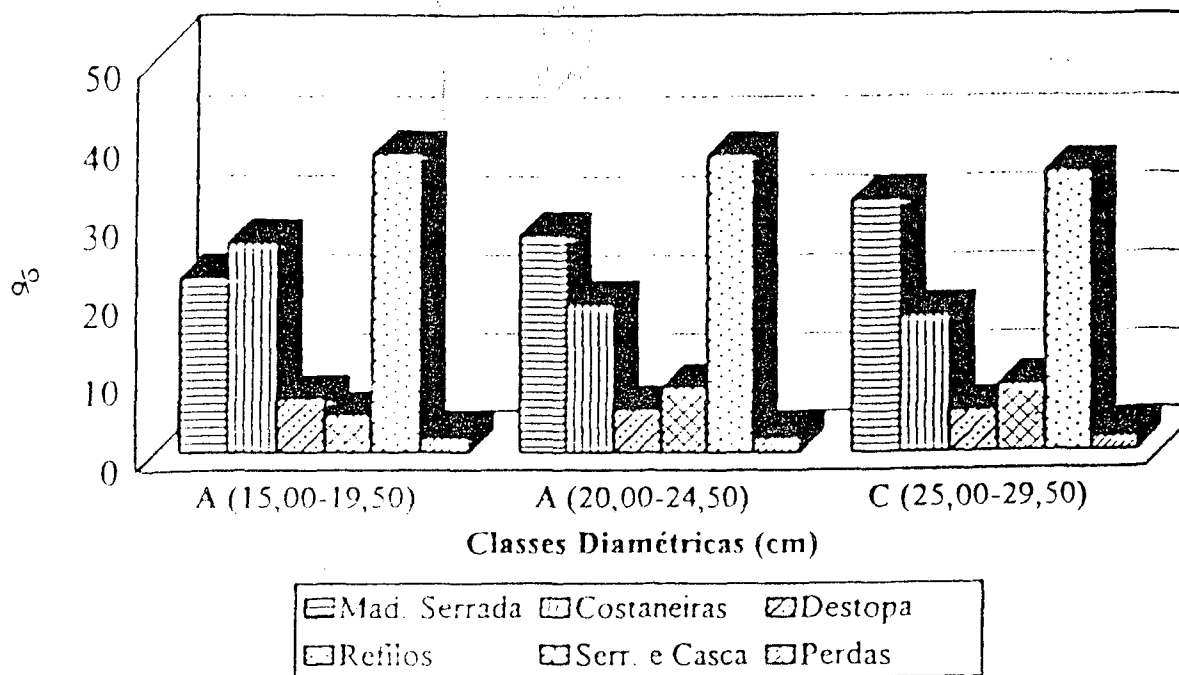
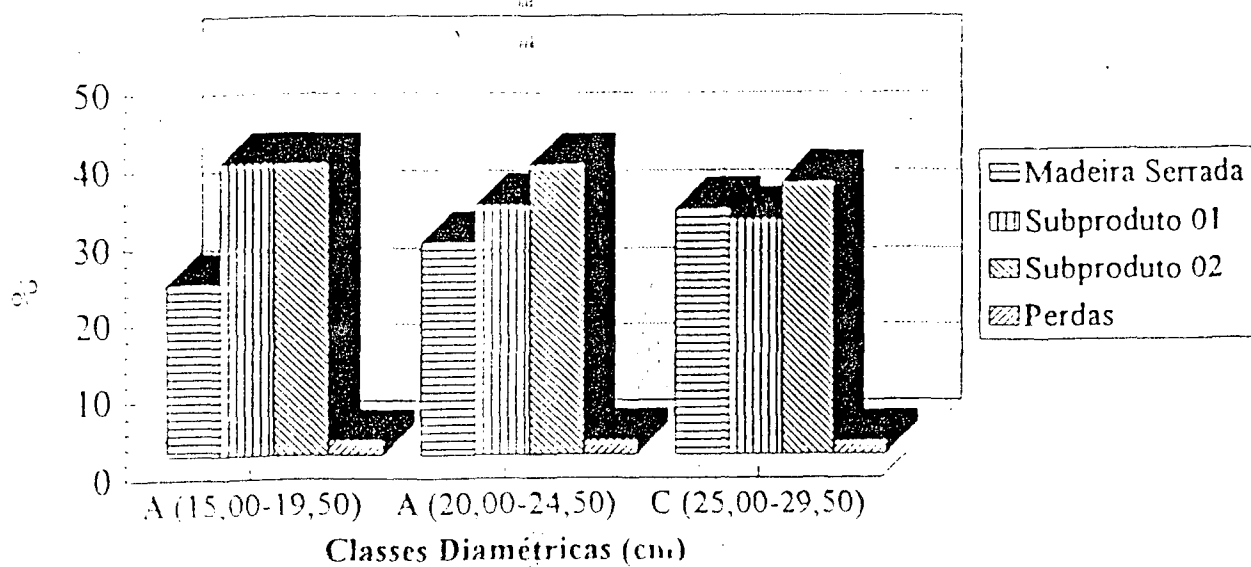


Figura 12 - Rendimento médio proposto para o processamento da madeira de *Pinus elliottii*, da serraria 01



Buscando, portanto, um melhor aproveitamento para os resíduos resultantes e, conseqüentemente, melhorar a rentabilidade para as serrarias, a FIGURA 12 propõe o processamento da madeira de *Pinus elliottii*, na Serraria 1 com apenas três produtos básicos. A madeira serrada, o Subproduto 1 (formado pelos resíduos de costaneiras, refilos e destopos; todos picados na forma de chips para celulose) e o Subproduto 2 (formado pelos resíduos de serragem e cascas, destinados como biomassa para uso energético).

O Subproduto 1 (chips para celulose) da Serraria 1 apresenta uma composição média com 60% de costaneiras e os 40% restantes, com refilos e destopos. As costaneiras, por se tratar de material da parte externa das toras e de acordo com MUÑIZ (1993), ser madeira de melhor qualidade, quando comparada com a parte central da tora (madeira juvenil) é de grande utilidade na indústria papeleira para o melhor controle das propriedades físicas e mecânicas do papel. Estudo da FAO (1978) confirma os cavacos advindos das partes externas das toras como matéria-prima de excelente qualidade para a produção de pasta, de qualidade superior em relação àquela derivada da madeira tradicional para pasta. Portanto, esse produto pode constituir-se em uma importante fonte de recursos para a serraria, melhorando a sua rentabilidade, e em alguns casos, viabilizando o empreendimento, de acordo com HAKKILA (1972); APPERT (1972); FAO (1978); TUSET & DURAN (1979) e MOOSMAYER (1988).

Para a Serraria 2, a FIGURA 13 ilustra o rendimento médio em massa, obtido no processamento da madeira de *Pinus elliottii*. Observa-se que apenas os resíduos de serragem e casca não são suficientes para suprir às suas necessidades energéticas, uma vez que são consumidos em média, 40 % dos resíduos gerados, de acordo com os dados da TABELA 28. Neste caso, seria necessário a utilização de parte do Subproduto 1 como fonte energética para cobrir o déficit de energia. Por outro lado, a FIGURA



Figura 13 - Rendimento médio no processamento da madeira de Pinus elliotti, da serraria 2

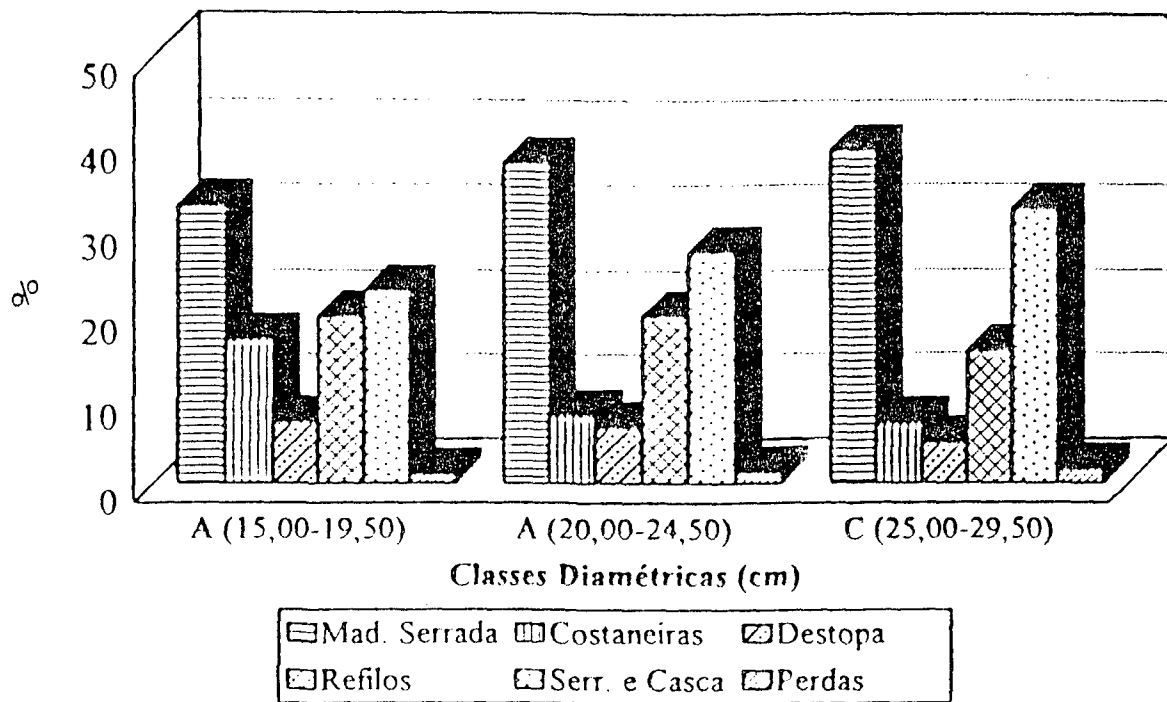
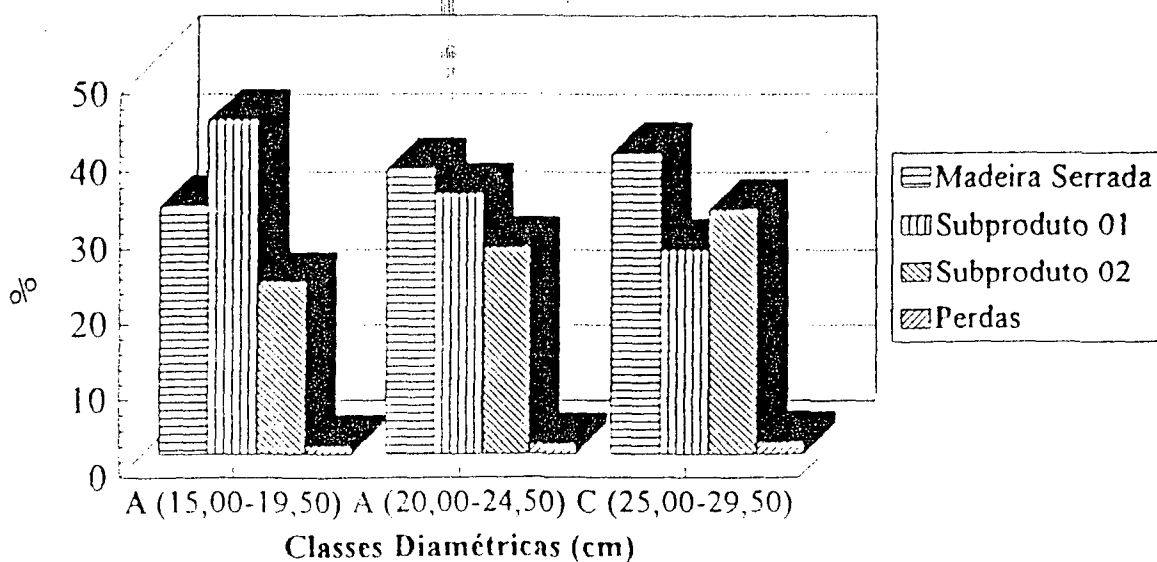


Figura 14 - Rendimento médio proposto para o processamento da madeira de Pinus elliotti, da serraria 02



14 mostra que mesmo assim ainda estariam disponíveis, em média, cerca de 20 % deste produto em todas as classes de diâmetro estudadas, para ser comercializado como matéria-prima para a indústria papeleira, o que certamente, contribuiria para a melhoria da rentabilidade nesta indústria.

No caso da Serraria 3, a FIGURA 15 ilustra o rendimento médio em massa, obtido no processamento da madeira de *Pinus elliottii*. Nota-se que os rendimentos de serragem e casca, da ordem de 40 %, são mais do que suficientes para atender às suas necessidades energéticas, uma vez que são consumidos cerca de 24 % dos resíduos gerados para este fim, de acordo com os dados apresentados na TABELA 28.

Considerando-se a auto-suficiência energética da Serraria 3 com apenas a utilização do Subproduto 2, pode-se pensar em uma aplicação mais nobre destes resíduos, visando maior rentabilidade, para a indústria. Observando-se ainda na FIGURA 15, percebe-se que a composição do Subproduto 1 para a Serraria 3, é diferente daquela da Serraria 1. Nesta serraria as costaneiras participam com apenas 34 %, em média, sendo o restante (66%), constituído por resíduos de refilos e destopa. Esta nova composição pode sugerir a aplicação deste subproduto: a indústria de chapas, ao invés da indústria papeleira. Isto é justificado pelo fato da qualidade do Subproduto 1 da Serraria 3, ser inferior ao da Serraria 1, uma vez que este apresenta uma menor participação das costaneiras. As indústrias de chapas dos países desenvolvidos são grandes consumidoras do Subproduto 1, como mostra o trabalho da FAO (1978).

A FIGURA 16 revela que no processamento proposto para a Serraria 3, o Subproduto 1 ficou acima dos 30 %, para as classes de diâmetro A e B, e um pouco abaixo, para a classe C. A queda no rendimento desse Subproduto está relacionada com a diminuição brusca das costaneiras na classe C, em função do melhor rendimento em madeira serrada obtido pela serraria 3 nesta classe (FIGURA 15).

Figura 15 - Rendimento médio no processamento da madeira de Pinus elliotti, da serraria 3

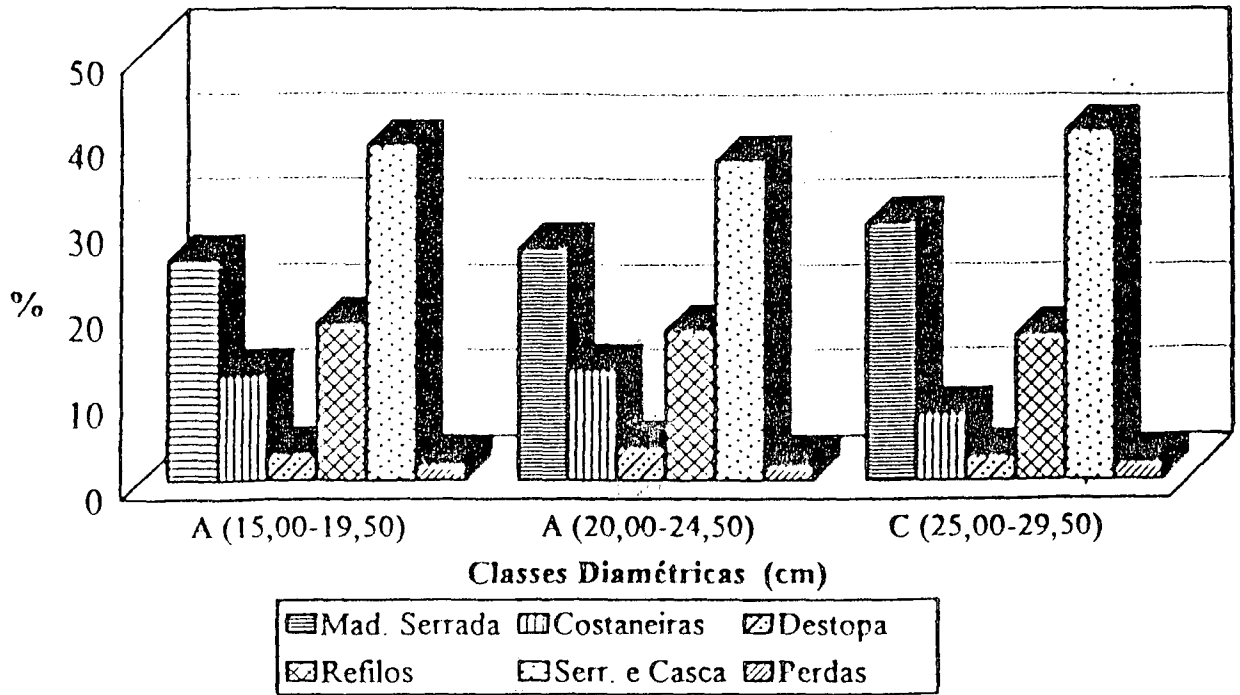
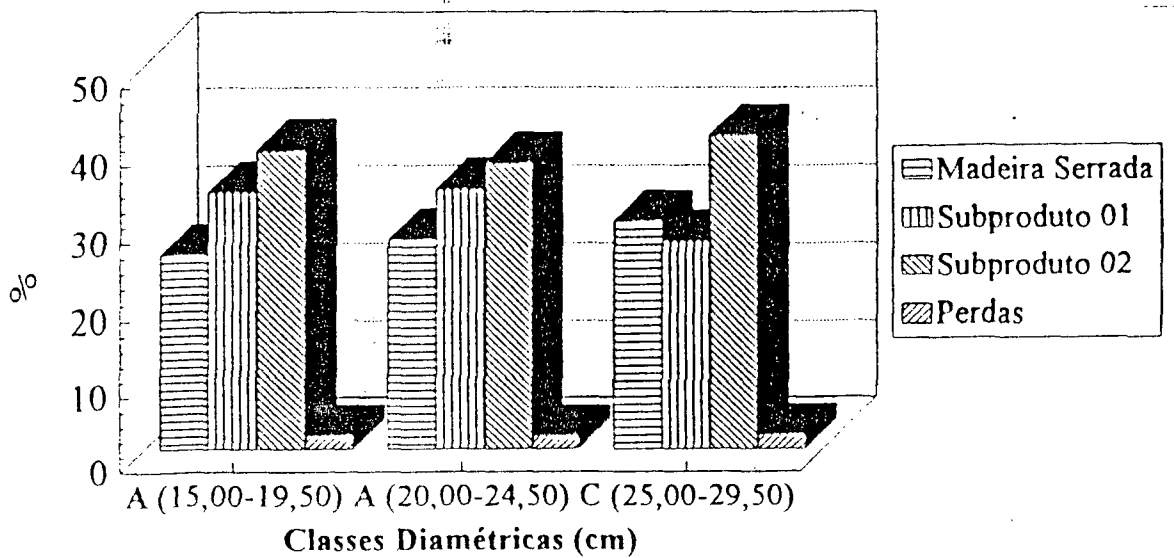
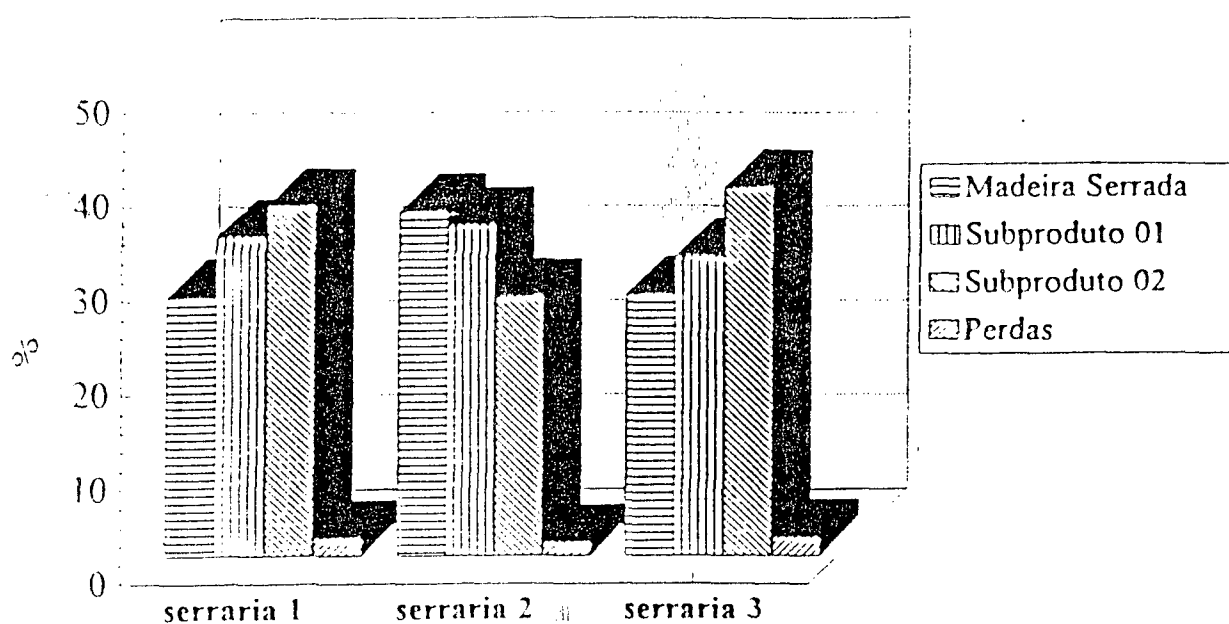


Figura 16 - Rendimento médio proposto para o processamento da madeira de Pinus elliotti, da serraria 03



Em geral, os processamentos propostos para o Subproduto 1 nas três serrarias estudadas, ficaram na faixa dos 30%, conforme ilustra a FIGURA 17. Os rendimentos do Subproduto 2 ficaram na faixa dos 40%, para as Serrarias 1 e 3, e em torno dos 27 %, para a Serraria 2.

FIGURA 17. Rendimento médio proposto para o processamento da madeira de *Pinus elliottii* nas serrarias 1, 2 e 3.



Com base nos processamentos propostos e ilustrados na FIGURA 17 para as três serrarias, com relação aos Subprodutos 1 e 2, e considerando-se o consumo próprio destas indústrias no atendimento das suas necessidades energéticas, pode-se estimar o ganho adicional que cada serraria poderia ter com a venda das quantidades excedentes destes subprodutos.

Dessa forma, a TABELA 30 apresenta uma estimativa de ganho adicional com a venda dos subprodutos, seja para uso energético (chips para energia) ou para uso como matéria-prima na indústria de papel e celulose (chips para celulose). Observa-se que o preço de mercado alcançado pelo Subproduto 1 é praticamente o dobro do preço do Subproduto 2. Fato este, relacionado diretamente com a qualidade do produto e seu uso final.

**TABELA 30. Estimativa de ganho adicional para as serrarias com os sub-produtos 1 e 2**

SERRARIAS	PRODUTOS DISPONÍVEIS				GANHO ADICIONAL (US\$/MES)		GANHO ADICIONAL TOTAL (US\$/MES)
	Sub-produto 1 (Ton/mês) %		Sub-produto 2 (Ton/mês) %		Sub-produto 1	Sub-produto 2	
1	1.330	33,8	300	7,6	15.960	2.010	17.970
2	440	21,0	-	-	5.280	-	5.280
3	1.620	31,6	770	15,0	19.440	5.160	24.600

Sub-produto 1 ( Chips p/celulose ) >>> 12,00 US \$ / TON no pátio da serraria.

Sub-produto 2 ( Chips p/energia ) >>> 6,7 US \$ / TON no pátio da serraria.

Valor médio dos últimos 12 meses ( Maio / 94 ).

FONTE : STCP - ENGENHARIA DE PROJETOS LTDA (1994).

De acordo com os dados apresentados na TABELA 30, os resíduos que constituem o Subproduto 1 correspondem de 20 a 30 % do volume sólido da tora e podem contribuir com um percentual considerável no total das vendas dos produtos finais.

Dessa forma, as serrarias, procurando dar uma total utilização aos seus resíduos, classificando-os em subprodutos para usos distintos, estão contribuindo de maneira decisiva para o aumento dos índices de aproveitamento da tora no processamento primário e, conseqüentemente, melhorando a rentabilidade do empreendimento. Em concordância com alguns autores, o aproveitamento dos resíduos pode significar a viabilidade ou não da atividade produtiva (FAO, 1978; TUSET & DURAN, 1979; MOOSMAYER, 1988 e FAO, 1991).

Observando-se a FIGURA 17 e a TABELA 30, pode-se dizer que a Serraria 2 reúne duas grandes vantagens, em relação às demais: maior porcentagem de madeira serrada e maior porcentagem do subproduto 1.

## 5 . CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com base nos resultados obtidos com esta pesquisa, realizada em três serrarias processando madeira de *Pinus elliottii* com diâmetros médios na faixa de 15,00 a 29,50 cm, pode-se concluir que :

1. O rendimento volumétrico em madeira serrada de *Pinus elliottii*, variou na faixa de 22 a 39 %. A média geral foi da ordem de 30 %.
2. A Serraria 2 apresentou o melhor rendimento em madeira serrada para todas as classes de diâmetro, demonstrando assim que a engenharia de processo e o sistema de desdobro adotados por uma indústria podem influir mais no rendimento volumétrico em madeira serrada, do que os diâmetros das toras.
3. Quanto menor o diâmetro da tora maior o volume de resíduos gerados, independente do tipo de serraria. Quando o resíduo é caracterizado em costaneiras, refilos, destopo e serragem/casca, então o tipo de serraria (engenharia de processo e sistema de desdobro) passa a ter influência na geração destes.
4. A Serraria 1 gerou o dobro de resíduo de costaneiras das demais, o que confirma a grande influência do desenho de corte e sistema de desdobro, na geração deste tipo de resíduo.
5. O consumo de energia elétrica e térmica das serrarias estudadas, foi dimensionado em função da produção de madeira serrada , sendo que a energia elétrica consumida variou de 35 a 73 Kwh/m<sup>3</sup> e a energia térmica de 763 a 916 Kwh/m<sup>3</sup> ou de 2,7 a 3,3 GJ/m<sup>3</sup> , o consumo total

de energia variou de 2,9 a 3,5 GJ/m<sup>3</sup>. Este consumo é considerado elevado para os padrões internacionais. Por outro lado, estes índices são apenas indicativos, uma vez que este trabalho não se propôs a realizar um diagnóstico energético completo, para estas serrarias.

6. A auto-suficiência energética pode ser alcançada utilizando-se apenas 25 a 45% (dependendo do tipo de serraria e sistema de auto-geração energética), dos resíduos gerados no beneficiamento da madeira de *Pinus elliottii*.
7. Dentre as serrarias estudadas e considerando-se que em primeiro plano está o rendimento sobre o produto a ser obtido, no caso a madeira serrada, pode-se concluir que a Serraria 2 foi a que apresentou as maiores vantagens no beneficiamento da madeira de *Pinus elliottii* ou seja; o maior rendimento em madeira serrada e o maior rendimento de Subproduto 1.
8. Uma maior rentabilidade para as serrarias estudadas neste trabalho está em buscar os maiores índices em rendimento de madeira serrada e dar um aproveitamento integral aos resíduos gerados selecionando-os e homogenizando-os como subprodutos, com usos e fins específicos.

Com base nas conclusões aqui apresentadas e na realização deste trabalho, recomenda-se:

- a) A condução de pesquisas e trabalhos de campo para melhorar e aprimorar a metodologia utilizada neste trabalho visando melhor controle de variáveis e maior representatividade dos dados.



- b) Estudos de fluxos de diferentes sistemas de desdobro, modelos de corte, com diferentes configurações de equipamentos, considerando as características distintas entre as serrarias.
- c) Realizar diagnosticos da indústria de madeira serrada envolvendo aspectos de capacitação técnica, manutenção, nível tecnológico, engenharia de processo e qualidade final.
- d) Estudar o perfil energético na indústria de transformação de madeira de reflorestamentos, em particular de *Pinus* e *Eucalyptus*, objetivando a co-geração de energia a partir dos resíduos.
- e) Realizar estudos de viabilidade econômica para a utilização dos resíduos como fonte energética na indústria de transformação da madeira ou indicar os melhores usos.

## 6 . REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- APPERT, E. Organization of national market of by - products of wood. FAO/NOR/TF 83:139-44 p. Rome, Italy. 1972.
- AROLA, R. A. Research in the quality improvement of whole-tree chips. Tappi, 59 (7): 66 - 70 p. 1976.
- ASSINI, J. L. ; et alii. Processamento mecânico de madeira de Pinus de pequenas dimensões. Instituto Florestal. São Paulo, SP (Boletim técnico - IF, 33). 17 p. 1979.
- ASSUMPÇÃO, R. V. Floresta plantada como fonte de energia e matéria prima para a indústria química. Brasil Madeira, 2 (18): 23 - 37, São Paulo, SP. 1978.
- AZEREDO, N. R. S. Atual situação da oferta e demanda de matéria prima de reflorestamento. In: 2º Seminário sobre processamento e utilização de madeiras de reflorestamento (1988 : Curitiba). Anais Curitiba, PR : ABPM - SBS, 120 - 138 p. 1988.
- BERTOLANI, F. Perspectivas de falta de madeira em futuro próximo. In: 1º Congresso florestal panamericano e 7º Congresso florestal brasileiro (1993:Curitiba).Anais. Curitiba, PR : SBS - SBEF p.40, 1993.
- BORGES, A. S. ; et alii. Considerações energéticas e econômicas sobre resíduos de madeira processada em serraria. In: 1º Congresso florestal panamericano e 7º Congresso florestal brasileiro (1993: Curitiba).Anais. Curitiba. PR : SBS - SBEF, 603-606 p. 1993.

- BRITO, J. O. Expressão da produção florestal em unidades energéticas. In: 1º Congresso florestal panamericano e 7º Congresso florestal brasileiro (1993:Curitiba).Anais. Curitiba, PR : SBS-SBEF, 280-282 1993.
- BRITO, J. O. ; BARRICHELO, L. E. G. Usos diretos e propriedades da madeira para a geração de energia. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais - IFEF. Circular técnica, nº 52. Piracicaba, SP. 1979.
- BRITO, J. O. ; BARRICHELO, L. E. G. Aspectos técnicos da utilização da madeira e carvão vegetal como combustíveis. In: 2º Seminário de abastecimento energético industrial com recursos florestais. São Paulo, SP. 101-137 p. 1982.
- CASTRO, F. Um mercado com tendência de crescimento. In: 1º Congresso florestal panamericano e 7º Congresso florestal brasileiro (1993: Curitiba).Anais. Curitiba, PR :SBS-SBEF, p.30. 1993.
- CENTRE TECHNIQUE FORESTIER TROPICAL- CTFT. La Forêt Amazonienne- Source d'Energia. Paris. 90 p. 1971.
- CORDER, S. E. Wood and bark as fuel. Forest Research Laboratory. Oregon State University. School of Forestry. Research Bulletin, 14. Corvallis. 1973.
- CORDER, S. E. ; et alii. Wood and bark resifue disposal in wigwam burners. Forest Research Labororty. Oregon State University. Bulletin nº 11. Oregon. USA. 1970.

DOBIE, J. ; WRIGHT, D. M. Metric conversion factors for forest products.  
Forintek Canadá Corp. Vancouver, B. C. 1979.

EKONO OY. Power and heat plants. (Study prepared for the FAO portfolio  
of small-scale forest industries for developing countries).  
Helsinki, Finlândia. 88 p. 1980.

FAO-Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação.  
Yearbook of forest products. Roma, Italy, 1970.

FAO-Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação.  
Wood chips - production, handling, transport. Second (updated)  
edition. Rome, Italy. 1976.

FAO-Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação.  
Recursos de madera y su utilizacion como materias primas.  
(Estudio sectorial). Viena. ONUDI. 1983.

FAO-Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação.  
Conservacion de energia en las indústrias mecânicas florestales.  
Estudio FAO : Montes 93. Roma, 129 p. 1991.

FAO/CEPAL/ONUUDI. Uruguay : proyecto de desarrollo florestal de Olypa;  
perspectivas para la utilizacion industrial de la madera. (Grupo  
asesor en indústrias florestales para America Latina).Santiago.  
Chile. 1972.

FARINHAQUE, R. Influência da umidade no poder calorífico da madeira  
de bracatinga (*Mimosa scabrella*, Benth), e aspectos gerais da  
combustão. FUPEF. Série Técnica nº 06. Curitiba, PR. 13 p. 1981.

- FERREIRA, M. C. A integração dos setores produtivos e ambientais. In: 1º Congresso florestal panamericano e 7º congresso florestal brasileiro (1993:Curitiba).Anais. Curitiba, PR : SBS-SBEF, p.40-41. 1993.
- FRESE, F. A. A collection of log rules. General Technical Report. Forest Products Laboratory. FLP,1. Madison, Wisconsin. 1973.
- FREITAS, A. R. Alternativas tecnológicas para melhor aproveitamento dos recursos florestais brasileiros. In: 5º Congresso florestal brasileiro (1986:Olinda, PE).Silvicultura. São Paulo, SP. 11(41):176-178. 1986.
- FREITAS, A. R. ; BRITO NETO, O. Os avanços tecnológicos no processamento e uso de produtos florestais : produção de madeira serrada de eucalipto. In: 1º Congresso florestal panamericano e 7º Congresso florestal brasileiro (1993:Curitiba).Anais. Curitiba, PR : SBS-SBEF, p.293-295. 1993.
- FONTES, P. J. P. Aproveitamento energético da madeira derivada dos desmatamentos em Rondônia. IBAMA/DIRPED/LPF. Série Técnica nº09. Brasília, DF. 1989.
- GRANTHAN, J. B. et. alii. Energy and raw material potentials of wood residue in the Pacific Coast States. USDA. Forest Service General. Technical Report. PNW-18. 37 p. 1974.
- GUERRA, F. Serrarias - subsídios técnicos. Superintendência do desenvolvimento da Amazônia - SUDAM, Belém, 91 p. 1983.

- HALLOCK, H. Sawing to reduce warp of loblolly pine studs. Forest Products Laboratory, Research Paper FPL-51. Madison, 1965.
- HALLOCK, H. ; LEWIS, D. W. Increasing softwood dimension yield from small logs. USDA Forest Service, Research Paper FPL-166. Madison, Wisconsin. 1971.
- HALLOCK, H. ; LEWIS, D. W. A best opening face program for sawing small logs. Forest Products Laboratory, Madison. 1973.
- HARKIN, J. M. ; ROWE, J. W. Bark and its possible uses. Forest Products Laboratory. Research Note. FPL-91. Madison. Wisconsin. 1971.
- HASEK, V. C. Cavacos como produto comercializável. Projeto PNUD/FAO/IBDF/BRA-45. Relatório Técnico. Brasília, DF. 1976.
- HAYGREEN, J. G. ; BOWYER, J. L. Forest products and wood Science. Iowa State University Press. Iowa. 1982.
- HOCHHEIN, N. ; MARTIN, P. Influência da qualidade das toras no processo de fabricação, rendimento, custo e rentabilidade da madeira serrada. In: 1º Congresso florestal panamericano e 7º Congresso florestal brasileiro (1993:Curitiba).Anais. Curitiba, PR : SBS-SBEF, 644-646 p. 1993.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL - IBDF. Levantamento dos resíduos de indústrias florestais do Paraná e Santa Catarina. Convênio IBDF/Fundação da Universidade do Paraná. Relatório Final. Curitiba, PR. 83p. 1984.

INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL - IBDF.

Diagnóstico dos recursos florestais do Brasil. Brasília, DF. 1988.

KATZEN, R. A. Chemicals from wood waste. Forest Products Laboratory.  
Madison, Wisconsin. 171 p. 1975

KOCH, P. Utilization of the southern pines. USDA. Forest Service.  
Handbook. 420 p. 1972.

KOLLMANN, F. E. W. E. Caté Jr. Principles of wood science and technology  
I solid wood. Inc. New York. 592 p. 1968.

LEVELTON, B. H. : ASSOCIATION Ltd. A review of the options available  
to the Forest Industry for Producing Electricity from wood residues  
Projecto ENFLOR C-185. Toronto, Canadá. 1982.

LIN, F. Economic Desirability of Using Wood as a Fuel for Steam  
Production. Forest Products Journal. Vol, 31, nº 01. 1981.

MENDES, A.S. Dimensionamento de secadores convencionais para  
madeira. IBDF/Laboratório de Produtos Florestais. Série técnica.  
Brasília-DF. 24p. 1983.

MONTAGUE, M.A. Band and circular sawmills for softwoods. Department  
of the Environment. Forest Products Research. Bulletin, nº 55,  
London, 1971.

MOORE, W.E. Wood residue energy conversion systems market. Forest  
Products Journal. 26 (3), March . 1976.

MOOSMAYER, H. Técnicas modernas de desdobro de Pinus com aproveitamento de resíduos. Revista Silvicultura, V. 35 nº 04. São Paulo, SP. 1984. p. 7-12.

MUNIZ, G. I. B. Caracterização e desenvolvimento de modelos para estimar as propriedades e o comportamento na secagem da madeira de Pinus elliotti Engelm. e Pinus taeda L. Curitiba. 1993. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

NOCK, H.P. Possibilidade de utilização da casca. Informe técnico. Brasil Madeira. 1 (7): 19-21 Curitiba: PR. 1977.

PHILLIPS, D.R.; SCHOREDER, J.G. Predicted green lumber and residue yields from the merchantable stem of shortleaf pine. Asheville, USDA. Forest Service (Research Paper - SE, 128). 12p. 1975.

PINCREY, D.W.; WAGGONER, N.E. Cost Effectiveness and Incentives for Cogeneration. Hardware for Energy Generation in the Forest Products Industry. Forest Products Research Society-Madison, Wisconsin. 1979.

PONCE, R.H. Produção de madeira de qualidade para processamento mecânico. In: I SEMADER - Seminário sobre processamento mecânico e utilização de madeiras de reflorestamento (1984: Curitiba). Revista Silvicultura, São Paulo, 9(34) p9 - 13, 1984.

QUEZADA, A.; LISBOA, C.D.J. Operación de aserraderos de la region Amazonica. Informe de consultoria. Projeto PNUD\FAO\IBDF\BRA-82. Brasília-DF 1984. 105p.



- REZENDE, J.L.P. et alii. Análise técnica e econômica do desdobro de toras de Pinus. Revista Arvore, Viçosa-MG, 16 (2): 181-193, 1992.
- RIBAS, C. et alii. Estudo da influência do diâmetro e do comprimento das toras de Pinus elliotti na produção de madeir aserrada e de resíduos de serraria. Revista Instituto Florestal, São Paulo, 1(1): 51-65. 1989.
- SILVA, L.B.X.; REICHMANN NETO, F.; TOMASELLI, IL. Estudo Comparativo da produção de biomassa para energia entre 23 espécies florestais. FUPEF. Curitiba-PR. 1983.
- STEELE, P.H.; RISBRODT, C.D. Efficiency of softwood sawmills in the Southern United States in relation to capacity. Forest. Products Journal 7 (35). 1985. p. 51-56.
- SUCHEK, V.I. O risco de importar madeira serrada. In: 7º Congresso Florestal Brasileiro e 1º Congresso Florestal Panamericano (1993:Curitiba) Anais. Curitiba, PR: SBS-SBEF, 1993. p. 41-42.
- TUSET, A. ; DURAN, F. Manual de maderas comerciales, equipos y proceso de utilizacions, Uruguai, Editorial Hemisférico Sul, 1979.
- VIANNA NETO, J.A.A. Considerações básica sobre desdobro de Pinus spp in: I SEMADER. Seminário sobre processamento e utilização de madeiras de reflorestamento (1984: Curitiba-PR Revista Silvicultura. São Paulo. 9 (34): 15-19. 1984.

VON WENDORFF, G.B. Motenrs à gaz de bois. Institut Forester Mondial.

Reune du Bois. 12L 25-28. Paris. 1980.

ZERBE, J.I. Energy properties of wood. In: Fullwood Mangement and

Utilization Seminar. Proceedings. Michigan Stat e University, East

Lansing. MI. 152p. 1983

## ANEXO I

1.1 - IDENTIFICAÇÃO DA EMPRESA

Nome: \_\_\_\_\_

Município \_\_\_\_\_

CEP \_\_\_\_\_ Fone \_\_\_\_\_ Telex \_\_\_\_\_

Pessoa de contato: \_\_\_\_\_

Cargo \_\_\_\_\_ Data \_\_\_\_\_

Tipo de Empresa: \_\_\_\_\_

Vendas no mercado interno \_\_\_\_\_ %

Vendas no mercado externo \_\_\_\_\_ %

1.2 - RECURSOS HUMANOS

Quadro de funcionários

Divisão de trabalho	N.S	N.M	AUX.	TOTAL
Administração				
Produção				
Manutenção				
Total Geral				

1.3 - Produção

Período de operação \_\_\_\_\_ horas/semana \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ dias/sem. \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ dias/mes. \_\_\_\_\_

Principais Produtos

Produtos	Unidade	1	2	3	4	Total

1.4 - Consumo Anual de Energéticos

Quantidade consumida/trim.

Tipo	Unidade	1	2	3	4	Total

Quais espécies de madeira que a Empresa processa?

( ) Pinus \_\_\_\_\_ % ( ) Eucaliptus \_\_\_\_\_ %

( ) Outros \_\_\_\_\_ % Quais? \_\_\_\_\_

Qual o volume total de madeira de Pinus consumida na Indústria/ano?

Madeira de Pinus/toras	diâmetro médio	Vol. consumido/trim. (m3)	Vol. m3	Total %
1 desbaste				
2 desbaste				
3 desbaste				
4 desbaste				
Corte final				
Volume total				

Qual o volume máximo para estocagem no pátio? \_\_\_\_\_

Existe limite no volume de madeiras em toras que possa ser estocado economicamente? ( ) Sim ( ) Não.

Caso afirmativo qual a natureza do limite? \_\_\_\_\_

Existe processo de seleção de toras no pátio da indústria? ( ) Sim ( ) Não. Caso afirmativo, explique o processo \_\_\_\_\_



(4) - NÍVEL DE PROCESSAMENTO/PRODUTO FINAL

Período de operação	Consumo de Mat. - Prima	Madeira Serrada	Relação m3 solido m3 serrado

H/D = horas/dia - m3/ D = metros cúbicos/dia - D/M = dias/mes m3/M = metro cúbicos/mes

Existe controle de qualidade das peças produzidas?

( ) Sim ( ) Não

As peças que não passam no controle de qualidade são reaproveitadas?

( ) Sim ( ) Não

Especificação do Produto final acabado	Quantidade Produzida (m3)	Controle de Qualidade Índice de rejeição %	Índice de perdas reaproveitamento das peças

(5) - RESÍDUOS GERADOS

Tipo de resíduo	Quantidade Produzida (m3)mes	% em relação a mat. - prima	Índice de aproveitamento na indústria. (%)
Casca			
Serragem			
Caotaneiras			
Cavacos			
Aparas			
Recortes			
Peças c/def.			
Outros			





Nome da Empresa			
DATA DA COLETA		IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA	
Classificação diamétrica			

NUMERO DA TORÇA	DIAMETRO (cm)			COMPRIMENTO L (m)	VOLUME (m <sup>3</sup> ) $V = \frac{\pi D^2}{4} \cdot L$	PESO
	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	D			
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
TOTAIS			$\bar{D}$ :	$\bar{L}$ :		

RESÍDUOS GERADOS NO PROCESSO			
	COSTANEIRAS	PESO	PORCENTAGEM
	Serra Multipla		
	Serra Circ.Dupla		
	Sub - Total		
	DESTOPADEIRA		
	REFILADEIRA		
	OUTROS		
	TOTAL DE RESÍDUOS		
	TOTAL DE MADEIRA SERRADA		

## ANEXO II

Numero da Tora	Diametro (cm)			Comprimento L(m)	Volume m3 V=	Peso	Densid Kg/r
	d1	d2	D				
1	26.00	31.00	28.50	3.20	0.2041	278.000	136
2	27.00	30.00	28.50	3.10	0.1978	233.500	118
3	27.00	31.00	29.00	3.20	0.2114	288.000	136
4	25.00	26.00	25.50	3.15	0.1609	181.000	112
5	24.50	31.50	28.00	3.10	0.1909	230.500	120
6	25.00	26.50	25.75	3.15	0.1640	188.500	114
7	25.00	31.00	28.00	3.10	0.1909	235.500	123
TOTAL/MED	25.64	29.57	27.61	3.14	1.3200	1635.000	123
Desvio P.	0.9530	2.1452	1.2946	0.0416			8
Variancia	0.91	4.60	1.68	0.00			791

## RESIDUOS GERADOS NO PROCESSO

COSTANEIRAS	PESO	%
SERRA MULTIPLA	180.00	11.01
SERRA FITA	129.00	7.89
SUB-TOTAL	309.00	18.90
DESTOPADEIRA	79.00	4.83
REFILADEIRA	127.50	7.80
Serragem e Cascas	573.50	35.08
TOTAL DE RESIDUOS	1089.00	66.61
TOTAL de Madeira Serrada	546.00	33.39

Nome da Empresa: SERRARIA 1

103

Data da Coleta: 23/11/90

LOTE 02

Classificacao diametrica: C = 25.00 - 29.50

Numero da Tora	Diametro (cm)			Comprimento L(m)	Volume m3 V=	Peso	Densidade
	d1	d2	D				
1	26.00	30.50	28.25	3.50	0.2194	212.000	966.382
2	24.00	29.00	26.50	3.50	0.1930	192.500	997.195
3	25.00	28.00	26.50	3.40	0.1875	175.000	933.204
4	24.50	28.50	26.50	3.50	0.1930	187.500	971.294
5	26.00	32.00	29.00	3.10	0.2048	238.000	1162.327
6	24.50	27.00	25.75	3.10	0.1614	160.000	991.090
7	25.00	27.00	26.00	3.50	0.1858	170.500	917.527
TOTAL/MED	25.00	28.86	26.93	3.37	1.3450	1335.500	991.285
Desvio P.	0.7071	1.7053	1.1237	0.1750			10.680
Variancia	0.50	2.91	1.26	0.03			114.067

## RESIDUOS GERADOS NO PROCESSO

COSTANEIRAS	PESO	%
SERRA MULTIPLA	82.00	6.14
SERRA FITA	169.00	12.65
SUB-TOTAL	251.00	18.79
DESTOPAIDEIRA	78.00	5.84
REFILADEIRA	96.00	7.19
Serragem e Cascas	470.50	35.23
TOTAL DE RESIDUOS	895.50	67.05
TOTAL de Madeira Serrada	440.00	32.95

Nome da Empresa: SERRARIA 1

104

Data da Coleta : 23/11/90

LOTE 03

Classificacao diametrica : C = 25.00 - 29.50

Numero da Tora	Diametro (cm)		Compnimento D	Volume m3 V=	Peso	Densidade	
	d1	d2					
1	26.00	28.00	27.00	3.60	0.2061	230.500	1118.279
2	24.00	28.50	26.25	3.60	0.1948	229.500	1177.960
3	24.00	28.00	26.00	3.50	0.1858	206.500	1111.257
4	27.00	31.00	29.00	3.50	0.2312	247.000	1068.420
5	24.00	28.00	26.00	3.40	0.1805	190.000	1052.536
6	25.00	26.50	25.75	3.50	0.1823	207.000	1135.683
7	25.50	29.00	27.25	3.60	0.2100	238.000	1133.576
TOTAL/MED	25.07	28.43	26.75	3.53	1.3907	1548.500	1113.959
Desvio P.	1.0833	1.2657	1.0522	0.0700			5.618
Variancia	1.17	1.60	1.11	0.00			31.561

## RESIDUOS GERADOS NO PROCESSO

COSTANEIRAS	PESO	%
SERRA MULTIPLA	126.00	8.14
SERRA FITA	95.00	6.13
SUB-TOTAL	221.00	14.27
DESTOPADEIRA	72.50	4.68
REFILADEIRA	153.50	9.91
Serragem e Cascas	641.50	41.43
TOTAL DE RESIDUOS	1088.50	70.29
TOTAL de Madeira Serrada	460.00	29.71

Nome da Empresa: SERRARIA 1

105

Data da Coleta: 23/11/90

LOTE 04

Classificacao diametrica: B = 20.00 - 24.50

Numero da Tora	Diametro (cm)			Comprimento L(m)	Volume m3 V=	Peso	Densidade
	d1	d2	D				
1	19.00	21.00	20.00	3.50	0.1100	113.500	1032.231
2	20.50	23.50	22.00	3.40	0.1292	121.000	936.203
3	21.50	25.00	23.25	3.50	0.1486	153.000	1029.643
4	22.00	25.50	23.75	3.50	0.1551	154.500	996.420
5	20.50	25.00	22.75	3.50	0.1423	140.000	984.025
6	20.00	26.00	23.00	3.50	0.1454	146.000	1004.010
7	21.00	24.50	22.75	3.40	0.1382	148.500	1074.469
TOTAL/MED	20.64	24.36	22.50	3.47	0.9687	976.500	1008.143
Desvio P.	0.9147	1.5518	1.1339	0.0452			5.753
Variancia	0.84	2.41	1.29	0.00			33.099

## RESIDUOS GERADOS NO PROCESSO

COSTANEIRAS	PESO	%
SERRA MULTIPLA	78.00	7.99
SERRA FITA	108.00	11.06
SUB-TOTAL	186.00	19.05
DESTOPADEIRA	57.00	5.84
REFILADEIRA	90.00	9.22
Serragem e Cascas	359.50	36.82
TOTAL DE RESIDUOS	692.50	70.92
TOTAL de Madeira Serrada	284.00	29.08

Numero da Tora	Diâmetro (cm)			Comprimento L(m)	Volume m3 V=	Peso	Densidade
	d1	d2	D				
1	22.00	25.00	23.50	3.55	0.1540	184.000	1184.986
2	21.00	25.50	23.25	3.50	0.1486	155.000	1043.102
3	20.00	24.50	22.25	3.50	0.1361	123.500	907.502
4	19.00	24.00	21.50	3.45	0.1253	129.500	1033.910
5	21.00	24.50	22.75	3.50	0.1423	144.000	1012.140
6	19.00	23.50	21.25	3.50	0.1241	110.500	890.196
7	20.00	25.00	22.50	3.50	0.1392	131.000	941.342
TOTAL/MED.	20.29	24.57	22.43	3.50	0.9695	977.500	1003.311
Desvio P.	1.0302	0.6227	0.7759	0.0267			13.782
Variância	1.06	0.39	0.60	0.00			189.946

## RESIDUOS GERADOS NO PROCESSO

COSTANEIRAS	PESO	%
SERRA MULTIPLA	88.00	9.00
SERRA FITA	119.00	12.17
SUB-TOTAL	207.00	21.18
DESTOPAIDEIRA	56.00	5.73
REFILADEIRA	82.00	8.39
Serragem e Cascas	354.50	36.27
TOTAL DE RESIDUOS	699.50	71.56
TOTAL de Madeira Serrada	278.00	28.44

Nome da Empresa: SERRARIA 1

107

Data da Coleta : 23/11/90

LOTE 08

Classificacao diametrica : B = 20,00 - 24,50

Numero da Tora	Diametro (cm)			Comprimento L(m)	Volume m3 V=	Peso	Densidade
	d1	d2	D				
1	21.50	25.00	23.25	3.50	0.1486	155.000	1043.102
2	20.00	21.00	20.50	3.50	0.1155	124.500	1077.712
3	21.00	27.00	24.00	3.55	0.1606	172.500	1074.107
4	23.00	24.00	23.50	3.40	0.1475	160.000	1084.962
5	20.00	24.00	22.00	3.55	0.1349	140.000	1037.441
6	18.00	22.00	20.00	3.60	0.1131	122.500	1083.135
7	18.00	21.00	19.50	3.55	0.1060	108.000	1018.674
TOTAL MED	20.21	23.43	21.82	3.52	0.9263	982.500	1059.876
Desvio P.	1.6873	2.0603	1.6941	0.0589			3.488
Variancia	2.85	4.24	2.87	0.00			12.167

## RESIDUOS GERADOS NO PROCESSO

COSTANEIRAS	PESO	%
SERRA MULTIPLA	57.00	5.80
SERRA FITA	106.00	10.79
SUB-TOTAL	163.00	16.59
DESTOPADEIRA	47.00	4.78
REFILADEIRA	70.00	7.12
Serragem e Cascas	450.50	45.85
TOTAL DE RESIDUOS	730.50	74.35
TOTAL de Madeira Serrada	252.00	25.65



Nome da Empresa: SERRARIA 1

108

Data da Coleta: 23/11/90

LOTE 07

Classificacao diametrica: A = 15,00 - 19,50

Numero da Tora	Diametro (cm)			Comprimento L(m)	Volume m3 V=	Peso	Densidade
	d1	d2	D				
1	15.00	19.00	17.00	3.55	0.0806	90.000	1118.929
2	16.00	18.00	17.00	3.50	0.0794	85.500	1076.240
3	14.00	18.00	16.00	3.50	0.0704	83.000	1179.449
4	18.00	20.00	19.00	3.55	0.1007	120.000	1192.216
5	14.00	16.50	15.25	3.55	0.0648	78.500	1210.628
6	15.00	18.00	16.50	3.50	0.0748	86.000	1149.137
7	17.50	19.00	18.25	3.50	0.0916	115.000	1256.068
TOTAL/MED.	15.64	18.36	17.00	3.52	0.5623	658.000	1168.667
Desvio P.	1.4812	1.0252	1.1877	0.0247			7.949
Variancia	2.19	1.05	1.41	0.00			63.182

## RESIDUOS GERADOS NO PROCESSO

COSTANEIRAS	PESO	%
SERRA MULTIPLA	29.00	4.41
SERRA FITA	143.50	21.81
SUB-TOTAL	172.50	26.22
DESTOPAIDEIRA	49.00	7.45
REFILADEIRA	23.50	3.57
Serragem e Cascas	268.00	40.73
TOTAL DE RESIDUOS	513.00	77.96
TOTAL de Madeira Serrada	145.00	22.04

Numero da Tora	Diametro (cm)			Comprimento L(m)	Volume m3 V=	Peso	Densidade
	d1	d2	D				
1	15.00	16.00	15.50	3.50	0.0660	64.000	969.075
2	16.00	18.00	17.00	3.55	0.0806	91.000	1129.339
3	16.50	18.00	17.25	3.55	0.0830	95.500	1151.081
4	15.00	17.00	16.00	3.55	0.0714	78.000	1092.787
5	17.50	20.50	19.00	3.50	0.0992	107.000	1078.245
6	16.00	19.50	17.75	3.50	0.0866	98.000	1131.541
7	16.00	17.50	16.75	3.50	0.0771	82.000	1063.225
TOTAL/MED	16.00	18.07	17.04	3.52	0.5639	615.500	1087.899
Desvio P.	0.8018	1.3997	1.0643	0.0247			8.092
Variancia	0.64	1.96	1.13	0.00			65.478

## RESIDUOS GERADOS NO PROCESSO

COSTANEIRAS	PESO	%
SERRA MULTIPLA	38.00	6.17
SERRA FITA	147.00	23.88
SUB-TOTAL	185.00	30.06
DESTOPADEIRA	31.50	5.12
REFILADEIRA	37.50	6.09
Serragem e Cascas	198.50	32.25
TOTAL DE RESIDUOS	452.50	73.52
TOTAL de Madeira Serrada	163.00	26.48

Nome da Empresa: SERRARIA 1

110

Data da Coleta : 23/11/90

LOTE 09

Classificacao diametrica : A = 15,00 - 19,50

Numero da Tora	Diametro (cm)		Comprimento L(m)	Volume m3 V=	Peso	Densidade	
	d1	d2					D
1	15.00	17.00	16.00	3.55	0.0714	81.000	1134.81
2	16.00	17.00	16.50	3.55	0.0759	93.500	1231.75
3	16.00	19.00	17.50	3.65	0.0878	127.000	1446.58
4	14.50	16.00	15.25	3.45	0.0630	78.000	1237.78
5	15.50	18.50	17.00	3.50	0.0794	105.500	1327.99
6	15.00	17.00	16.00	3.50	0.0704	81.000	1151.02
7	15.00	17.50	16.25	3.15	0.0653	77.500	1186.29
TOTAL/MED	15.29	17.43	16.36	3.48	0.5132	643.500	1245.18
Desvio P.	0.5249	0.9422	0.6795	0.1460			14.50
Variancia	0.28	0.89	0.46	0.02			210.40

## RESIDUOS GERADOS NO PROCESSO

COSTANEIRAS	PESO	%
SERRA MULTIPLA	38.50	5.98
SERRA FITA	113.00	17.56
SUB-TOTAL	151.50	23.54
DESTOPAIDEIRA	49.50	7.69
REFILADEIRA	27.50	4.27
Serragem e Cascas	299.00	46.46
TOTAL de Madeira Serrada	527.50	81.97
T_MAD.SERR.	116.00	18.03

Nome da Empresa: SERRARIA 2

111

Data da Coleta: 26/11/90

LOTE 10

Classificacao diametrica: A = 25.00 - 29.50

Numero da Tora	Diametro (cm)			Comprimento L(m)	Volume m3 V=	Peso	Densidade
	d1	d2	D				
1	24.00	26.00	25.00	4.35	0.2135	257.400	1205.448
2	26.50	29.00	27.75	4.35	0.2631	287.500	1092.777
3	26.00	29.00	27.50	4.35	0.2584	277.300	1073.258
4	27.50	29.50	28.50	4.40	0.2807	309.000	1100.842
5	25.00	31.00	28.00	4.40	0.2709	294.200	1085.883
6	27.50	30.50	29.00	4.35	0.2873	303.600	1056.637
7	25.00	28.00	26.50	4.35	0.2399	266.100	1109.106
TOTAL/MED	25.93	29.00	27.46	4.36	1.8139	1995.100	1103.422
Desvio P.	1.2372	1.5353	1.2423	0.0226			6.381
Variancia	1.53	2.36	1.54	0.00			40.723

## RESIDUOS GERADOS NO PROCESSO

COSTANEIRAS	PESO	%
SERRA MULTIPLA		0.00
SERRA FITA	151.20	7.58
SUB-TOTAL	151.20	7.58
DESTOPADEIRA	113.50	5.69
REFILADEIRA	313.00	15.69
Serragem e Cascas	553.80	27.76
TOTAL DE RESIDUOS	1131.50	56.71
TOTAL de Madeira Serrada	863.60	43.29

Nome da Empresa: SERRARIA 2

112

Data da Coleta : 26/11/90

LOTE 11

Classificacao diametrica : A = 25.00 - 29.50

Numero da Tora	Diametro (cm)			Comprimento L(m)	Volume m3 V=	Peso	Densidade
	d1	d2	D				
1	24.50	27.00	25.75	4.35	0.2265	248.800	1098.287
2	26.00	28.00	27.00	4.35	0.2491	277.600	1114.581
3	24.50	27.00	25.75	4.30	0.2239	245.000	1094.088
4	25.50	28.00	26.75	4.35	0.2445	275.000	1124.877
5	26.00	31.00	28.50	4.40	0.2807	319.200	1137.181
6	26.00	32.00	29.00	4.35	0.2873	320.500	1115.455
7	25.00	30.50	27.75	4.40	0.2661	293.600	1103.282
TOTAL/MED	25.36	29.07	27.21	4.36	1.7781	1979.700	1112.536
Desvio P.	0.6389	1.8979	1.1759	0.0319			2.021
Variância	0.41	3.60	1.38	0.00			4.086

## RESIDUOS GERADOS NO PROCESSO

COSTANEIRAS	PESO	%
SERRA MULTIPLA		0.00
SERRA FITA	137.70	6.96
SUB-TOTAL	137.70	6.96
DÉSTOPADEIRA	80.00	4.04
REFILADEIRA	311.20	15.72
Serragem e Cascas	693.40	35.03
TOTAL DE RESIDUOS	1222.30	61.74
TOTAL de Madeira Serrada	757.40	38.26

Nome da Empresa: SERRARIA 2

113

Data da Coleta : 26/11/90

LOTE 12

Classificacao diametrica : A = 25.00 - 29.50

Numero da Tora	Diametro (cm)		Comprimento D	Comprimento L(m)	Volume m3 V=	Peso	Densidade
	d1	d2					
1	24.00	27.00	25.50	4.35	0.2222	258.400	1163.140
2	25.00	30.50	27.75	4.40	0.2661	287.300	1079.608
3	24.50	27.00	25.75	4.35	0.2265	266.500	1176.421
4	26.00	29.50	27.75	4.35	0.2631	304.600	1157.774
5	26.00	29.00	27.50	4.40	0.2613	303.800	1162.462
6	25.50	30.00	27.75	4.35	0.2631	308.400	1172.218
7	26.00	31.00	28.50	4.40	0.2807	323.200	1151.431
TOTAL/MED	25.29	29.14	27.21	4.37	1.7830	2052.200	1151.865
Desvio P	0.7491	1.4812	1.0473	0.0247			4.357
Vanancia	0.56	2.19	1.10	0.00			18.988

## RESIDUOS GERADOS NO PROCESSO

COSTANEIRAS	PESO	%
SERRA MULTIPLA		0.00
SERRA FITA	127.50	6.21
SUB-TOTAL	127.50	6.21
DESTOPAIDEIRA	91.30	4.45
REFILADEIRA	299.70	14.60
Serragem e Cascas	792.90	38.64
TOTAL DE RESIDUOS	1311.40	63.90
TOTAL de Madeira Serrada	740.80	36.10

Nome da Empresa: SERRARIA 2

114

Data da Coleta: 26/11/90

LOTE 13

Classificacao diametrica: A = 20.00 - 24.50

Numero da Tora	Diametro (cm)		Comprimento L(m)	Volume m3 V=	Peso	Densidade	
	d1	d2					D
1	18.50	22.00	20.25	4.35	0.1401	135.600	967.898
2	22.00	26.00	24.00	4.35	0.1968	214.400	1089.487
3	20.50	24.50	22.50	4.35	0.1730	200.100	1156.916
4	19.50	24.50	22.00	4.30	0.1635	186.800	1142.805
5	22.00	25.50	23.75	4.40	0.1949	209.800	1076.303
6	19.50	22.50	21.00	4.55	0.1576	148.000	939.119
7	19.00	24.00	21.50	4.40	0.1597	179.000	1120.553
TOTAL/MED	20.14	24.14	22.14	4.39	1.1856	1273.700	1070.440
Desvio P.	1.3015	1.3553	1.2807	0.0742			11.246
Variância	1.69	1.84	1.64	0.01			126.482

## RESIDUOS GERADOS NO PROCESSO

	PESO	%
COSTANEIRAS		
SERRA MULTIPLA		0.00
SERRA FITA	102.70	8.06
SUB-TOTAL	102.70	8.06
DESTOPADEIRA	98.60	7.74
REFILADEIRA	269.80	21.18
Serragem e Cascas	330.70	25.96
TOTAL DE RESIDUOS	801.80	62.95
TOTAL de Madeira Serrada	471.90	37.05

Nome da Empresa: SERRARIA 2

115

Data da Coleta: 26/11/90

LOTE 14

Classificacao diametrica: A = 20.00 - 24.50

Numero da Tora	Diâmetro (cm)		Comprimento D	Comprimento L(m)	Volume m <sup>3</sup> V=	Peso	Densidade
	d1	d2					
1	17.50	22.00	19.75	4.40	0.1348	153.300	1137.272
2	21.50	26.00	23.75	4.40	0.1949	211.700	1086.051
3	20.50	23.00	21.75	4.35	0.1616	179.600	1111.239
4	22.00	24.50	23.25	4.40	0.1868	206.500	1105.428
5	21.00	24.00	22.50	4.35	0.1730	191.500	1107.194
6	21.00	24.00	22.50	4.35	0.1730	192.000	1110.084
7	17.00	22.00	19.50	4.35	0.1299	143.000	1100.745
TOTAL/MED	20.07	23.64	21.86	4.37	1.1540	1277.600	1108.288
Desvio P.	1.8406	1.3286	1.5286	0.0247			2.030
Variancia	3.39	1.77	2.34	0.00			4.119

## RESIDUOS GERADOS NO PROCESSO

COSTANEIRAS	PESO	%
SERRA MULTIPLA		0.00
SERRA FITA	106.00	8.30
SUB-TOTAL	106.00	8.30
DESTOPADEIRA	81.50	6.38
REFILADEIRA	246.80	19.32
Serragem e Cascas	345.60	27.05
TOTAL DE RESIDUOS	779.90	61.04
TOTAL de Madeira Serrada	497.70	38.96



Nome da Empresa: SERRARIA 2

116

Data da Coleta : 26/11/90

LOTE 15

Classificacao diametrica : A = 20.00 - 24.50

Numero da Tora	Diâmetro (cm)			Comprimento L(m)	Volume m3 V=	Peso	Densidade
	d1	d2	D				
1	21.50	24.50	23.00	4.35	0.1807	206.900	1144.787
2	18.50	21.00	19.75	4.30	0.1317	150.700	1143.983
3	21.50	25.00	23.25	4.40	0.1868	218.000	1166.990
4	16.50	24.50	20.50	4.40	0.1452	157.300	1083.122
5	22.00	26.00	24.00	4.40	0.1991	236.000	1185.621
6	20.00	25.00	22.50	4.40	0.1749	190.900	1091.182
7	20.50	24.50	22.50	4.40	0.1749	191.600	1095.184
TOTAL/MED	20.07	24.36	22.21	4.38	1.1934	1351.400	1130.124
Desvio P.	1.8211	1.4569	1.4169	0.0364			5.343
Variancia	3.32	2.12	2.01	0.00			28.550

## RESIDUOS GERADOS NO PROCESSO

COSTANEIRAS	PESO	%
SERRA MULTIPLA		0.00
SERRA FITA	101.00	7.47
SUB-TOTAL	101.00	7.47
DESTOPADEIRA	74.00	5.48
REFILADEIRA	251.00	18.57
Serragem e Cascas	422.60	31.27
TOTAL DE RESIDUOS	848.60	62.79
TOTAL de Madeira Serrada	502.80	37.21

Nome da Empresa: SERRARIA 2

117

Data da Coleta: 26/11/90

LOTE 16

Classificacao diametrica

A = 15 00 - 19 50

Numero da Tora	Diametro (cm)			Comprimento L(m)	Volume m3 V=	Peso	Densidade
	d1	d2	D				
1	15.00	19.00	17.00	4.35	0.0987	107.000	1083.692
2	16.50	19.50	18.00	4.40	0.1120	123.200	1100.328
3	15.00	21.00	18.00	4.40	0.1120	120.100	1072.641
4	17.00	20.00	18.50	3.35	0.0900	95.600	1061.644
5	14.00	18.50	16.25	3.80	0.0788	88.700	1125.492
6	16.50	19.50	18.00	3.55	0.0903	101.600	1124.681
7	15.00	19.00	17.00	3.00	0.0681	80.100	1176.312
TOTAL/MED	15.57	19.50	17.54	3.84	0.6500	716.300	1106.398
Desvio P.	1.0152	0.7559	0.7371	0.5235			5.202
Variancia	1.03	0.57	0.54	0.27			27.060

## RESIDUOS GERADOS NO PROCESSO

COSTANEIRAS	PESO	%
SERRA MULTIPLA		0.00
SERRA FITA	122.70	17.13
SUB-TOTAL	122.70	17.13
DESTOPADEIRA	53.00	7.40
REFILADEIRA	143.80	20.08
Serragem e Cascas	149.50	20.87
TOTAL DE RESIDUOS	469.00	65.48
TOTAL de Madeira Serrada	247.30	34.52

Nome da Empresa: SERRARIA 2

118

Data da Coleta: 26/11/90

LOTE 17

Classificacao diametrica: A = 15,00 - 19,50

Numero da Tora	Diametro (cm)		Comprimento		Volume m3 V=	Peso	Densidade
	d1	d2	D	L(m)			
1	14.00	19.50	16.75	4.30	0.0948	105.200	1110.28
2	14.00	19.00	16.50	3.70	0.0791	81.200	1026.35
3	16.50	19.00	17.75	3.55	0.0878	97.400	1108.77
4	16.00	20.00	18.00	4.40	0.1120	135.000	1205.71
5	14.50	19.00	16.75	4.35	0.0959	108.000	1126.71
6	16.00	20.00	18.00	4.40	0.1120	124.100	1108.36
7	16.00	19.50	17.75	3.70	0.0916	104.000	1135.91
TOTAL/MED	15.29	19.43	17.35	4.06	0.6731	754.900	1117.44
Desvio P.	0.9949	0.4165	0.6103	0.3570			6.983
Variancia	0.99	0.17	0.37	0.13			48.76

## RESIDUOS GERADOS NO PROCESSO

COSTANEIRAS	PESO	%
SERRA MULTIPLA		0.00
SERRA FITA	137.60	18.23
SUB-TOTAL	137.60	18.23
DESTOPADEIRA	56.40	7.47
REFILADEIRA	157.60	20.88
Serragem e Cascas	152.80	20.24
TOTAL DE RESIDUOS	504.40	66.82
TOTAL de Madeira Serrada	250.50	33.18

Nome da Empresa: SERRARIA 2

119

Data da Coleta : 26/11/90

LOTE 18

Classificacao diametrica : A = 15,00 - 19,50

Numero da Tora	Diâmetro (cm)			Comprimento L(m)	Volume m3 V=	Peso	Densidade
	d1	d2	D				
1	15.00	20.00	17.50	4.40	0.1058	112.400	1082.054
2	16.50	19.50	18.00	4.40	0.1120	127.500	1138.732
3	14.50	18.00	16.25	4.00	0.0830	97.000	1169.268
4	15.50	20.50	18.00	4.40	0.1120	122.100	1090.504
5	15.00	19.50	17.25	3.85	0.0900	103.400	1149.187
6	14.00	19.00	16.50	4.35	0.0930	100.800	1083.709
7	16.50	20.00	18.25	4.40	0.1151	130.600	1134.681
TOTAL/MED:	15.29	19.50	17.39	4.26	0.7108	793.800	1118.305
Desvio P.	0.8806	0.7559	0.7178	0.2145			5.227
Variancia	0.78	0.57	0.52	0.05			27.319

## RESIDUOS GERADOS NO PROCESSO

COSTANEIRAS	PESO	%
SERRA MULTIPLA		0.00
SERRA FITA	120.50	15.18
SUB-TOTAL	120.50	15.18
DESTOPADEIRA	52.50	6.61
REFILADEIRA	142.50	17.95
Serragem e Cascas	239.90	30.222
TOTAL DE RESIDUOS	555.40	69.97
TOTAL de Madeira Serrada	238.40	30.03

Nome da Empresa: SERRARIA 3

120

Data da Coleta : 27/11/90

LOTE 19

Classificacao diametrica : A = 15.00 - 19.50

Numero da Tora	Diâmetro (cm)			Comprimento L(m)	Volume m3 V=	Peso	Comprimento L(m)
	d1	d2	D				
1	16.00	18.00	17.00	3.20	0.0726	93.000	1280.396
2	15.00	19.00	17.00	3.20	0.0726	94.500	1301.047
3	17.00	19.00	18.00	3.25	0.0827	100.500	1215.197
4	14.50	16.50	15.50	3.20	0.0604	74.500	1233.821
5	15.00	16.00	15.50	3.20	0.0604	75.100	1243.757
6	14.00	20.00	17.00	3.20	0.0726	90.500	1245.977
7	14.00	19.00	16.50	3.30	0.0706	89.000	1261.297
TOTAL/MED.	15.07	18.21	16.64	3.22	0.4919	617.100	1254.499
Desvio P.	1.0152	1.3590	0.8330	0.0364			3.835
Variancia	1.03	1.85	0.69	0.00			14.705

## RESIDUOS GERADOS NO PROCESSO

COSTANEIRAS	PESO	%
SERRA MULTIPLA	71.95	11.66
SERRA FITA		0.00
SUB-TOTAL	71.95	11.66
DESTOPADEIRA	19.50	3.16
REFILADEIRA	106.00	17.18
Serragem e Cascas	278.15	45.07
TOTAL DE RESIDUOS	475.60	77.07
TOTAL de Madeira Serrada	141.50	22.93

Nome da Empresa: SERRARIA 3

121

Data da Coleta: 27/11/90

LOTE 20

Classificacao diametrica: A = 15,00 - 19,50

Numero da Tora	Di diametro (cm)			Comprimento L(m)	Volume m3 V=	Peso	Densidade
	d1	d2	D				
1	14.00	16.00	15.00	3.20	0.0565	69.500	1229.027
2	17.00	20.00	18.50	3.25	0.0874	105.500	1207.632
3	15.00	17.00	16.00	3.20	0.0643	84.500	1313.336
4	15.00	18.00	16.50	3.20	0.0684	85.700	1252.484
5	15.00	19.00	17.00	3.20	0.0726	92.800	1277.642
6	17.00	21.00	19.00	3.20	0.0907	110.100	1213.498
7	15.00	18.50	16.75	3.25	0.0716	90.400	1262.306
TOTAL/MED	15.43	18.50	16.96	3.21	0.5117	638.500	1250.846
Desvio P.	1.0498	1.5811	1.2847	0.0226			4.977
Variancia	1.10	2.50	1.65	0.00			24.768

## RESIDUOS GERADOS NO PROCESSO

COSTANEIRAS	PESO	%
SERRA MULTIPLA	61.70	9.66
SERRA FITA		0.00
SUB-TOTAL	61.70	9.66
DESTOPADEIRA	17.30	2.71
REFILADEIRA	108.20	16.95
Serragem e Cascas	293.00	45.89
TOTAL DE RESIDUOS	480.20	75.21
TOTAL de Madeira Serrada	158.30	24.79

Nome da Empresa: SERRARIA 3

122

Data da Coleta : 26/11/90

LOTE 21

Classificacao diametrica : A = 15.00 - 19.50

Numero da Tora	Diametro (cm)			Comprimento L(m)	Volume m3 V=	Peso	Densidade
	d1	d2	D				
1	18.00	18.00	18.00	3.20	0.0814	110.000	1350.849
2	13.00	16.00	14.50	3.20	0.0528	65.700	1243.336
3	16.00	17.00	16.50	3.25	0.0695	79.500	1143.997
4	15.00	19.00	17.00	3.20	0.0726	88.800	1222.571
5	16.00	19.00	17.50	3.30	0.0794	103.100	1298.906
6	15.00	19.00	17.00	3.20	0.0726	89.500	1232.209
7	15.00	16.50	15.75	3.20	0.0623	77.000	1235.062
TOTAL/MED	15.43	17.79	16.61	3.22	0.4908	613.600	1246.704
Desvio P.	1.3997	1.1910	1.0844	0.0364			8.547
Variancia	1.96	1.42	1.18	0.00			73.059

## RESIDUOS GERADOS NO PROCESSO

COSTANEIRAS	PESO	%
SERRA MULTIPLA	93.50	15.24
SERRA FITA		0.00
SUB-TOTAL	93.50	15.24
DESTOPAIDEIRA	22.00	3.59
REFILADEIRA	126.00	20.53
Serragem e Cascas	194.50	31.70
TOTAL DE RESIDUOS	436.00	71.06
TOTAL de Madeira Serrada	177.60	28.94

Nome da Empresa: SERRARIA 3

123

Data da Coleta: 27/11/90

LOTE22

Classificacao diametrica: B = 20,00 - 24,50

Numero da Tora	Diametro (cm)			Comprimento L(m)	Volume m3 V=	Peso	Densidade
	d1	d2	D				
1	20.00	21.50	20.75	3.15	0.1065	116.500	1093.675
2	21.50	24.00	22.75	3.25	0.1321	159.600	1208.080
3	19.50	22.00	20.75	3.20	0.1082	125.700	1161.604
4	20.50	23.00	21.75	3.20	0.1189	135.200	1137.149
5	20.00	22.00	21.00	3.25	0.1126	128.400	1140.649
6	19.50	21.50	20.50	3.20	0.1056	115.500	1093.537
7	21.00	23.50	22.25	3.25	0.1264	126.200	998.677
TOTAL/MED	20.29	22.50	21.39	3.21	0.8103	907.100	1119.053
Desvio P.	0.6999	0.9258	0.8002	0.0350			8.759
Variancia	0.49	0.86	0.64	0.00			76.723

## RESIDUOS GERADOS NO PROCESSO

COSTANEIRAS	PESO	%
SERRA MULTIPLA	114.80	12.66
SERRA FITA		0.00
SUB-TOTAL	114.80	12.66
DESTOPADEIRA	41.60	4.59
REFILADEIRA	142.70	15.73
Serragem e Cascas	394.00	43.44
TOTAL DE RESIDUOS	693.10	76.41
TOTAL de Madeira Serrada	214.00	23.59



Numero da Tora	Diametro (cm)			Comprimento L(m)	Volume m3 V=	Peso	Densidade
	d1	d2	D				
1	19.00	22.00	20.50	3.25	0.1073	117.300	1093.493
2	19.00	22.00	20.50	3.20	0.1056	116.000	1098.271
3	20.00	21.00	20.50	3.20	0.1056	113.000	1069.867
4	20.00	21.00	20.50	3.20	0.1056	115.700	1095.430
5	20.00	23.00	21.50	3.25	0.1180	127.500	1080.585
6	22.00	23.00	22.50	3.20	0.1272	135.000	1061.030
7	21.00	25.00	23.00	3.30	0.1371	149.900	1093.304
TOTAL/MED.	20.14	22.43	21.29	3.23	0.8065	874.400	1084.569
Desvio P.	0.9897	1.2936	0.9949	0.0364			1.907
Variancia	0.98	1.67	0.99	0.00			3.638

## RESIDUOS GERADOS NO PROCESSO

COSTANEIRAS	PESO	%
SERRA MULTIPLA	118.90	13.60
SERRA FITA		0.00
SUB-TOTAL	118.90	13.60
DESTOPADEIRA	31.50	3.60
REFILADEIRA	188.40	21.55
Serragem e Cascas	271.10	31.00
TOTAL DE RESIDUOS	609.90	69.75
TOTAL de Madeira Serrada	264.50	30.25

Nome da Empresa: SERRARIA 3

125

Data da Coleta: 27/11/90

LOTE 24

Classificacao diametrica: B = 20,00 - 24,50

Numero da Tora	Diametro (cm)			Comprimento L(m)	Volume m3 V=	Peso	Densidade
	d1	d2	D				
1	18.50	22.00	20.25	3.20	0.1031	109.500	1062.486
2	19.00	23.00	21.00	3.20	0.1108	113.200	1021.332
3	22.00	28.00	25.00	3.20	0.1571	155.000	986.758
4	18.50	22.50	20.50	3.20	0.1056	111.200	1052.825
5	20.00	21.00	20.50	3.20	0.1056	116.500	1103.005
6	19.00	22.00	20.50	3.20	0.1056	113.600	1075.548
7	23.00	24.00	23.50	3.25	0.1410	144.800	1027.208
TOTAL/MED	20.00	23.21	21.61	3.21	0.8288	863.800	1047.023
Desvio P.	1.6690	2.1357	1.7313	0.0175			5.095
Variancia	2.79	4.56	3.00	0.00			25.962

## RESIDUOS GERADOS NO PROCESSO

COSTANEIRAS	PESO	%
SERRA MULTIPLA	102.60	11.88
SERRA FITA		0.00
SUB-TOTAL	102.60	11.88
DESTOPADEIRA	31.10	3.60
REFILADEIRA	127.20	14.73
Serragem e Cascas	370.90	42.94
TOTAL DE RESIDUOS	631.80	73.14
TOTAL de Madeira Serrada	232.00	26.86

Nome da Empresa: SERRARIA 3

126

Data da Coleta: 26/11/90

LOTE 25

Classificacao diametrica: C = 25,00 - 29,50

Numero da Tora	Diametro (cm)			Comprimento L(m)	Volume m3 V=	Peso	Densidade
	d1	d2	D				
1	24.50	26.50	25.50	3.25	0.1660	168.500	1015.185
2	25.00	31.00	28.00	3.30	0.2032	204.400	1005.912
3	24.50	27.50	26.00	3.20	0.1699	162.000	953.515
4	26.50	30.50	28.50	3.20	0.2041	241.000	1180.556
5	27.00	31.00	29.00	3.30	0.2180	254.500	1167.581
6	25.00	27.00	26.00	3.20	0.1699	171.000	1006.488
7	26.00	28.00	27.00	3.25	0.1861	190.500	1023.748
TOTAL/MED.	25.50	28.79	27.14	3.24	1.3172	1391.900	1050.426
Desvio P.	0.9258	1.8295	1.2738	0.0416			11.570
Variância	0.86	3.35	1.62	0.00			133.867

## RESIDUOS GERADOS NO PROCESSO

COSTANEIRAS	PESO	%
SERRA MULTIPLA	92.50	6.65
SERRA FITA		0.00
SUB-TOTAL	92.50	6.65
DESTOPAIDEIRA	48.20	3.46
REFILADEIRA	236.60	17.00
Serragem e Cascas	553.10	39.74
TOTAL DE RESIDUOS	930.40	66.84
TOTAL de Madeira Serrada	461.50	33.16

Nome da Empresa: SERRARIA 3

127

Data da Coleta: 27/11/90

LOTE 26

Classificacao diametrica: C = 25,00 - 29,50

Numero da Tora	Diametro (cm)			Comprimento L(m)	Volume m3 V=	Peso	Densidade
	d1	d2	D				
1	24.50	26.50	25.50	3.25	0.1660	173.500	1045.309
2	24.00	30.00	27.00	3.25	0.1861	190.000	1021.061
3	26.50	31.00	28.75	3.30	0.2142	228.000	1064.276
4	25.00	26.00	25.50	3.25	0.1660	174.400	1050.732
5	26.50	33.00	29.75	3.25	0.2259	243.000	1075.618
6	25.50	29.50	27.50	2.95	0.1752	185.600	1059.253
7	24.50	26.00	25.25	3.25	0.1627	174.800	1074.099
TOTALMED	25.21	28.86	27.04	3.21	1.2961	1369.300	1055.764
Desvio P.	0.9203	2.5455	1.6225	0.1093			2.506
Variancia	0.85	6.48	2.63	0.01			6.280

## RESIDUOS GERADOS NO PROCESSO

COSTANEIRAS	PESO	%
SERRA MULTIPLA	78.50	5.73
SERRA FITA		0.00
SUB-TOTAL	78.50	5.73
DESTOPADEIRA	34.00	2.48
REFILADEIRA	231.00	16.87
Serragem e Cascas	612.10	44.70
TOTAL DE RESIDUOS	955.60	69.79
TOTAL de Madeira Serrada	413.70	30.21

Nome da Empresa: SERRARIA 3

128

Data da Coleta : 27/11/90

LOTE 27

Classificacao diametrica : C = 25,00 - 29,50

Numero da Tora	Diametro (cm)			Comprimento L(m)	Volume m3 V=	Peso	Densidade
	d1	d2	D				
1	26.00	30.00	28.00	3.25	0.2001	217.300	1085.849
2	24.50	26.50	25.50	3.25	0.1660	175.700	1058.564
3	25.00	30.00	27.50	3.30	0.1960	207.000	1056.088
4	26.00	29.00	27.50	3.20	0.1901	208.000	1094.352
5	26.50	30.00	28.25	3.25	0.2037	241.000	1183.058
6	24.00	29.50	26.75	3.25	0.1827	187.000	1023.811
7	25.00	30.00	27.50	3.30	0.1960	200.500	1022.926
TOTAL/MED	25.29	29.29	27.29	3.26	1.3345	1436.500	1074.950
Desvio P.	0.8391	1.1910	0.8497	0.0319			7.270
Variancia	0.70	1.42	0.72	0.00			52.853

## RESIDUOS GERADOS NO PROCESSO

COSTANEIRAS	PESO	%
SERRA MULTIPLA	151.90	10.57
SERRA FITA		0.00
SUB-TOTAL	151.90	10.57
DESTOPAIDEIRA	37.70	2.62
REFILADEIRA	235.60	16.40
Serragem e Cascas	631.90	43.99
TOTAL DE RESIDUOS	1057.10	73.59
TOTAL de Madeira Serrada	379.40	26.41

QUADRO RESUMO

SERRARIA	LÓTE	CLASSE	Diámetro (cm)			Volume (m3)	Peso (Kg)	Densidade 1 (Kg/m3)	MADEIRA SERRADA			RESÍDUOS GERADOS				TOTAL RESID.
			d1	d2	D				PESO	VOLUM	Densidade 2	COST	DEST.	REFIL	OUTROS	
EMPRESA 1	7	A	15.64	18.36	17.00	0.5623	658.000	1170.194	145.00	0.1264	1147.152	172.50	49.00	23.50	268.00	513.00
	8	A	14.00	18.07	16.04	0.5639	615.500	1091.506	163.00	0.1519	1073.074	185.00	31.50	37.50	198.50	452.50
	9	A	15.29	17.43	16.36	0.5132	643.500	1253.897	116.00	0.0908	1277.533	151.50	49.50	27.50	299.00	527.50
	4	B	20.64	24.36	22.50	0.9687	976.500	1008.052	284.00	0.2867	990.582	186.00	57.00	90.00	359.50	692.50
	5	B	20.29	24.57	22.43	0.9695	977.500	1008.252	278.00	0.2753	1009.807	207.00	56.00	82.00	354.50	699.50
	6	B	20.21	23.43	21.82	0.9263	982.500	1060.671	252.00	0.2346	1074.169	163.00	47.00	70.00	450.50	730.50
	1	C	25.64	29.57	27.61	1.3200	1635.000	1238.636	546.00	0.4466	1222.571	309.00	79.00	127.50	573.50	1089.00
	2	C	25.00	28.86	26.93	1.3450	1335.000	992.565	440.00	0.4419	995.700	251.00	78.00	96.00	470.50	895.50
	3	C	25.07	28.43	26.75	1.3907	1548.500	1113.468	460.00	0.4091	1124.419	221.00	72.50	153.50	641.50	1088.50
EMPRESA 2	16	A	15.57	19.50	17.54	0.6500	716.300	1102.000	247.30	0.2229	1109.466	122.70	53.00	143.80	149.50	469.00
	17	A	15.29	19.43	17.36	0.6731	754.900	1121.527	250.50	0.2245	1115.813	137.60	56.40	157.60	152.80	504.40
	18	A	15.29	19.50	17.40	0.7108	793.800	1116.770	238.40	0.2128	1120.301	120.50	52.50	142.50	239.90	555.40
	13	B	20.14	24.14	22.14	1.1856	1273.700	1074.308	471.90	0.4365	1081.100	102.70	98.60	269.80	330.70	801.80
	14	B	20.07	23.64	21.86	1.1540	1277.600	1107.106	497.70	0.4418	1126.528	106.00	81.50	246.80	345.60	779.90
	15	B	20.07	24.36	22.22	1.1934	1351.400	1132.395	502.80	0.4403	1141.949	101.00	74.00	251.00	443.73	869.73
	10	C	25.93	29.00	27.47	1.8139	1995.100	1099.895	863.60	0.7979	1082.341	151.20	113.50	313.00	553.80	1131.50
	11	C	25.36	29.07	27.22	1.7781	1979.700	1113.379	757.40	0.6768	1119.090	137.70	80.00	311.20	693.40	1222.30
	12	C	25.29	29.14	27.22	1.7830	2052.200	1150.981	740.80	0.6434	1151.383	127.50	91.30	299.70	792.90	1311.40
EMPRESA 3	19	A	15.07	18.21	16.64	0.4919	617.100	1254.523	141.50	0.1131	1251.105	71.95	19.50	106.00	278.15	475.60
	20	A	15.43	18.50	16.97	0.5117	638.500	1247.801	158.30	0.1273	1243.519	61.70	17.30	108.20	293.00	480.20
	21	A	15.43	17.79	16.61	0.4908	613.600	1250.204	177.60	0.1403	1265.859	93.50	22.00	126.00	194.50	436.00
	22	B	20.29	22.50	21.40	0.8103	907.100	1119.462	214.00	0.2053	1042.377	114.80	41.60	142.70	393.99	693.10
	23	B	20.14	22.43	21.29	0.8065	874.400	1084.191	264.50	0.2436	1085.796	118.90	31.50	188.40	271.10	609.90
	24	B	20.00	23.21	21.61	0.8288	863.800	1042.230	232.00	0.2228	1041.293	102.60	31.10	127.20	370.90	631.80
	25	C	25.50	28.79	27.15	1.3172	1391.900	1056.711	461.50	0.4389	1051.492	92.50	48.20	236.60	553.10	930.40
26	C	25.21	28.86	27.04	1.2961	1369.300	1056.477	413.70	0.3874	1067.888	78.50	34.00	231.00	612.10	955.60	
27	C	25.29	29.29	27.29	1.3345	1436.500	1076.433	379.40	0.3489	1087.418	151.90	37.70	235.60	631.90	1057.10	

Obs.: Densidade 1 - em função do Volume e Peso das Toras  
Densidade 2 - em função do Volume e Peso da Madeira Serrada

## ANEXO III

## Analysis of Variance for Rendimento - Type III Sums of Square

Source of variat.	Sum of Squar.	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig. level
<b>MAIN EFFECTS</b>					
A:SERRARIA	478.17123	2	239.08562	26.364	.0000
B:CLASSES	218.77939	2	109.38969	12.062	.0005
<b>INTERACTIONS</b>					
AB	23.982075	4	5.9955186	.661	.6269
RESIDUAL	163.23469	18	9.0685941		
TOTAL (CORRECTED)	884.16739	26			

0 missing values have been excluded.

All F-ratios are based on the residual mean square error.

Table of Least Squares Means for Rendimento

Level	Count	Average	Stnd. Error	95 Percent Confidence for mean	
GRAND MEA	27	30.462356	.5795462	29.244476	31.680235
<b>A:SERRARI</b>					
1.	9	27.392622	1.0038035	25.283193	29.502051
2.	9	36.412833	1.0038035	34.303404	38.522262
3.	9	27.581611	1.0038035	25.472182	29.691040
<b>B:CLASSES</b>					
A	9	26.794367	1.0038035	24.684938	28.903796
B	9	30.859756	1.0038035	28.750326	32.969185
C	9	33.732944	1.0038035	31.623515	35.842374
<b>AB</b>					
1. A	3	22.369800	1.7386387	18.716162	26.023438
1. B	3	27.773033	1.7386387	24.119395	31.426672
1. C	3	32.035033	1.7386387	28.381395	35.688672
2. A	3	32.527833	1.7386387	28.874195	36.181472
2. B	3	37.331867	1.7386387	33.678228	40.985505
2. C	3	39.378800	1.7386387	35.725162	43.032438
3. A	3	25.485467	1.7386387	21.831828	29.139105
3. B	3	27.474367	1.7386387	23.820728	31.128005
3. C	3	29.785000	1.7386387	26.131362	33.438638



-----  
 Multiple range analysis for rendimiento by SERRARIA  
 -----

Method: 95 Percent Tukey HSD

Level	Count	LS Mean	Homogeneous Groups
1.	9	27.392622	X
3.	9	27.581611	X
2.	9	36.412833	X

-----

contrast	difference	+/-	limits
1. - 2.	-9.02021		3.62474 *
1. - 3.	-0.18899		3.62474
2. - 3.	8.83122		3.62474 *

-----  
 \* denotes a statistically significant difference.

-----  
 Multiple range analysis for rendimiento by CLASSES  
 -----

Method: 95 Percent Tukey HSD

Level	Count	LS Mean	Homogeneous Groups
A	9	26.794367	X
B	9	30.859756	X
C	9	33.732944	X

-----

contrast	difference	+/-	limits
A - B	-4.06539		3.62474 *
A - C	-6.93858		3.62474 *
B - C	-2.87319		3.62474

-----  
 \* denotes a statistically significant difference.

## Analysis of Variance for COSTANEIRA - Type III Sums of Squares

Source of variat.	Sum of Squar.	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig. level
MAIN EFFECTS					
A:SERRARIA	630.33707	2	315.16854	68.606	.0000
B:CLASSES	293.56364	2	146.78182	31.951	.0000
INTERACTIONS					
AB	79.311442	4	19.827861	4.316	.0127
RESIDUAL	82.690317	18	4.5939065		
-----					
TOTAL (CORRECTED)	1085.9025	26			

0 missing values have been excluded.

All F-ratios are based on the residual mean square error.

## Table of Least Squares Means for COSTANEIRA

Level	Count	Average	Stnd. Error	95 Percent Confidence for mean	
GRAND MEAN	27	14.124647	.4124860	13.257834	14.991460
A:SERRARIA					
1.	9	20.955852	.7144467	19.454488	22.457216
2.	9	10.568677	.7144467	9.067313	12.070041
3.	9	10.849412	.7144467	9.348048	12.350776
B:CLASSES					
A	9	18.545977	.7144467	17.044613	20.047341
B	9	13.197717	.7144467	11.696353	14.699081
C	9	10.630248	.7144467	9.128884	12.131612
AB					
1. A	3	26.605263	1.2374579	24.004824	29.205702
1. B	3	18.938140	1.2374579	16.337701	21.538579
1. C	3	17.324153	1.2374579	14.723714	19.924592
2. A	3	16.845807	1.2374579	14.245368	19.446246
2. B	3	7.944553	1.2374579	5.344114	10.544992
2. C	3	6.915670	1.2374579	4.315231	9.516109
3. A	3	12.186860	1.2374579	9.586421	14.787299
3. B	3	12.710457	1.2374579	10.110018	15.310896
3. C	3	7.650920	1.2374579	5.050481	10.251359

## Multiple range analysis for COSTANEIRA by SERRARIA

Method: 95 Percent Tukey HSD

Level	Count	LS Mean	Homogeneous Groups
-------	-------	---------	--------------------

2.	9	10.568677	X
3.	9	10.849412	X
1.	9	20.955852	X

contrast	difference	+/-	limits
1. - 2.	10.3872		2.57987 *
1. - 3.	10.1064		2.57987 *
2. - 3.	-0.28074		2.57987

\* denotes a statistically significant difference.

## Multiple range analysis for COSTANEIRA by CLASSES

Method: 95 Percent Tukey HSD

Level	Count	LS Mean	Homogeneous Groups
-------	-------	---------	--------------------

C	9	10.630248	X
B	9	13.197717	X
A	9	18.545977	X

contrast	difference	+/-	limits
A - B	5.34826		2.57987 *
A - C	7.91573		2.57987 *
B - C	2.56747		2.57987

\* denotes a statistically significant difference.

## Analysis of Variance for REFILO - Type III Sums of Squares

Source of variat.	Sum of Squar.	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig.level
<b>MAIN EFFECTS</b>					
A:SERRARIA	698.15141	2	349.07570	116.231	.0000
B:CLASSES	11.95364	2	5.97682	1.99	.1656
<b>INTERACTIONS</b>					
AB	55.032086	4	13.758021	4.581	.0100
RESIDUAL	54.059211	18	3.0032895		
TOTAL (CORRECTED)	819.19635	26			

0 missing values have been excluded.

All F-ratios are based on the residual mean square error.

Table of Least Squares Means for REFILO

Level	Count	Average	Std. Error	95 Percent Confidence for mean	
GRAND MEAN	27	14.240322	.3335160	13.539460	14.94118
<b>A:SERRARIA</b>					
1.	9	7.063284	.5776667	5.849355	8.27721
2.	9	18.220997	.5776667	17.007067	19.43492
3.	9	17.436686	.5776667	16.222756	18.65061
<b>B:CLASSES</b>					
A	9	14.166571	.5776667	12.952641	15.38050
B	9	15.089609	.5776667	13.875679	16.30351
C	9	13.464787	.5776667	12.250857	14.67871
<b>AB</b>					
1. A	3	4.645847	1.0005481	2.543259	6.74841
1. B	3	8.243340	1.0005481	6.140752	10.34592
1. C	3	8.300667	1.0005481	6.198079	10.40325
2. A	3	19.634653	1.0005481	17.532065	21.73724
2. B	3	19.691060	1.0005481	17.588472	21.79364
2. C	3	15.337277	1.0005481	13.234689	17.43986
3. A	3	18.219213	1.0005481	16.116625	20.32180
3. B	3	17.334427	1.0005481	15.231839	19.43701
3. C	3	16.756417	1.0005481	14.653829	18.85900

-----  
 Multiple range analysis for REFILO by SERRARIA  
 -----

Method: 95 Percent Tukey HSD

Level	Count	LS Mean	Homogeneous Groups
-------	-------	---------	--------------------

1.	9	7.063284	X
3.	9	17.436686	X
2.	9	18.220997	X

contrast	difference	+/-	limits
1. - 2.	-11.1577		2.08596 *
1. - 3.	-10.3734		2.08596 *
2. - 3.	0.78431		2.08596

-----  
 \* denotes a statistically significant difference.

-----  
 Multiple range analysis for REFILO by CLASSES  
 -----

Method: 95 Percent Tukey HSD

Level	Count	LS Mean	Homogeneous Groups
-------	-------	---------	--------------------

C	9	13.464787	X
A	9	14.166571	X
B	9	15.089609	X

contrast	difference	+/-	limits
A - B	-0.92304		2.08596
A - C	0.70178		2.08596
B - C	1.62482		2.08596

-----  
 \* denotes a statistically significant difference.

## Analysis of Variance for DESTOPO - Type III Sums of Squares

Source of variat.	Sum of Squar.	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig.level
<b>MAIN EFFECTS</b>					
A:SERRARIA	42.551757	2	21.275878	32.945	.0000
B:CLASSES	10.224183	2	5.112091	7.916	.0034
<b>INTERACTIONS</b>					
AB	5.6796206	4	1.4199052	2.199	.1102
RESIDUAL	11.624333	18	.6457963		
<b>TOTAL (CORRECTED)</b>					
	70.079894	26			

0 missing values have been excluded.

All F-ratios are based on the residual mean square error.

## Table of Least Squares Means for DESTOPO

Level	Count	Average	Stnd. Error	95 Percent Confidence for mean	
GRAND MEAN	27	5.0754181	.1546557	4.7504191	5.4004172
<b>A:SERRARIA</b>					
1.	9	5.7736833	.2678715	5.2107684	6.3365982
2.	9	6.1399000	.2678715	5.5769851	6.7028149
3.	9	3.3126711	.2678715	2.7497562	3.8755860
<b>B:CLASSES</b>					
A	9	5.6884233	.2678715	5.1255084	6.2513382
B	9	5.3038722	.2678715	4.7409573	5.8667871
C	9	4.2339589	.2678715	3.6710440	4.7968738
<b>AB</b>					
1. A	3	6.7523033	.4639671	5.7773062	7.7273005
1. B	3	5.4499300	.4639671	4.4749328	6.4249272
1. C	3	5.1188167	.4639671	4.1438195	6.0938138
2. A	3	7.1613600	.4639671	6.1863628	8.1363572
2. B	3	6.5320600	.4639671	5.5570628	7.5070572
2. C	3	4.7262800	.4639671	3.7512828	5.7012772
3. A	3	3.1516067	.4639671	2.1766095	4.1266038
3. B	3	3.9296267	.4639671	2.9546295	4.9046238
3. C	3	2.8567800	.4639671	1.8817828	3.8317772

## Multiple range analysis for DESTOPO by SERRARIA

Method: 95 Percent Tukey HSD

Level	Count	LS Mean	Homogeneous Groups
3.	9	3.3126711	X
1.	9	5.7736833	X
2.	9	6.1399000	X

contrast	difference	+/-	limits
1. - 2.	-0.36622		0.96729
1. - 3.	2.46101		0.96729 *
2. - 3.	2.82723		0.96729 *

\* denotes a statistically significant difference.

## Multiple range analysis for DESTOPO by CLASSES

Method: 95 Percent Tukey HSD

Level	Count	LS Mean	Homogeneous Groups
C	9	4.2339589	X
B	9	5.3038722	X
A	9	5.6884233	X

contrast	difference	+/-	limits
A - B	0.38455		0.96729
A - C	1.45446		0.96729 *
B - C	1.06991		0.96729 *

\* denotes a statistically significant difference.

## Analysis of Variance for SERRAGEM E CASCA- Type III Sums of Squares

Source of variat.	Sum of Squar.	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig.level
MAIN EFFECTS					
A:SERRARIA	698.15725	2	349.07862	11.984	.0005
B:CLASSES	41.87437	2	20.93719	.719	.5008
INTERACTIONS					
AB	124.69509	4	31.173772	1.070	.4000
RESIDUAL	524.30555	18	29.128086		
TOTAL (CORRECTED)	1389.0323	26			

0 missing values have been excluded.

All F-ratios are based on the residual mean square error.

Table of Least Squares Means for SERRAGEM E CASCA

Level	Count	Average	Stnd. Error	95 Percent Confidence for mean	
GRAND MEAN	27	34.468889	1.0386616	32.286208	36.651570
A:SERRARIA					
1.	9	37.050344	1.7990147	33.269830	40.830859
2.	9	27.365367	1.7990147	23.584852	31.145882
3.	9	38.990956	1.7990147	35.210441	42.771470
B:CLASSES					
A	9	33.168156	1.7990147	29.387641	36.948670
B	9	34.090944	1.7990147	30.310430	37.871459
C	9	36.147567	1.7990147	32.367052	39.928082
AB					
1. A	3	37.918967	3.1159849	31.370923	44.467010
1. B	3	37.756767	3.1159849	31.208723	44.304810
1. C	3	35.475300	3.1159849	28.927256	42.023340
2. A	3	22.645633	3.1159849	16.097590	29.193670
2. B	3	27.253633	3.1159849	20.705590	33.801670
2. C	3	32.196833	3.1159849	25.648790	38.744870
3. A	3	38.939867	3.1159849	32.391823	45.487910
3. B	3	37.262433	3.1159849	30.714390	43.810470
3. C	3	40.770567	3.1159849	34.222523	47.318610



## Multiple range analysis for SERRAGEM E CASCA by SERRARIA

Method: 95 Percent Tukey HSD

Level	Count	LS Mean	Homogeneous Groups
-------	-------	---------	--------------------

2.	9	27.365367	X
1.	9	37.050344	X
3.	9	38.990956	X

contrast	difference	+/-	limits
1. - 2.	9.68498		6.49625 *
1. - 3.	-1.94061		6.49625
2. - 3.	-11.6256		6.49625 *

\* denotes a statistically significant difference.

## Multiple range analysis for SERRAGEM E CASCA by CLASSES

Method: 95 Percent Tukey HSD

Level	Count	LS Mean	Homogeneous Groups
-------	-------	---------	--------------------

A	9	33.168156	X
B	9	34.090944	X
C	9	36.147567	X

contrast	difference	+/-	limits
A - B	-0.92279		6.49625
A - C	-2.97941		6.49625
B - C	-2.05662		6.49625

\* denotes a statistically significant difference.