FABRICAÇÃO DE PAINÉIS DE MÉDIA DENSIDADE (MDF) A PARTIR DE FIBRAS DE *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden E *Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis* Barret e Golfari

CATIA BENADUCE
Química Industrial

Orientador: Prof. Dr. **JOSÉ MANGOLINI NEVES**

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luis de Queiroz", Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Ciências, Área de Concentração: Ciência e Tecnologia de Madeiras.

P I R A C I C A B A
Estado de São Paulo - Brasil
Maio - 1998

ERRATA

Página vii: onde lê-se "aqueles fabricados com folhosas ou mistura desta...", leia-se "aqueles fabricados com folhosas ou mistura destas..."

Página 3: onde lê-se "surgiu os painéis estruturais...", leia-se "surgiram os painéis estruturais...".

Página 8: onde lê-se "densidade igual ou superior a 450 kg/cm^3 ..." leia-se "densidade igual ou superior a 450 kg/m^3 ...".

Página 16, tabela 5: onde lê-se "comprimento e largura de + 0,2" leia-se "comprimento e largura de ± 0,2".

Página 20, tabela 9: onde lê-se "Capacidade Produtiva Europa de 2.919.000" leia-se "Capacidade Produtiva Europa de 2.917.000".

Página 30, tabela 12: onde lê-se "Total Reflorestado em Sorocaba de 368.881,25 ha" leia-se "Total Reflorestado em Sorocaba de 368.981,25 ha".

Página 34: onde lê-se "base de resina sintética termoplástica." leia-se "base de resina sintética termofixa."

Página 47, item 4.2.3.4.: onde lê-se "foram misturadas gravimetricamente nas proporções..." leia-se "foram misturadas nas proporções...".

Página 89: onde lê-se "Se em cavacos com estes..." leia-se "Se em cavacos como estes...".

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - Campus "Luiz de Queiroz"/USP

Benaduce, Catia
Fabricação de painéis de média densidade (MDF) a partir de fibras de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e *Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis* Barret e Golfari / Catia Benaduce. - - Piracicaba, 1998.
113 p. : il.

Dissertação (mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1998.
Bibliografia.

1. Eucalipto 2. Indústria florestal 3. Pinheiro 4. Resíduo agrícola 5. Resíduo florestal I. Título

CDD 338.17498

À Beatriz, William e Leonilda
pelo apoio, compreensão e amor

À Miguel, meu pai

In memoriam

AGRADECIMENTOS

A Duratex S/A pela oportunidade de conclusão do curso, pela disponibilidade de uso de laboratórios e equipamentos e fornecimento das matérias-primas.

Aos Diretores Srs. Mário Colombelli Filho e Enrique J. Manubens, aos gerentes Srs. Carlos Nogueira da Gama Neto e João Negri, pela liberação para inicio e continuidade do curso.

Aos colegas de trabalho, na ocasião da execução da parte experimental, José Aparecido Martins e Marco Antônio de Almeida.

Ao colega Adriano Ravaggio pelo auxílio na fabricação de painéis e execução dos ensaios físicos.

Ao colega Luiz Carlos Stuchi, um agradecimento todo especial, pela prestimosa colaboração em todas as fases do trabalho, sem a qual com certeza não concluiria o curso em tempo hábil.

A Nelci Aparecida Anésio Alves pela revisão do português e auxílio na confecção das tabelas e do texto.

Aos colegas da Duratex S/A que contribuíram direta ou indiretamente na preparação dos materiais.

Ao meu orientador Prof. Dr. José Mangolini Neves, pelo seu apoio e compreensão quanto as minhas limitações de tempo.

Ao coordenador do curso de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Madeiras, Prof. Dr. Mario Tomazello Filho, ao Prof. Dr. Márcio A. R. Nahuz pela revisão da tradução do resumo e ao Prof. Dr. Ivaldo P. Jankowsky.

Aos professores e funcionários do Departamento de Ciências Florestais.

Aos colegas de curso pelo apoio e incentivo, em especial à Maria José, Sérgio, Tarcísio e Lorena, a qual transformava nossas viagens Jundiaí-Piracicaba em um curto e alegre trajeto.

As minhas queridas irmãs Vera Benaduce e Graça Seligman pelo incentivo constante e exemplo.

A todos os queridos familiares e amigos sempre presentes em minha vida.

Enfim, a todas as pessoas que de alguma maneira contribuíram para a conclusão do curso.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	iv
LISTA DE TABELAS	v
RESUMO	vii
SUMMARY	ix
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVO	5
3 REVISÃO DA LITERATURA	6
3.1 Definição dos painéis	6
3.1.1 Painel formado de fibras	6
3.1.1.1 Chapa de fibras celulósicas	6
3.1.1.2 Chapa dura	7
3.1.2 Painel de partículas	7
3.1.3 Painel cimento-madeira	7
3.2 Uso de madeiras em painéis	10
3.3 Importância do MDF na indústria moveleira	11
3.4 Mercado e tendências mundiais do MDF	20
3.5 Processos de fabricação dos painéis	24
3.5.1 Processo úmido	24
3.5.2 Processo semi-seco	26
3.5.3 Processo seco	26
3.6 Matéria-prima	28
3.7 Adesivos	33
3.7.1 Influência de sua aplicação	33
3.7.2 Tipos de adesivos	36
3.7.2.1 Adesivos uréia-formaldeído	36
3.7.2.2 Resina fenol-formaldeído	38
3.7.2.3 Resina melamínica	39
3.7.2.4 Resina polivinilica	39
3.7.2.5 Resina "Hot Melt"	39
4 MATERIAIS E MÉTODOS	40
4.1 Materiais	40
4.1.1 Madeira de eucalipto	40
4.1.2 Madeira de pinus	40
4.1.3 Resina uréia-formaldeído	40
4.1.4 Emulsão de parafina	41
4.1.5 Picador industrial (Chipper)	41
4.1.6 Refinador	41
4.1.7 Encoladeira de laboratório	41
4.1.8 Formadora de laboratório	42
4.1.9 Prensa de laboratório	43
4.1.10 Câmara de climatização de laboratório	43
4.1.11 Estufa	44

4.1.12 Balança eletrônica digital 44
4.1.13 Espessurômetro 44
4.1.14 Classificador de cavacos 44
4.1.15 Classificador de fibras 44
4.1.16 Máquina de ensaio universal 44
4.1.17 Célula de carga 45
4.1.18 Banheira termostática 45
4.1.19 Serra 45
4.2 Métodos 46
4.2.1 Preparação dos cavacos 46
4.2.2 Preparação da resina 46
4.2.3 Preparação da matéria-prima 46
4.2.3.1 Preparação das fibras 46
4.2.3.2 Secagem das fibras 47
4.2.3.3 Condicionamento das fibras 47
4.2.3.4 Mistura das fibras 47
4.2.3.5 Encolagem das fibras e adição de emulsão de parafina 47
4.2.3.6 Dissolução dos grumos 47
4.2.3.7 Pesagem das fibras 47
4.2.4 Preparação das chapas 48
4.2.4.1 Formação do colchão 48
4.2.4.2 Pré-prensagem das chapas 49
4.2.4.3 Prensagem das chapas 49
4.2.5 Corte das chapas 51
4.2.6 Climatização das chapas 51
4.2.7 Delineamento experimental 52
4.3 Avaliações 54
4.3.1 Cavacos 54
4.3.2 Fibras 54
4.3.3 Painéis 54
4.3.3.1 Resistência mecânica 54
4.3.3.1.1 Resistência à tração perpendicular ao plano 55
4.3.3.1.2 Resistência à flexão estática 55
4.3.3.1.3 Módulo de elasticidade estático 55
4.3.3.2 Inchamento de espessura 55
4.3.3.3 Densidade 55
5 RESULTADOS 56
5.1 Características dos cavacos 56
5.2 Características das fibras 58
5.3 Resistência mecânica dos painéis 59
5.3.1 Resistência à tração perpendicular ao plano 59
5.3.2 Resistência à flexão estática 65
5.3.3 Módulo de elasticidade estático 71
5.4 Inchamento de espessura 77
5.5 Densidade 83
6 ANÁLISE DE RESULTADOS E DISCUSSÃO 89

6.1 Matéria-prima 89
6.1.1 Cavaco 89
6.1.2 Fibras 91
6.2 Resistência mecânica dos painéis 92
6.2.1 Resistência à tração perpendicular ao plano 92
6.2.2 Resistência à flexão estática e módulo de elasticidade estático 95
6.3 Inchamento de espessura dos painéis 97
6.4 Densidade dos painéis 98
7 CONCLUSÕES 100
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 102
ANEXO A 109

LISTA DE FIGURAS

		Pagina
1	Caracterização comercial dos painéis de madeira	9
2	Evolução dos painéis de madeira	12
3	Consumo mundial de painéis reconstituídos nos anos de 1970, 1993 e 2000	22
4	Exportação e importação de MDF em m^3 no ano de 1993	23
5	Representação esquemática dos processos de fabricação de painéis	27
6	Formadora de laboratório	42
7	Prensa de laboratório	43
8	Máquina de ensaio universal	45
9	Colchão de fibras	48
10	Colchão de fibras após pré-prensagem	49
11	Ciclo de prensagem do MDF	51
12	Percentual de cavaco de eucalipto e pinus retido nas peneiras de classificação de cavacos	90
13	Resistência à tração perpendicular ao plano em painéis de MDF fabricados com diferentes misturas de fibras e dosagem de RUF	93
14	Resistência à flexão estática em painéis de MDF fabricados com diferentes misturas de fibras e dosagem de RUF	95
15	Módulo de elasticidade estático em painéis de MDF fabricados com diferentes misturas de fibras e dosagem de RUF	96
16	Inchamento de espessura em painéis de MDF fabricados com diferentes misturas de fibras e dosagem de RUF	97
17	Densidade em painéis de MDF fabricados com diferentes misturas de fibras e dosagem de RUF	99

LISTA DE TABELAS

Página

1 Participação dos setores (em %) na produção nacional de produtos de madeira 10
2 Comparativo entre painéis existentes no mercado quanto a preparação do produto ... 13
3 Qualidade de acabamento superficial do MDF frente aos demais painéis 14
4 Aplicações e condições de usos do MDF segundo a EMB..... 15
5 Especificações do MDF 16
6 Especificações do MDF para uso geral 17
7 Especificações do MDF para uso em condições de umidade 18
8 Especificações do MDF para uso em condições externas 19
9 Capacidade produtiva do MDF em m^3 nos anos 1980, 1990,1992 20
10 Número de fabricas de MDF nos anos 1980, 1990, 1992 21
11 Consumo de MDF em m^3 nos anos 1980, 1990, 1992 21
12 Área reflorestada com eucalipto e pinus no Estado de São Paulo em 1993 30
13 Características da resina uréia-formaldeído..... 41
14 Variáveis estudadas no delineamento experimental 52
15 Ordem de execução das condições experimentais 53
16 Modelo estatístico da análise de variança..... 54
17 Percentual de cavacos de eucalipto retidos nas peneiras de classificação de cavacos..... 56
18 Percentual de cavacos de pinus retidos nas peneiras de classificação de cavacos..... 57
19 Médias, desvio padrão e coeficiente de variação dos cavacos retidos nas peneiras de classificação de cavacos 57
20 Classificação de fibras segundo metodologia Bauer-McNett para polpa de eucalipto 58
21 Classificação de fibras segundo metodologia Bauer-McNett para polpa de pinus .. 58
22 Resultados de resistência à tração perpendicular ao plano (N/mm^2) em painéis de MDF fabricados com 100% de madeira de eucalipto 59
23 Resultados de resistência à tração perpendicular ao plano (N/mm^2) em painéis de MDF fabricados com 70% de eucalipto e 30% de pinus 60
24 Resultados de resistência à tração perpendicular ao plano (N/mm^2) em painéis de MDF fabricados com 50% de eucalipto e 50% de pinus 61
25 Resultados de resistência à tração perpendicular ao plano (N/mm^2) em painéis de MDF fabricados com 30% de eucalipto e 70% de pinus 62
26 Resultados de resistência à tração perpendicular ao plano (N/mm^2) em painéis de MDF fabricados com 100% de madeira de pinus 63
27 Resultados de resistência à tração perpendicular ao plano (N/mm^2) em painéis de MDF com 8,10 e 12% de RUF e diferentes misturas de fibras de eucalipto e pinus.. 64
28 Resultados de resistência à flexão estática (N/mm^2) em painéis de MDF fabricados com 100% de madeira de eucalipto 65
29 Resultados de resistência à flexão estática (N/mm^2) em painéis de MDF fabricados com 70% de eucalipto e 30% de pinus..... 66
30 Resultados de resistência à flexão estática (N/mm^2) em painéis de MDF fabricados com 50% de eucalipto e 50% de pinus 67

31 Resultados de resistência à flexão estática (N/mm^2) em painéis de MDF fabricados com 30% de eucalipto e 70% de pinus 68
32 Resultados de resistência à flexão estática (N/mm^2) em painéis de MDF fabricados com 100% de madeira de pinus 69
33 Resultados de resistência à flexão estática (N/mm^2) em painéis de MDF com 8, 10 e 12% de RUF e diferentes misturas de fibras de eucalipto e pinus 70
34 Resultados de módulo de elasticidade estático (N/mm^2) em painéis de MDF fabricados com 100% de madeira de eucalipto 71
35 Resultados de módulo de elasticidade estático (N/mm^2) em painéis de MDF fabricados com 70% de eucalipto e 30% de pinus..... 72
36 Resultados de módulo de elasticidade estático (N/mm^2) em painéis de MDF fabricados com 50% de eucalipto e 50% de pinus 73
37 Resultados de módulo de elasticidade estático (N/mm^2) em painéis de MDF fabricados com 30% de eucalipto e 70% de pinus 74
38 Resultados de módulo de elasticidade estático (N/mm^2) em painéis de MDF fabricados com 100% de madeira de pinus 75
39 Resultados de módulo de elasticidade (N/mm^2) em painéis de MDF com 8, 10 e 12% de RUF e diferentes misturas de fibras de eucalipto e pinus 76
40 Resultados de inchamento de espessura (%) em painéis de MDF fabricados com 100% de madeira de eucalipto 77
41 Resultados de inchamento de espessura (%) em painéis de MDF fabricados com 70% de eucalipto e 30% de pinus 78
42 Resultados de inchamento de espessura (%) em painéis de MDF fabricados com 50% de eucalipto e 50% de pinus 79
43 Resultados de inchamento de espessura (%) em painéis de MDF fabricados com 30% de eucalipto e 70% de pinus 80
44 Resultados de inchamento de espessura (%) em painéis de MDF fabricados com 100% de madeira de pinus 81
45 Resultados de inchamento de espessura (%) em painéis de MDF com 8, 10 e 12% de RUF e diferentes misturas de fibras de eucalipto e pinus 82
46 Resultados de densidade (g/cm^3) em painéis de MDF fabricados com 100% de madeira de eucalipto 83
47 Resultados de densidade (g/cm^3) em painéis de MDF fabricados com 70% de eucalipto e 30% de pinus 84
48 Resultados de densidade (g/cm^3) em painéis de MDF fabricados com 50% de eucalipto e 50% de pinus 85
49 Resultados de densidade (g/cm^3) em painéis de MDF fabricados com 30% de eucalipto e 70% de pinus 86
50 Resultados de densidade (g/cm^3) em painéis de MDF fabricados com 100% de madeira de pinus 87
51 Resultados de densidade (g/cm^3) em painéis de MDF com 8, 10 e 12% de RUF e diferentes misturas de fibras de eucalipto e pinus 88

FABRICAÇÃO DE PAINÉIS DE MÉDIA DENSIDADE (MDF) A PARTIR DE FIBRAS DE *Eucalyptus grandis* W. HILL ex MAIDEN E *Pinus caribaea* var. *hondurensis*

Autora: CATIA BENADUCE
Orientador: Prof. Dr. JOSÉ MANGOLINI NEVES

RESUMO

A indústria de painéis reconstituídos de madeira foi desenvolvida com o objetivo de converter madeira barata ou de baixa qualidade, resíduos agrícolas, florestais e de serrarias em produtos com maior valor agregado. Porém, a expansão desta indústria, entre outros fatores, fez com que se utilizasse madeira reflorestada como fonte de matéria-prima. No Brasil, neste segmento, predomina o uso de madeira reflorestada devido a disponibilidade de grandes áreas para reflorestamento, clima favorável, dificuldade de obtenção de resíduos de maneira ordenada e, principalmente devido à homogeneidade deste tipo de madeira.

A madeira de coníferas é utilizada em cerca de 50% das fábricas de painéis. Entretanto, em função do encerramento de plantios incentivados, há estimativa de num futuro próximo haver escasseamento de madeira reflorestada no mercado nacional, sobretudo de coníferas, já que atualmente esta espécie representa cerca de 30% da área reflorestada no Estado de São Paulo, abrindo desta maneira o mercado para a utilização de painéis reconstituídos, principalmente aqueles fabricados com folhosas ou mistura desta com outras madeiras.

Dentro do segmento de painéis reconstituídos de madeira, o painel de média densidade (MDF), foi quem mais cresceu em termos de produção e consumo, devido conciliar

características de homogeneidade, usinabilidade e versatilidade, sendo até considerado como o substituto da madeira.

Frente a estes aspectos, apresenta-se neste trabalho a verificação da possibilidade de se fabricar MDF a partir de misturas de fibras de folhosas e coníferas, com diferentes níveis de resina uréia-formaldeído, dentro das especificações de normas internacionais.

Foram fabricados painéis de MDF com mistura de fibras de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea* variedade *hondurensis,* nas proporções de 100:0; 70:30; 50:50; 30:70 e 0:100, com 8, 10 e 12% de resina uréia-formaldeído. O experimento foi executado no modelo estatístico fatorial 5x3, com três repetições.

A madeira foi transformada em cavacos e depois em fibras, em equipamentos industriais, sendo a formação do colchão de fibras e prensagem das chapas, em equipamentos de laboratório. Os cavacos e as fibras produzidas foram analisadas segundo a metodologia TAPPI 16 e TAPPI 233, respectivamente, e as chapas fabricadas segundo a norma EuroMDFBoard - EMB / IS - 2: 1995.

Os resultados obtidos demonstraram que painéis podem ser fabricados com mistura de eucalipto e pinus e com diferentes proporções de resina uréia-formaldeído, sendo a melhor proporção 50% : 50% de folhosas e coníferas e 10% de resina uréia-formaldeído.

Como resultados complementares observou-se que as madeiras de eucalipto e pinus apresentaram comportamento diferenciado quando reduzidas a cavacos sob as mesmas condições. Quanto ao aspecto de resistência mecânica, o acréscimo do teor de resina uréia-formaldeído propicia melhoria na resistência à tração perpendicular ao plano, resistência à flexão estática e módulo de elasticidade. Já o inchamento de espessura sofreu influência tanto da mistura de fibras quanto do teor de resina adicionado.

FABRICATION OF MEDIUM DENSITY FIBERBOARD (MDF) USING FIBERS FROM *Eucalyptus grandis* W. HILL ex MAIDEN E *Pinus caribaea* var. *hondurensis*

Author: CATIA BENADUCE
Advisor: Prof. Dr. JOSÉ MANGOLINI NEVES

SUMMARY

The reconstitued wooden panel industry was developed with the objective of converting cheap or low quality wood, agricultural, forests and sawmill residues into products of higher market value. Trerefore, the expansion of this industry, among other factors, is based on wood from planted forests as a source of raw material. The use of wood from plantations predominates in this segment in Brazil, due to the availability of large areas of reforestation, the favourable climate, the difficult procurement of residues and the homogeneity of this material.

Conifer wood is used in about 50% of the panel factories. However, due to the extinction of the fiscal incentives program, it is estimated that there will be a shortage of plantation wood on the national market in the near future, specially conifers, since these timbers currently represents around 30% of the reforested area in the state of São Paulo. This situation represents a good opportunity in the market for the use in reconstituted panels, specially those fabricated with hardwood or in mixture with other types of wood.

Within the segment of recontituted wood panels, medium density fiberboard (MDF), is a product which has grown most in terms of production and consumption, due to its homogeneous characteristics, machinability, and versatility, being even considered as a substitute for solid wood.

In view of these aspects, this research project examines the possibility of producing MDF using a mix of deciduous and conifer woods, with diferent levels of urea-formaldehyde resin, within the international specifications.

Medium density fiberboard were produced with a mixture of *Eucalyptus grandis* and *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, in proportions of 100:0, 70:30, 50:50, 30:70, 0:100 with 8, 10 and 12% of urea-formaldehyde resin. The experiment was executed in the factorial statistic model 5x3, with three repetitions.

The wood was first chipped and then transformed into fibers in industrial equipment, except for the formation of the fibermat and sheet pressing, which were carried out in laboratory equipment. The chips and the fibers produced were analysed according to methods TAPPI 16 and TAPPI 233, respectively. The panels were produced according to the EuroMDFBoard - EMB/IS - 2:1995 method.

The results obtained demonstrate that the panels can be produced with a mixture of eucalypt and pine, with different proportions of urea-formaldehyde resin, the best proportion being 50:50% of hardwood and softwood and 10% of urea-formaldehyde resin.

It can also be observed that eucalypt and pine wood behave differently when reduced to chips under the same conditions. As to mechanical properties, the increase in urea-formaldhyde resin level improves the internal bond, static bending strength and modulus of elasticity. The swelling in thickness was affected by both the mixture of fibers as well as the level of resin added.

CAPÍTULO 1
INTRODUÇÃO

A indústria de painéis reconstituídos de madeira foi desenvolvida com o intuito de converter madeira barata ou de baixa qualidade, resíduos agrícolas, florestais e de serrarias em produtos com maior valor agregado. Porém as flutuações nas safras, dificuldades de estocagem destas matérias-primas, distância entre madeireiras e indústrias de painéis e, sobretudo, a expansão desta indústria, propiciou a utilização de madeira reflorestada como fonte de matéria-prima. O nível de transformação sofrido pela matéria-prima é determinante na classificação dos painéis, se em lâminas, os painéis reconstituídos serão painéis laminados - compensado, sarrafeado e painel laminado; se em partículas, serão painéis de partículas - aglomerado, de resíduos de linho e bagaço de cana, OSB (Oriented Strand Board, painel com partículas orientadas) e Waferboard (painel com orientação de camadas); e se em fibras, serão painéis de fibras - chapa dura e MDF (Medium Density Fiberboard, chapa de fibras de média densidade).

Dentro do grupo de painéis laminados, Maloney (1993) relata que o termo "compensado" começou a ser utilizado a partir de 1920; inicialmente estes produtos eram conhecidos como "lâminas". O mais antigo relato da arte de laminação aparentemente foi o mural "Escultura de Tebas", com registros de 1450 antes de Cristo. Até 1650 as lâminas eram obtidas em serras verticais; as serras circulares passaram a ser utilizadas por volta de 1777. Somente em 1808 as serras-fita começaram a ser utilizadas, o que representou um grande avanço na transformação de madeiras. O surgimento das faqueadoras originaram os tornos

laminadores, os quais ainda são utilizados atualmente. A primeira empresa comercial de lâminas data de 1824 na cidade de Nova York. A utilização de lâminas na construção, como peças estruturais, surgiu em 1905 e a partir de 1934 foram desenvolvidos adesivos resistentes à água, que permitiram a fabricação de compensados para uso exterior.
As primeiras chapas de fibras que se tem notícia foram feitas no Japão por volta do século VI A.C. e ficaram conhecidas pelo nome de 'papéis duros', os quais eram usados na construção de paredes de pequenas habitações. Após isso, foi somente em 1772, na Inglaterra, que foi dado o primeiro impulso ao emprego de chapas leves em construção, quando se patenteou o "papier maché" para aplicação não somente em divisórias, portas e móveis, mas também em carruagens. Somente no século XIX é que começou realmente a ser desenvolvido o processo de produção de chapas de fibras, quando foi instalada uma fábrica para produção de chapas semiduras, a empresa 'The Patent Imperable Millboard Co', que utilizava uma máquina para produção de papelão com quatro cilindros formadores. Entretanto, o grande desenvolvimento da indústria de chapas de fibras se deu após a implantação dos processos Masonite e Asplund, em 1926 e 1931, respectivamente.

O Aglomerado surgiu na Alemanha, no início dos anos 50, buscando o aproveitamento de resíduos e madeiras excedentes de serrarias e laminadoras. A aceitação deste produto foi tamanha, que no início da década de 80 o volume de produção se eqüivaleu ao do compensado.

As chapas de média densidade somente surgiram na década de 60, segundo Maloney (1993), considerado, este, o mais recente desenvolvimento na indústria de chapas. O produto foi desenvolvido por Miller Hofft Company of Richmond, sendo que a primeira chapa comercial foi produzida em Deposit, New York. Harry Raddin foi o criador do nome do produto, baseado na descrição do processo, a partir de 1967 as iniciais MDF passaram a identificar o termo Medium Density Fiberboard (Chapas de Média Densidade).

O MDF possui características que o aproximam da madeira sólida, se convertendo em seu substituto natural, com aplicações variadas, podendo ser considerado como um produto intermediário entre a chapa de fibras e o aglomerado, combinando suas propriedades favoráveis e vantagens. A densidade normal do produto oscila entre 660-860 kg/m^3.

Na década de 80 surgiu no mercado o produto HDF (High Density Fiberboard), que na verdade é um MDF com espessura fina e com características similares às das chapas duras de fibras. A mais nova tendência de utilização de painéis advém do setor de construção civil, onde em função de pressões ambientalistas e o conceito de utilização racional dos recursos renováveis, surgiu os painéis estruturais OSB (Oriented Strand Board), WB (Wafer Board) e LVL (Laminated Venner Lumber).

O OSB e o WB são painéis de partículas orientadas, sendo a partícula na forma de flocos ou escamas, respectivamente, utilizados em substituição ao compensado.

O painel LVL consta de lâminas coladas paralelamente que vêm substituindo, em componentes estruturais, a madeira serrada, com a vantagem de eliminar os defeitos naturais presentes na madeira.

Watai (1996) comenta que as indústrias de reconstituição de madeira têm apresentado novos produtos com características estruturais para utilização em coberturas, pisos e paredes para aplicação em conjunto ou paralelamente ao já consagrado painel cimento-madeira, este com vasta aplicação na Europa e Ásia.

No sentido de agregar valor a madeiras de baixa qualidade e aos resíduos florestais, agrícolas ou de serrarias, transformando-os em produtos mais nobres e valiosos, foi necessário criar uma tecnologia própria para fabricação destes produtos, baseada, principalmente, no processo de fabricação de papel. O avanço tecnológico da silvicultura aliado à disponibilidade de áreas para o plantio de madeira e altos custos dos transportes levaram alguns países, inclusive o Brasil, a optarem pela madeira reflorestada como matéria-prima.

As indústrias normalmente têm preferência pelo uso de coníferas como matéria-prima na fabricação de painéis. Dados divulgados pela Sunds Defibrator (1993) fazem menção da utilização de coníferas em 50% das plantas de MDF no mundo, 20% utilizam folhosas, 20% fabricam painéis com mistura de coníferas e folhosas, 7% bagaço de cana-de- açúcar e talos de algodão e 3% utilizam outros tipos de matéria-prima. A mistura de coníferas e folhosas

tem sido cada vez mais acentuada, em função principalmente das vantagens de manejo e de produtividade das folhosas.

A adaptabilidade, produtividade e a amplitude de usos da madeira de eucalipto tem feito com que esta espécie seja uma das mais plantadas em programas de reflorestamento. Os dados do inventário florestal do Estado de São Paulo, apresentados por Kronka et al. (1993), demonstram que da área reflorestada no Estado, cerca de 71% é de eucalipto. Existem 4,3 bilhões de hectares reflorestados no mundo, sendo que 66,1% desta área são com folhosas e 33,9% com coníferas. Freitas (1990) comenta que devido ao encerramento dos incentivos ao plantio de madeira reflorestada, ocorrido em 1987, e à maturação completa desses tipos de plantios, poderá favorecer a escassez de madeira, em um futuro próximo, principalmente de coníferas, o que abre uma grande oportunidade para painéis reconstituídos, principalmente aqueles fabricados com folhosas ou mistura desta com outras madeiras.

CAPÍTULO 2
OBJETIVO

O objetivo global deste trabalho é verificar a possibilidade de preparação de painéis de média densidade (MDF) a partir de misturas de fibras de *Eucalyptus grandis* W. HILL ex MAIDEN e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.

Para isto os seguintes objetivos específicos serão avaliados:

- A influência da mistura de fibras de folhosas e coníferas, em diferentes proporções, na qualidade dos painéis;
- A influência da preparação dos painéis com diferentes níveis de adesivo - resina uréia-formaldeído;
- A qualidade do produto, quanto as propriedades físicas e mecânicas frente às especificações de mercado.

CAPÍTULO 3
REVISÃO DA LITERATURA

3.1. Definição dos painéis

A ASTM-D1554 "Standard Definitions of Terms Relating to Wood-Base Fiber and Particle Panel Material" define os termos usuais e famílias de painéis de materiais lignocelulósicos para utilização industrial como componentes de móveis, em construção civil e componentes estruturais. Estão compreendidos em dois tipos, painéis de fibras e painéis de partículas; termo genérico aplicado a materiais manufaturados da madeira ou outras fibras lignocelulósicas ou partículas, onde agentes ligantes ou outros materiais podem ser adicionados durante a fabricação para se obter ou melhorar certas propriedades.

3.1.1. Painel formado de fibras

São materiais feitos de fibras lignocelulósicas refinadas ou parcialmente refinadas, produzidos por interligação das fibras.

3.1.1.1. Chapa de fibras celulósicas

Termo genérico para painéis homogêneos feitos de fibras lignocelulósicas (usualmente madeira ou cana-de-açúcar) caracterizada pela ligação integral das fibras, podendo ser adicionado outros materiais durante a fabricação para fornecer determinadas propriedades, mas que não são consolidadas sob temperatura e pressão. São painéis com densidade entre 0,16 e 0,50 g/cm^3.

3.1.1.2. Chapa dura

Termo genérico para painéis manufaturados pela interligação de fibras de madeira consolidadas pela ação da temperatura e pressão em prensas quentes, podendo ser adicionados outros materiais durante a fabricação, fornecendo assim determinadas características.

Existem as chapas duras de média densidade e de alta densidade, sendo no primeiro tipo painéis com densidade entre 0,50 e 0,80 g/cm^3 e no segundo com densidade maior que 0,80 g/cm^3.

3.1.2. Painel de partículas

Termo genérico para painéis fabricados de materiais lignocelulósicos (usualmente madeira), na forma de pedaços ou partículas, distintas de fibras, combinadas com resina sintética ou outro ligante, mantidas juntas após aquecimento e pressão.

Os aglomerados se classificam em Aglomerado de baixa densidade, média densidade e alta densidade, com densidade inferior a 0,59 g/cm^3, densidade entre 0,59 e 0,80 g/cm^3 e superior a 0,80 g/cm^3, respectivamente.

3.1.3. Painel cimento-madeira

Painel de madeira, usualmente na forma de aparas, misturado com cimento inorgânico.

Segundo Maloney (1993), somente em 1973, o painel de média densidade - MDF (Medium-Density Fiberboard) foi definido pela National Particleboard Association como sendo um painel manufaturado de fibras lignocelulósicas combinadas com resinas sintéticas, prensados em prensa quente, a fim de atingirem densidade entre 0,50 a 0,80 g/cm^3.

A Associação Européia de Produtores de MDF, EuroMDFBoard (EMB), fundada em 1986, define chapas de MDF como sendo painéis, com espessura igual ou superior a 1,5 mm e

densidade igual ou superior a 450 kg/cm^3, fabricados em processo seco, com fibras lignocelulósicas, unidas com adesivos sintéticos curados sob pressão e temperatura. Podendo possuir propriedades adicionais de retardância ao fogo, resistência à umidade, e resistência ao ataque biológico.

Comercialmente, os grandes grupos de painéis laminados, de partículas e de fibra, recebem denominações derivadas da língua inglesa, que acabam sendo incorporadas ao linguajar popular. A diferença básica entre eles é função do nível de transformação da madeira em lâminas, partículas ou fibras. A figura 1 caracteriza comercialmente os painéis de madeira.

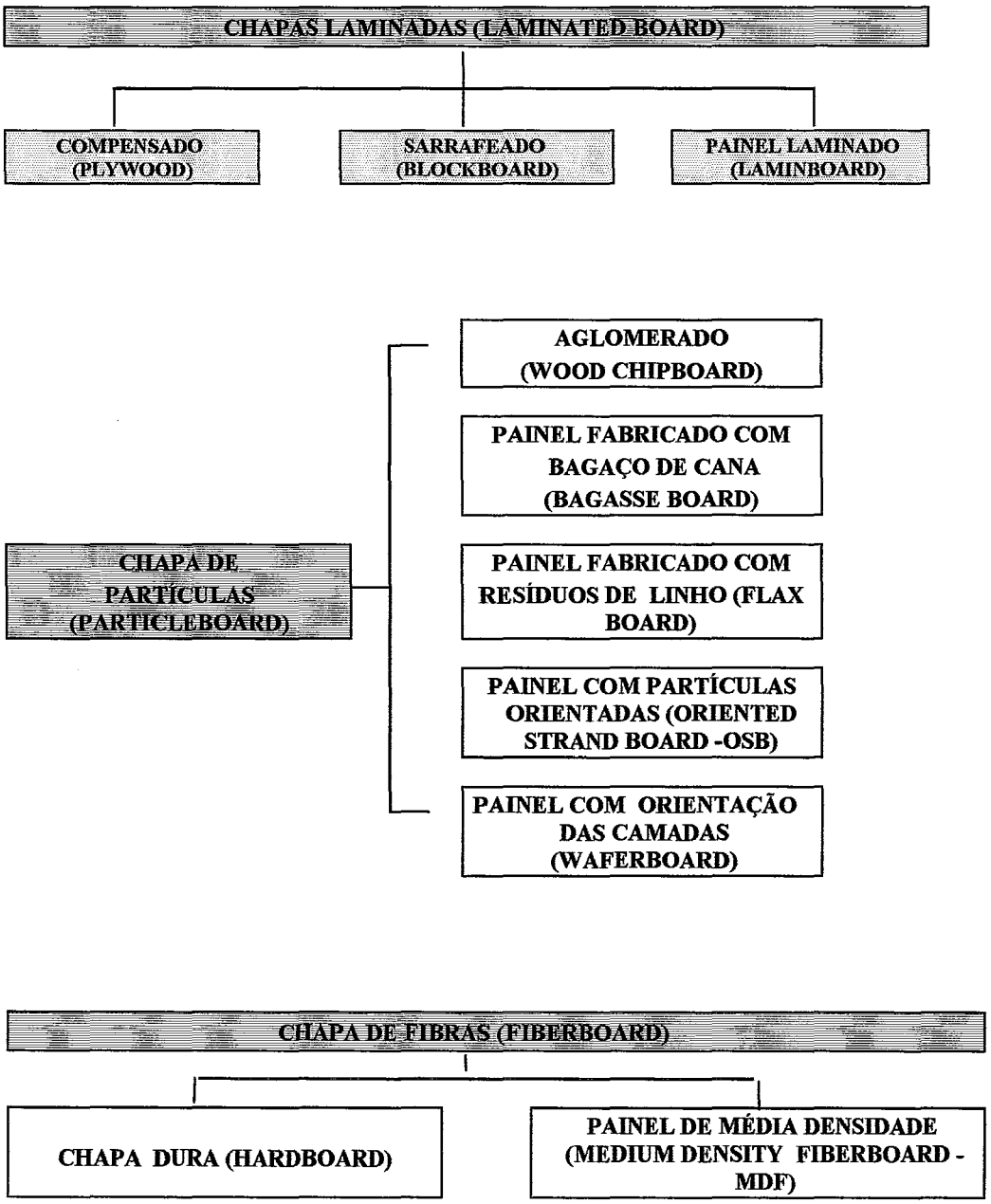


FIGURA 1: Caracterização comercial dos painéis de madeira.

3.2. Uso de madeiras em painéis

Os Estados do Paraná e Santa Catarina tiveram seu desenvolvimento econômico baseado na atividade madeireira, onde as vastas matas naturais de *Araucaria angustifolia* eram os principais sustentáculos. Com o passar dos anos, esta fonte de matéria-prima começou a se extinguir, obrigando as indústrias madeireiras a procurar outras formações florestais ou utilizar madeiras de reflorestamento.

Segundo Nahuz (1989), as indústrias madeireiras do Sul e Sudeste do País de processamento primário, como serrarias, laminadoras e indústrias de compensados, migraram para a região da Floresta Amazônica em busca de matéria-prima, porém, a industrialização destas madeiras apresentou entraves em função da heterogeneidade das madeiras da floresta, identificação das espécies e desconhecimento de suas propriedades físicas e mecânicas. As outras indústrias madeireiras, tais como celulose e papel, chapas de fibras, chapas de madeira aglomerada, que necessitam de matéria-prima extremamente uniforme e controláveis, obtidas a partir de reflorestamentos, permaneceram na região Sul e Sudeste próximas aos grandes centros consumidores e vias de exportação.

A participação dos setores na produção nacional de produtos de madeira é apresentada na tabela 1, onde observa-se que os setores de painéis ainda apresenta dados tímidos, quando comparados com a participação da madeira serrada.

TABELA 1: Participação dos setores (em %) na produção nacional de produtos de madeira

PRODUTO	% EM VOLUME
Madeira Serrada (Região Sul)	28,6
Madeira Serrada (Região Norte)	45,7
Lâminas	2,9
Compensados	10,7
Chapas de Fibras	2,9
Aglomerado	3,8
Outros	5,4

FONTE: Revista da Madeira, 1997

O pinus é a conífera largamente utilizado em reflorestamento no Brasil, que conta com aproximadamente 1,4 milhões de hectares de florestas plantadas. A diversidade do uso de sua madeira vem assumindo grande importância no cenário madereiro nacional.

A partir de 1980, a indústria moveleira passou a utilizar madeira de pinus proveniente de reflorestamento incentivado, em substituição às essências nativas que começavam a se exaurir. As mudanças na política ambiental, as pressões sociais, econômicas e ecológicas, aliado ao conceito de utilização racional sustentada dos recursos naturais, fez com que as indústrias moveleiras passassem a utilizar painéis reconstituídos a partir de madeira reflorestada em substituição à madeira.

3.3. Importância do MDF na indústria moveleira

Os painéis apresentaram uma evolução tecnológica, conforme pode ser visto na figura 2, iniciando nas serrarias, com utilização de serra fita, passando das formas rudimentares para as mais evoluídas. O MDF foi considerado o maior avanço tecnológico das últimas décadas por conciliar um processo de fabricação menos poluente, quando comparado ao processo úmido de fabricação de chapas de fibras; e suas características de excelência em acabamento e usinabilidade.

No final da década de 80 surgiram os painéis OSB e HDF. O painel OSB (Oriented Strand Board) - painel de partículas orientadas, é utilizado na construção civil, substituto do compensado em aplicações estruturais. O HDF (High Density Fiberboard) é o MDF com espessura fina e maior densidade, apresentando características semelhantes à chapa de fibra e ao compensado fino.

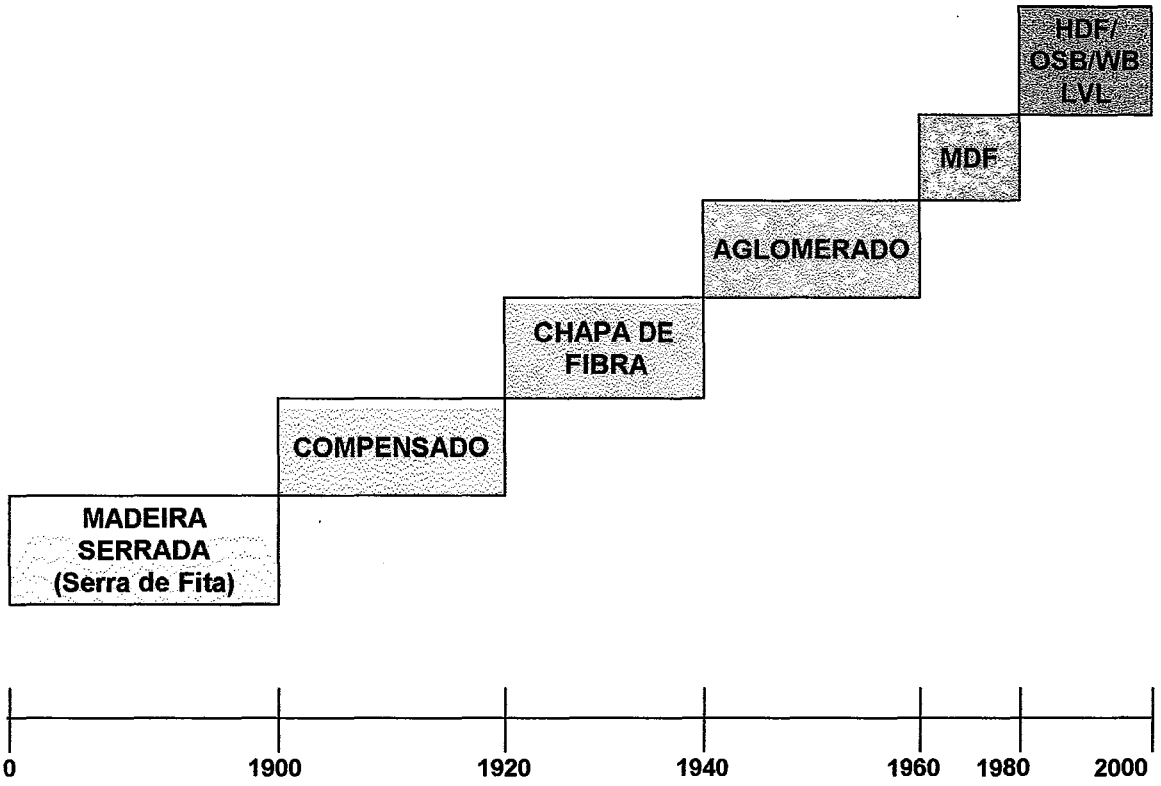


FIGURA 2: Evolução dos painéis de madeira

Atualmente, o MDF é reconhecido a nível mundial como o substituto da madeira, em função de suas características de homogeneidade, facilidade de usinagem, resistência ao ataque de microorganismos. A presença de resinas sintéticas confere características adicionais de resistência mecânica, à umidade e ao fogo.

As razões do sucesso do MDF podem ser atribuídas à possibilidade de confecção de cantos torneáveis similares a madeira maciça e muito superiores ao aglomerado, laminados ou outros tipos de chapas; possibilidade de moldagem e frezagem, facilitando a criação de formas moldadas e com decorações na superfície; variedade de acabamentos, desde revestimento de papel até laqueamento; possibilidade de se trabalhar manualmente, com

acabamento de alta qualidade. A tabela 2 apresenta um quadro comparativo entre os diversos painéis existentes no mercado, quanto ao aspecto qualidade de preparação do produto.

TABELA 2: Comparativo entre painéis existentes no mercado quanto a preparação do produto.

OPERAÇÕES	MDF	AGLOMERADO	CHAPA DURA	COMPENSADO
CORTE	E	M	B	R
USINABILIDADE DE BORDA	E	M	B	M
USINABILIDADE DE SUPERFÍCIE	E	R	EL	R
PREPARAÇÃO DE SUPERFÍCIE	E	M	E	M
CURVAGEM (FINO)	B	R	E	B
TORNEAMENTO	E	R	B	R
FURAÇÃO	B	B	B	B

LEGENDA: E = excelente; B = bom; M = mediano; R = ruim; EL = espessura como limitante

Outro aspecto favorável é a estabilidade dimensional do MDF, admitindo um trabalho sem perdas, já que as suas qualidades mecânicas são praticamente iguais em todos os sentidos do painel.

As indústrias do mobiliário têm se utilizado destes painéis em razão de suas elevadas características técnicas quando comparado aos demais painéis e até mesmo em relação à madeira. Além da indústria de móveis, a qualidade deste produto é apreciada também no setor de ornamentos e complementos, onde as características de excelência do MDF em acabamento superficial são ressaltadas, conforme mostra a tabela 3.

TABELA 3: Qualidade de acabamento superficial do MDF frente aos demais painéis.

OPERAÇÕES	MDF	AGLOMERADO	CHAPA DURA	COMPENSADO
ACABAMENTO DE BORDA	B	R	E	R
PINTABILIDADE	B	R	E	R
REVESTIMENTO PLANO	E	M	B	M
REVESTIMENTO TRABALHADO	E	R	EL	R

LEGENDA: E = excelente; B = bom; M = mediano; R = ruim; EL = espessura como limitante

Quanto às aplicações do MDF, suas características permitem uma diversidade de usos no segmento moveleiro, este produto é utilizado em frontais de cozinhas, banheiros e dormitórios; móveis infantis e de escritórios; mesas; cadeiras; racks e molduras. Na construção civil é largamente aplicado em forros, rodapés, pisos, batentes de portas, capas de portas moldadas e como painéis divisórios. Além destas, sua versatilidade permite aplicações as mais variadas possíveis, tais como em salto de sapato, pás de ventilador, assento sanitário, cabinas telefônicas, brinquedos e demais aplicações que requeiram entalhes e adornos.

As dimensões disponíveis e comercializáveis do MDF compreendem as faixas de 1220 e 1525 mm de largura por 2440, 2745, 3050 e 3660 mm de comprimento, ou 1830 x 1830 mm. Dimensões inferiores a estas podem ser obtidas por beneficiamento das chapas. A espessura pode variar entre 1,6 e 60 mm.

A EuroMDFBoard - EMB/IS - 1:1995 classifica as chapas de MDF quanto a condições de uso - ambientes seco, úmido e exteriores, e aplicações - usos gerais e situação de carga, se aplicada instantaneamente ou durante toda utilização. A identificação é feita através de letras que simbolizam as aplicações, sendo **H** para MDF resistente a umidade, **E** para uso em ambiente externo, **L** para resistência a aplicação de carga; quando instantânea ou por

pouco tempo recebe a simbologia **S** e quando contínua, **A** . A tabela 4 ilustra os tipos de MDF com suas aplicações segundo a EMB (EuroMDFBoard).

TABELA 4: Aplicações e condições de usos do MDF segundo a EMB .

LETRA/ CÓDIGO	CONDIÇÕES DE USO (AMBIENTE)	APLICAÇÕES
MDF	*SECO*	Geral
MDF . H	*ÚMIDO*	Geral
MDF . E	*EXTERIOR*	Geral
MDF . LA	*SECO*	Resistente à aplicação de carga durante o uso
MDF . HLS	*ÚMIDO*	Resistente à aplicação de carga momentânea ou curto espaço de tempo

A EuroMDFBoard - EMB/IS - 2:1995, apresenta as especificações do produto e as condições de uso do MDF, sendo:

- condições de uso em ambiente seco: caracteriza condições de temperatura de 20°C e umidade relativa do ar excedendo a 65% por apenas poucas semanas no ano.
- condições de uso em ambiente úmido: caracteriza condições de temperatura de 20°C e umidade relativa do ar excedendo a 85% por apenas poucas semanas no ano.
- condições de uso em ambiente externo: implica em exposição a agente atmosférico, água ou a vapor d'água, locais úmidos mas ventilados.

As especificações e faixa de tolerância do MDF, com metodologias de ensaios, são apresentadas na tabela 5.

TABELA 5: Especificações do MDF

PROPRIEDADES	MÉTODO TESTE	UNIDADE	ESPESSURA NOMINAL (mm)	
			≤ 19	> 19
Espessura	EN 324-1	mm	± 0,3	± 0,3
Comprimento e largura	EN 324-1	mm/m	+ 0,2 , máx. ± 5,0	
Esquadro	EN 324-2	mm/m	± 2,0	
Retidão de cantos comprimento e largura	EN 324-2	mm/m	± 1,5	
Tolerância na densidade	EN 323	%	± 7,0	
Umidade	EN 322	%	4 - 11	
Emissão de formaldeído				
Classe A	EN 120	mg/ 100 g	≤ 9,0	
Classe B	EN120	mg/ 100 g	> 9,0 - ≤ 40,0	

Legenda: EN = European Norm

As tabelas 6, 7 e 8 apresentam as especificações do MDF, segundo a EuroMDFBoard - EMB/IS - 2:1995 para uso em ambiente seco, úmido e exterior, respectivamente.

TABELA 6: Especificações do MDF para uso geral

PROPRIEDADE	MÉTODO DE TESTE	UNIDADE	ESPESSURA NOMINAL (mm)								
			1,8 - 2,5	>2,5 - 4,0	> 4 - 6	> 6 - 9	> 9 - 12	> 12 - 19	> 19 - 30	> 30 - 45	> 45
Inchamento de Espessura -24h	EN 317	%	45	35	30	17	15	12	10	8	6
Resist. Tração Perpendicular	EN 319	N/mm^2	0,65	0,65	0,65	0,65	0,60	0,55	0,55	0,50	0,50
Resistência à Flexão	EN 310	N/mm^2	23	23	23	23	22	20	18	17	15
Módulo de Elasticidade	EN 310	N/mm^2	-	-	2700	2700	2500	2200	2100	1900	1700

TABELA 7: Especificações do MDF para uso em condições de umidade

PROPRIEDADE	MÉTODO DE TESTE	UNIDADE	ESPESSURA NOMINAL (mm)								
			1,8 - 2,5	>2,5 - 4,0	> 4 - 6	> 6 - 9	> 9 - 12	> 12 - 19	> 19 - 30	> 30 - 45	> 45
Inchamento de Espessura -24h	EN 317	%	35	30	18	12	10	8	7	7	6
Resist. Tração Perpendicular	EN 319	N/mm^2	0,70	0,70	0,70	0,80	0,80	0,75	0,75	0,70	0,60
Resistência à Flexão	EN 310	N/mm^2	27	27	27	27	26	24	22	17	15
Módulo de Elasticidade	EN 310	N/mm^2	2700	2700	2700	2700	2500	2400	2300	2200	2000
Opção 1: Inchamento de Espessura Após Ciclo de Umidificação	EN 317 EN 321	%	50	40	25	19	16	15	15	15	15
Opção 1: Resist. à Tr. Perpendicular Após Ciclo de Umidificação	EN 319 EN 321	N/mm^2	0,35	0,35	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10	0,10
Opção 2: Resist. à Tr. Perpendicular Após Teste Ebulição	EN 319 EN 1087-1	N/mm^2	0,20	0,20	0,20	0,15	0,15	0,12	0,12	0,10	0,10

TABELA 8: Especificações do MDF para uso em condições externas

PROPRIEDADE	MÉTODO DE TESTE	UNIDADE	ESPESSURA NOMINAL (mm)								
			1,8 - 2,5	>2,5 - 4,0	> 4 - 6	> 6 - 9	> 9 - 12	> 12 - 19	> 19 - 30	> 30 - 45	> 45
Inchamento de Espessura -24h	EN 317	%	35	30	18	12	10	8	7	7	6
Resist. Tração Perpendicular	EN 319	N/mm^2	0,70	0,70	0,70	0,80	0,80	0,75	0,75	0,70	0,60
Resistência à Flexão	EN 310	N/mm^2	34	34	34	34	32	30	28	21	19
Módulo de Elasticidade	EN 310	N/mm^2	3000	3000	3000	3000	2800	2700	2600	2400	2200
Opção 1: Inchamento de Espessura Após Ciclo de Umidificação	EN 317 EN 321	%	50	40	25	19	16	15	15	15	15
Opção 1: Resist. à Tr. Perpendicular Após Ciclo de Umidificação	EN 319 EN 321	N/mm^2	0,35	0,35	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10	0,10
Opção 2: Resist. à Tr. Perpendicular Após Teste Ebulição	EN 319 EN 1087-1	N/mm^2	0,20	0,20	0,20	0,15	0,15	0,12	0,12	0,10	0,10

3.4. Mercado e tendências mundiais do MDF

Dentro do segmento de painéis, o MDF apresentou mercado crescente nos últimos anos. Em 1980 haviam 18 fábricas instaladas com capacidade produtiva de 1.687.000 m^3, passados 12 anos, em 1992, a produção era de 7.563.000 m^3 em 77 plantas, representando um crescimento de cerca de 450% no período, conforme mostra as tabelas 9 e 10.

TABELA 9: Capacidade produtiva de MDF em m^3 nos anos 1980, 1990, 1992

	1980	1990	1992
AMÉRICA DO NORTE	1.250.000	2.049.000	2.272.000
EUROPA (1)	173.000	2.560.000	2.919.000
AMÉRICA DO SUL	-	200.000	241.000
ÁFRICA	-	125.000	135.000
ÁSIA (2)	194.000	833.000	1.038.000
OCEANIA	70.000	650.000	960.000
TOTAL	**1.687.000**	**6.417.000**	**7.563.000**

(1) Não inclui Leste da Europa e USSR

(2) Não inclui Turquia, Índia e China

FONTE: SUNDS DEFIBRATOR, 1991; 1993

TABELA10: Número de fábricas de MDF nos anos 1980, 1990, 1992

	1980	1990	1992
AMÉRICA DO NORTE	12	16	17
EUROPA (1)	2	25	30
AMÉRICA DO SUL	-	4	5
ÁFRICA	-	2	3
ÁSIA (2)	3	12	14
OCEANIA	1	6	8
TOTAL	**18**	**65**	**77**

(1) Não inclui Leste da Europa e USSR

(2) Não inclui Turquia, Índia e China

FONTE: SUNDS DEFIBRATOR, 1991; 1993

Até 1970 o consumo de MDF era irrelevante, devido este ser um produto novo no mercado mundial, em 1980 o consumo foi de 1.114.000 m^3 de painéis, atingindo a cifra de 5.776.000 m^3 em 1992. Somente a Europa consumiu 2.300.000 m^3, cerca de 40% do total, segundo dados contidos na tabela 11.

TABELA 11: Consumo de MDF em m^3 nos anos 1980, 1990, 1992

	1980	1990	1992
AMÉRICA DO NORTE	850.000	1.659.000	1.760.000
EUROPA	157.000	1.438.000	2.300.000
AMÉRICA DO SUL	-	> 30.000	> 40.000
ÁFRICA	-	> 40.000	> 50.000
ÁSIA	52.000	792.000	1.196.000
OCEANIA	55.000	315.000	430.000
TOTAL	**1.114.000**	**4.274.000**	**5.776.000**

FONTE: SUNDS DEFIBRATOR, 1991; 1993

Em 1993 o consumo de MDF representava 6% do total mundial de painéis, conforme ilustra a figura 3, frente ao anúncio de novas fábricas em instalação ao redor globo terrestre, o consumo deverá exceder 20 milhões m^3 no ano 2000.

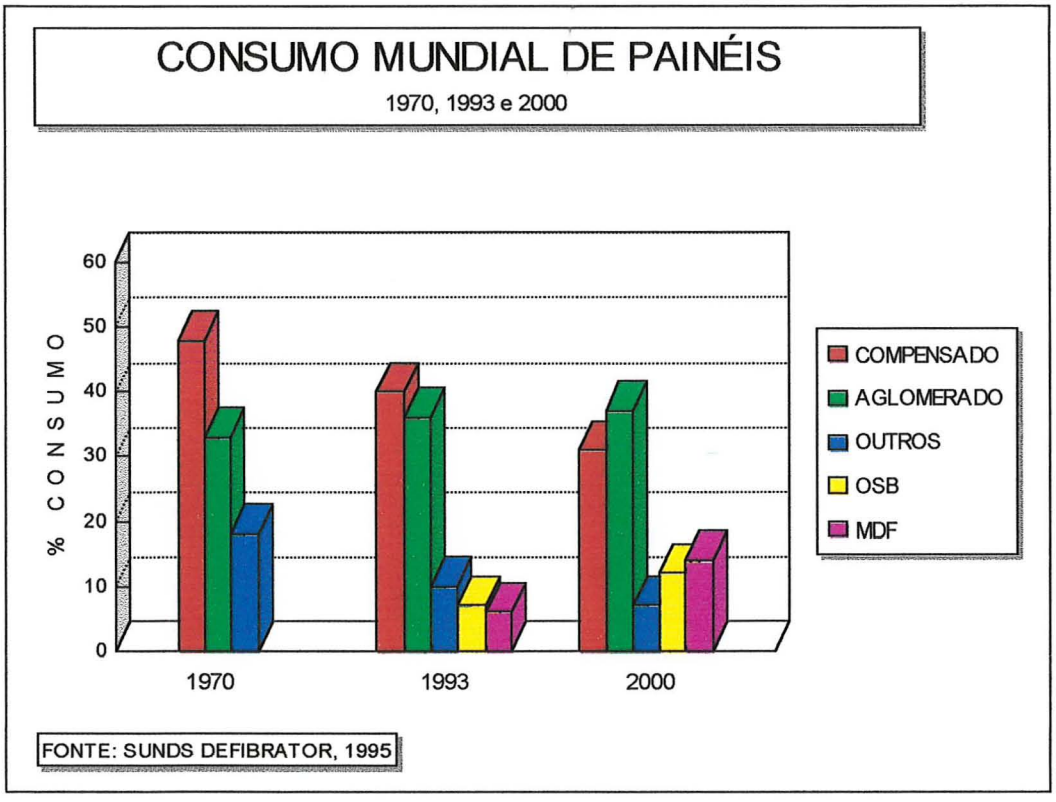


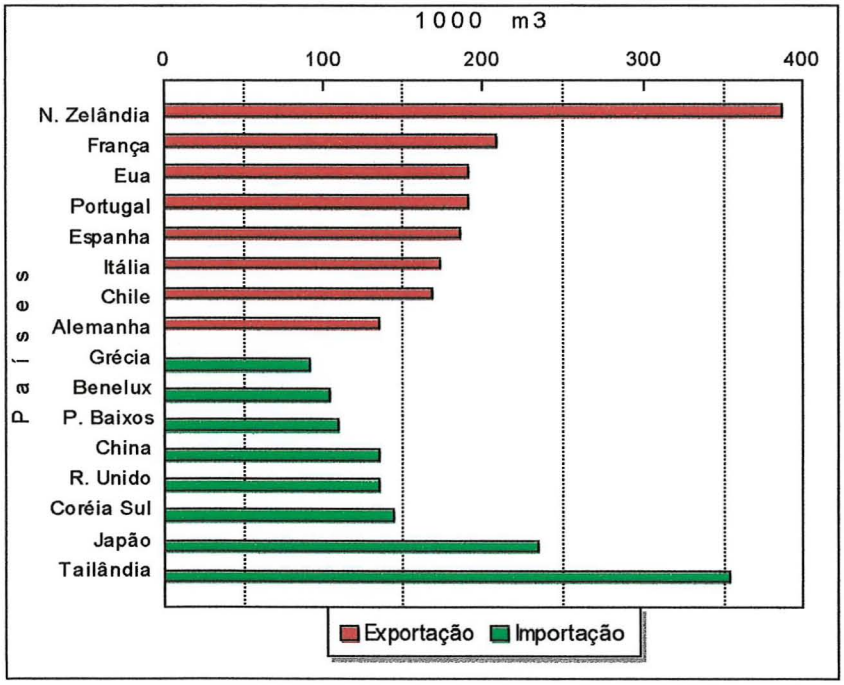
FIGURA 3: Consumo mundial de painéis reconstituídos nos anos de 1970, 1993 e 2000.

Atualmente, a Europa é o mais importante produtor de MDF, com destaque em liderança de produção para Itália, Alemanha e Espanha, totalizando 3,3 milhões m^3 em 1993.

No continente asiático, os maiores produtores são a Coréia do Sul, Japão e Malásia, atingindo a cifra de 1,5 milhões de m^3. A Ásia, em 1993, importou painéis de MDF da Nova Zelândia, Chile, América do Norte e Europa para suprimento da demanda interna, cujo consumo atingiu 2,2 milhões m^3.

Os dados da Sunds Defibrator (1995) para a América Latina revelam que, em 1993, a produção de MDF foi cerca de 300.000 m^3, com consumo de apenas 100.000 m^3, o Chile, maior produtor, exportou 90% de sua produção.

A figura 4 ilustra os países exportadores e importadores de MDF em 1993, destacando como maior exportador a Nova Zelândia, atingindo quase 400.000 m^3 de painéis. A Tailândia, importou mais de 350.000 m^3 de MDF, sendo o maior importador de 1993.



FONTE: SUNDS DEFIBRATOR, 1995

FIGURA 4: Exportação e importação de MDF em m^3 no ano de 1993.

3.5. Processos de fabricação dos painéis

Kollmann et al. (1975) classifica os métodos de fabricação dos painéis em úmido, semi-seco e seco. Sandermann & Kunnemeyer (1957) caracterizam os processos seco e semi-seco como aquele em que o ar é o meio dispersante das fibras. Gran (1968) comenta que existem quatro diferentes processos para fabricação de painéis, incluindo, além dos citados por Kollmann, o processo úmido-seco, desenvolvido nos Estados Unidos em 1930.

A tecnologia de fabricação de painéis é de domínio público e utilizada em função de suas particularidades. A geração de efluente altamente poluente foi fator predominante na inviabilização do processo úmido em alguns países do mundo.

Pelos processos úmido e semi-seco são fabricados painéis formado de fibras - chapa dura de fibras. No processo seco há necessidade de utilização de resinas na proporção de até 10% sobre o peso final da chapa, o que onera o produto final. Entretanto, este processo é largamente utilizado, para fabricação de chapas de partículas e MDF.

3.5.1. Processo úmido

O material lignocelulósico é transformado em cavacos, os quais são pré-aquecidos com vapor d'água saturado, à temperatura entre 120 e 180 °C, ocorrendo o amolecimento da camada ligante das fibras do material. No desfibramento, por ação mecânica, geralmente aplicada aos cavacos entre dois discos ranhurados, há a separação da madeira em fibras, produzindo a denominada polpa "Asplund". Eventualmente, pode haver refinação com o objetivo de diminuir o comprimento das fibras produzidas. A polpa obtida sofre uma série de diluições em água até atingir concentração de cerca de 1%, após o que são introduzidos aditivos no processo, tais como: sulfato de alumínio e parafina, podendo-se também adicionar resinas, para se obter melhoria da qualidade tecnológica da chapa. A polpa é enviada para uma máquina formadora, onde é conformada em uma manta de fibras. A passagem subsequente por calandras expulsa, através de ação mecânica, parte da água desta

manta; a água retirada é enviada, em parte, para os tanques de diluição, e outra parte para o esgoto, gerando um efluente altamente poluidor, devido esta água ser rica em ácidos orgânicos e açúcares, gerados na hidrólise da madeira e solubilizados nos tanques. O colchão de fibras que sai da máquina formadora contém, geralmente, três partes de água e uma de fibras e é depositada sob este uma tela de aço suportada por uma bandeja, também de aço, sendo o conjunto prensado a quente, a uma temperatura ao redor de 200° C. Cerca de duas terças partes da água contida no colchão é expulsa mecanicamente durante a prensagem e vai tornar o efluente ainda mais poluído, sendo o restante evaporado durante a operação de prensagem.

Dependendo dos ciclos e dos níveis de pressões e temperaturas aplicados na prensagem pode-se produzir chapas de baixa densidade (Softboard) ou de alta densidade (chapa dura ou hardboard).

Após a prensagem, a chapa passa para o tratamento térmico, onde adquire resistência à água e posteriormente a um sistema de umidificação, objetivando um melhor condicionamento do material ao meio ambiente ao qual ele ficará exposto.

Apesar de universalmente aceito e conhecido, o processo úmido tem uma série de desvantagens, a saber:

- é altamente poluente, devido aos açúcares contidos no seu efluente industrial;
- consumo elevado de energia calorífica, devido à necessidade de se secar um colchão de fibras; contendo três partes de água e apenas uma parte de fibras de material lignocelulósico;
- facilidade de corrosão dos equipamentos devido a agressividade do meio, proveniente dos ácidos gerados na hidrólise da madeira;
- elevação de ônus no custo de instalações e equipamentos em função da operação complementar de refinação;
- necessidade de tanques com volume apreciável para armazenamento de água e polpa, devido aos grandes volumes de água envolvidos no processo úmido;
- possibilidade de contaminação do processo por microorganismos.

3.5.2. Processo semi-seco

Na fabricação de painéis pelo processo semi-seco, algumas etapas são iguais ao processo úmido, tais como: a preparação da polpa, a prensagem do colchão, o tratamento térmico das chapas e o tratamento de umidificação. A diferença é que após a desfibração dos cavacos, a polpa resultante é enviada a um túnel de secagem onde entra com umidade entre 40 e 50%, saindo com umidade entre 10 e 35%. Após a saída do túnel, a polpa é enviada a um silo de armazenamento, cuja finalidade é suprir de modo constante e uniforme, a máquina formadora de colchão de fibras. Neste equipamento, o colchão é umidificado intensamente na sua superfície, de modo a ter homogeneamente de 50 a 60 Kg de água para cada 100 Kg de colchão formado.

3.5.3. Processo seco

No processo de fabricação de chapas de material lignocelulósico, por via seca, a polpa também é produzida através de um desfibrador pressurizado, semelhante ao processo úmido. A polpa, ao sair do desfibrador, passa por um secador, onde vai perder quase que completamente a umidade, a qual estará entre 4 e 0%. Após a perda da umidade, a polpa recebe as resinas que irão consolidar as fibras durante a prensagem, há a formação do colchão e posteriormente à prensagem a 200° C.

O processo seco também apresenta uma série de inconvenientes:

- é necessário a secagem completa das fibras do material lignocelulósico;
- devido à baixa umidade das fibras, o risco de incêndio nas instalações é bastante grande;
- torna-se necessário a adição de resinas às fibras, para que estas possam aderir umas as outras durante a prensagem;
- as resinas, que podem ser dos tipos uréica, fenólica, melamínica, chegam à proporção de até 8 a 10% em peso sobre o peso final da chapa;
- em algumas regiões do mundo, as resinas são tão caras que inviabilizam uma fábrica de chapas de fibras pelo processo seco.

Os processos de fabricação de painéis estão ilustrados na figura 5.

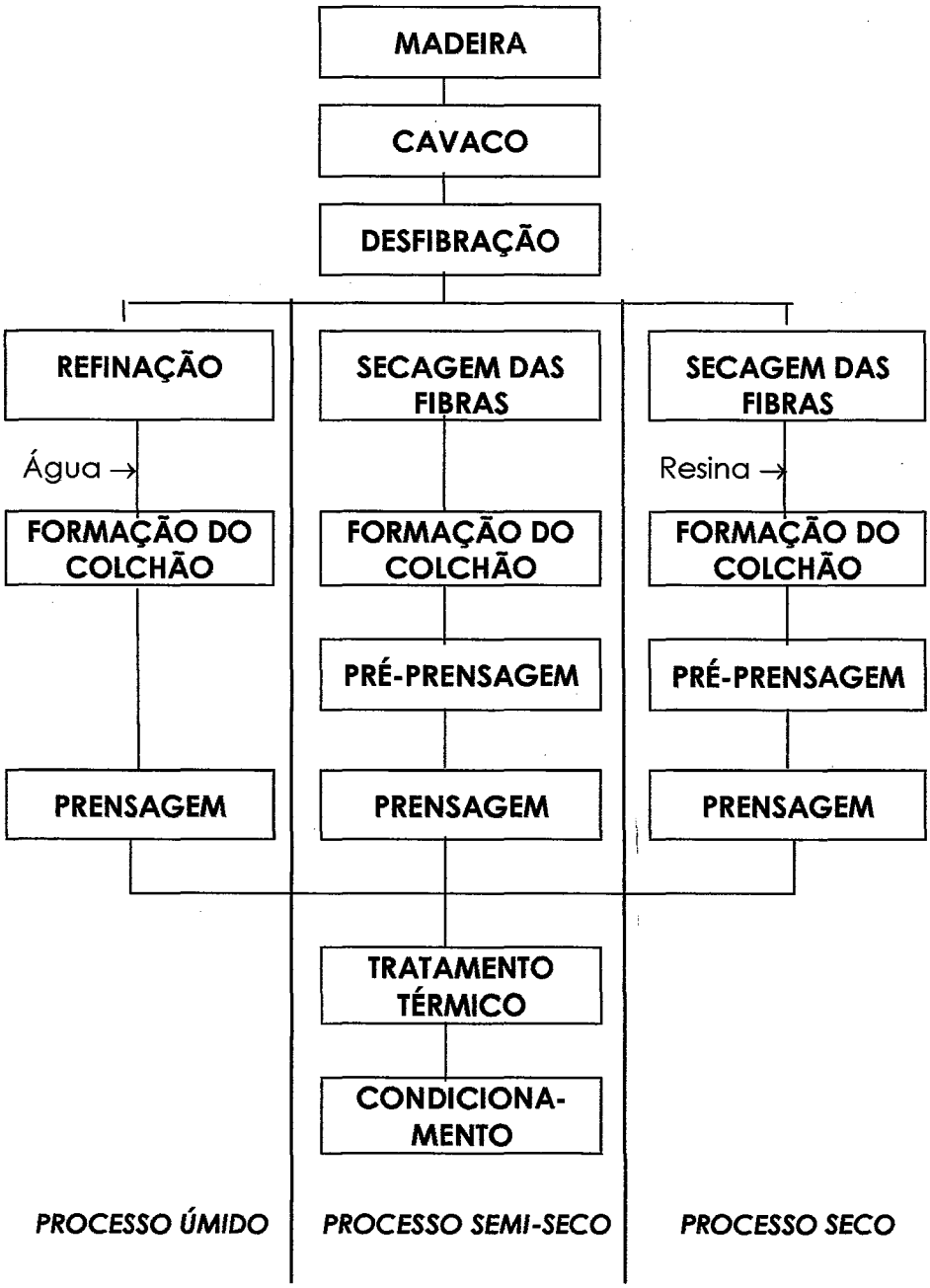


FIGURA 5: Representação esquemática dos processos de fabricação de painéis (Kollmann et al.,1975).

3.6. Matéria-prima

Em princípio todo e qualquer material lignocelulósico pode ser utilizado como matéria-prima para fabricação dos painéis, entre eles podemos citar:

- Resíduos Agrícolas (bagaço de cana, fibras de linho, palha de cereais, talo de milho, bambu, papiro, etc.)

  Os resíduos agrícolas além de não constituírem uma excelente matéria-prima para produção de painéis, carregam consigo outros inconvenientes como variações nas condições de agricultura (quantidade de safras, método de colheita, flutuações no preço); baixa densidade (dificuldade de estocagem, manuseio e transporte) e impurezas (ervas daninhas, folhas, barro, etc.).

- Resíduos de serraria (pedaços de madeira, serragem e maravalhas)

  Estes resíduos por sua vez constituem, em alguns casos, excelente matéria-prima para fabricação de painéis, entretanto, a disponibilidade dos mesmos e a distância entre as madeireiras e as indústrias de painéis são fatores limitantes para o uso de tal matéria-prima.

- Madeira (árvores de varias espécies)

  A utilização de madeira como matéria-prima depende apenas da disponibilidade e custo da mesma, pois árvores das mais variadas espécies podem ser utilizadas na fabricação dos painéis.

As primeiras chapas de MDF foram fabricadas com madeiras de coníferas, provenientes do excedente de laminadoras e serrarias. Com a expansão deste mercado, estas matérias-primas começaram a ser insuficientes e passou-se a utilizar outras fontes de matéria-prima.

Segundo a Sunds Defibrator (1993), atualmente 50% das plantas de MDF no mundo utilizam coníferas como fonte matéria-prima, 20% utilizam exclusivamente folhosas (não *Eucalyptus* spp), 20% fazem uso de mistura de madeiras duras e macias, 7% tem como

matéria-prima talos de algodão e bagaço-de-cana de açúcar e 3% utilizam outros tipos de matéria-prima.

Em alguns países, a seleção da espécie é feita, exclusivamente, pela disponibilidade de matéria-prima. Existem fábricas na Suécia e nos Estados Unidos que chegam a utilizar até oito tipos de árvores diferentes, e outras fábricas que utilizam aparas de serraria e serragem como matéria-prima. Devido às grandes áreas para reflorestamento, clima favorável e os problemas já citados sobre os resíduos agrícolas e de serraria, no Brasil a matéria-prima utilizada para fabricação de painéis é basicamente a madeira.

As indústrias normalmente têm preferência pelo uso de coníferas como matéria-prima, a mistura destas madeiras com folhosas tem sido cada vez mais acentuada em função da maior disponibilidade das folhosas.

No caso do Brasil, a amplitude de usos e aplicações e a adaptabilidade do eucalipto, tem incentivado o plantio desta madeira em áreas de reflorestamento. Confirmando isto, Resende[1] comenta que a produtividade tem tornado este tipo de folhosa atrativa, visto que em algumas regiões do Estado de São Paulo, tais como Jundiaí e Itapetininga, esta madeira atinge 42 m^3 /ha . ano, ao contrário do pinus que atinge no máximo 25 m^3 /ha . ano. Em talhões de madeira para energia já se chegou a atingir taxas de até 150 m^3 /ha . ano.

Além disto, Freitas (1990) alerta para a possibilidade de escassez de madeira de coníferas, em função da redução do plantio e falta de incentivos fiscais. No período entre 1963 a 1982 houve um decréscimo no plantio de pinus de cerca de 50% em relação ao eucalipto, segundo dados da Duraflora (1990).

---

[1] RESENDE, R.R. (DURAFLORA, Jundiaí) Comunicação Pessoal, 1997.

O inventário florestal do Estado de São Paulo, apresentado por Kronka et al. (1993), comenta que as maiores concentrações de reflorestamento de pinus e eucalipto encontram-se nas regiões de Sorocaba, Campinas e Ribeirão Preto. A área total reflorestada no Estado representa 730.069,71 ha, sendo deste total 71,66% de eucalipto e apenas 28,34% de pinus, conforme mostrado na tabela 12.

TABELA 12: Área reflorestada com eucalipto e pinus no Estado de São Paulo em 1993.

Região	Eucalipto	Pinus	Total Reflorestado	
			(ha)	(%)
Sorocaba	237.733,25	131.248,00	368.881,25	50,54
Campinas	82.655,84	10.910,25	93.566,09	12,82
R. Preto	78.903,85	2.433,25	81.337,10	11,14

FONTE: KRONKA et al. (1993)

Quanto ao aspecto de processamento, a transformação de madeira de coníferas por processo termomecânico, por exemplo, requer quase o dobro de energia elétrica do que as madeiras de folhosas, sob as mesmas condições (C.E. Bauer,1974; Defibrator,1974; Neves,1988). Já para pastas "Asplund" usadas no processo de chapas de fibras, Nogueira & Mariano[2] obtiveram um incremento de consumo na ordem de 20% quando processaram madeira de pinus. Entretanto, as chapas produzidas com coníferas possuem coloração clara, muito similar a madeira natural. Suas fibras longas favorecem a que se obtenha produtos com boa

[2] NOGUEIRA, A.G.; MARIANO, A.D. Dosagem de pinus na fabricação de chapas de fibras. Duratex. Jundiaí. 1988. (Documento interno TE-12/88; TE.12-06/88).

resistência mecânica, devido ao bom entrelaçamento entre elas. Nelson (1973) comenta que o comprimento das fibras favorece a estabilidade linear do MDF, pois com o aumento de ligações entre fibras decresce a possibilidade de movimentação destas fibras.

Bhagwat & Maloney (1980) acreditam que painéis de MDF fabricados com coníferas apresentam qualidade superior, devido a presença de resinas naturais inerentes a espécie.

Com outros tipos de matéria-prima, estudos mais recentes, para confecção de painéis de MDF, foram feitos por Myers (1978) utilizando misturas de madeiras de floresta tropical; Auchter (1973); Laundrie & McNatt (1975) utilizaram, para o mesmo fim, resíduos florestais urbanos, tais como: refugos domésticos, pallets usados, vagões de trem desmontados, galhos e tronco de olmo e papel (Krzysik et al., 1993), obtendo com eles bons resultados.

O processamento sofrido pela madeira faz com que a densidade influa de maneira antagônica nos produtos assim obtidos. Burger & Richter (1991) comentam que madeiras com diferentes densidades apresentam comportamento diferenciado frente à absorção de adesivo e estabilidade dimensional, por exemplo.

No caso de painéis aglomerados, Woodson (1976) comenta que muitas propriedades são influenciadas negativamente pela densidade da madeira e aglomerados fabricados com espécies de alta densidade são mais frágeis do que àqueles com peso equivalente manufaturados com espécies de baixa densidade.

Kelly (1977) comenta que a densidade da madeira é um fator crítico na escolha da espécie para utilização como fonte de matéria-prima na confecção de aglomerado. Segundo o autor, chapas fabricadas com madeiras de baixa densidade apresentam propriedades mecânicas superiores às confeccionadas com madeiras densas, sendo válido para produtos com mesma densidade final.

Entretanto, a densidade da madeira parece não afetar os painéis fabricados a partir de cavacos processados sob pressão; por esta razão, madeiras com densidade alta têm sido

utilizadas na manufatura de painéis de MDF, porém, segundo Woodson (1976), a relação entre a resistência do painel e a densidade da madeira ainda não foi totalmente explicada na literatura. O autor estudou a influência da densidade de 14 espécies de madeira nas propriedades de resistência, e concluiu que os aumentos de densidade, tamanho do cavaco e fibras, decrescem os módulos de elasticidade, de ruptura e a resistência à flexão de painéis de MDF. Estas tendências foram significativas para uma ampla faixa de densidade e diferentes espécies estudadas, entretanto, comenta ainda que, embora a densidade seja um fator significativo na evolução das propriedades citadas, outras características das espécies podem também ter influído.

A madeira de eucalipto, quando utilizada para fabricação de painéis de partículas aglomeradas, por exemplo, apresenta algumas dificuldades relacionadas, principalmente, com a colagem e com a adsorção excessiva de água, neste caso, influenciada pela densidade da madeira, já que madeiras mais densas tendem a inchar e contrair mais do que madeiras menos densas. Este comportamento foi observado por Del Menezzi et al. (1996) ao fabricarem painéis aglomerados com mistura de pinus e eucalipto.

Schmidt-Hellerau[3], citado por Haselein (1989), ao confeccionar chapas de partículas com adesivo à base de fenol-formaldeído e madeiras de eucalipto, carvalho e virola observou baixa resistência à tração perpendicular. Segundo o autor, esses valores foram baixos em razão, principalmente, do teor de extrativos. Chow (1976) comenta que a maioria dos extrativos da madeira são solúveis em água quente e são dissolvidos durante a refinação da madeira. Desta maneira, chapas produzidas com refinadores pressurizados podem resultar em baixa resistência à tração perpendicular devido a ausência dos extrativos.

Lacroix[4] citado por Haselein (1983) encontrou excelentes propriedades mecânicas para chapas produzidas a partir da madeira de *Eucalyptus globulus*. Entretanto, os painéis

---

[3] SCMIDT-HELLERAU, C. Improving the quality of particle board made with phenolic binders. **Holz-Zbl**, v.94,n.92,p.1328-38,1968.

[4] LACROIX, A. Manufacture of particle boards with four especies from Mediterranean countries. **Rapport d'Activité**, Station de Technologie Forestiere, Gembloux, p.81-121,1973(1974).

apresentaram tendência a inchar excessivamente sob a influência da umidade. A mistura de *Eucalyptus globulus* com *Pinus pinaster* produziu boas propriedades.

Segundo Haselein (1989) a adição de 1% de emulsão de parafina durante a manufatura de chapas de partículas, usando *Eucalyptus gomphocephala* e *Eucalyptus camaldulensis*, coladas com 8% de uréia-formaldeído, prensadas por 15 minutos a 140°C, demonstrou grande melhoria na repelência à água, em muitos casos, essencial para que as chapas atendessem aos padrões de absorção de água e inchamento.

Maloney (1991) comenta que a tecnologia para produção de MDF tem crescido grandemente nos últimos anos, isto demonstra que a mistura de espécies pode ser melhor contornada no MDF do que nas plantas de aglomerado. Entretanto, ainda há alguns problemas, particularmente na encolagem da matéria-prima, quando há diferenças químicas significantes entre a espécies. Uréia-formaldeído é ainda a resina de uso dominante, a interação química das espécies de madeira e esta resina é bem conhecida. O controle da qualidade da resina aplicada é fundamental para assegurar a qualidade do próprio MDF produzido.

O leque de variedade de tipos de materiais pode ser contornado na planta de MDF, estendendo-se desde polpa de cavacos finos preparados de madeira compensada até serragem. Porém, todos estes diferentes materiais podem ser utilizados em níveis apropriados para assegurar a qualidade da fibra, o total de mistura de material a ser introduzido deve ser inferior a 25% da polpa considerada como a melhor fibra. Outros materiais não lenhosos, tais como bagaço de cana-de-açúcar, por exemplo, permitem a produção de um excelente MDF (Mallari et al.,1995).

3.7. Adesivos

3.7.1. Influência de sua aplicação

A primeira evidência da utilização de adesivos em materiais lenhosos data de 3500 anos, quando a união da madeira possuía finalidade apenas decorativa. O aperfeiçoamento dos adesivos levou à utilização em painéis reconstituídos de madeira e aplicações estruturais.

No processo de fabricação do MDF, os componentes naturais da madeira não são suficientes para agregar as fibras, tornando necessário a adição de um elemento ligante à base de resina sintética termoplástica. Butterfield et al. (1992) ao fabricar painéis de MDF sem adição de resina sintética observou falhas de ligação entre fibras.

A união (ligação) depende de interações físicas e químicas entre o adesivo e a interface adesivo-madeira. Os adesivos realizam três fases distintas durante o processo de ligação; primeiramente, o adesivo deve umedecer o substrato madeira, fluir de maneira controlada durante a prensagem e finalmente adquirir forma sólida. Falhas em algumas destas etapas resulta em reduzida qualidade de colagem. A extensão do umedecimento depende da natureza físico-química do adesivo e da superfície da madeira. Solventes e polímeros de baixo peso molecular tendem a umedecer e penetrar mais rapidamente no substrato madeira. A adsorção e difusão destes líquidos na parede celular propiciam inchamento das substâncias lignocelulósicas da madeira. Ao contrario, adesivos de alto peso molecular podem umedecer e penetrar na madeira lentamente, resultando em acúmulo destes na superfície da madeira. Em adesivos sólidos há necessidade de um estágio intermediário de aquecimento, para fundição ou amolecimento do adesivo para umectação da superfície da madeira.

Uma ótima ligação requer íntimo contato entre o adesivo e o substrato madeira, isto é realizado usando pressão e aquecimento, o quê torna viscoso o adesivo, transferindo o fluxo através dos pontos de ligação, enquanto deforma a madeira para conseguir melhor contato entre a superfície da madeira.

Butterfield et al. (1992) comenta que durante a redução de espessura de um colchão de fibras há orientação das fibras, preferencialmente no sentido horizontal ao plano do painel, resultando em uma considerável pressão das fibras, uma sobre as outras, provocando um grande contato entre as paredes destas fibras e a resina. A alta temperatura necessária na prensagem, cura a resina e mantêm as fibras juntas.

Os ligantes mais utilizados nas indústrias de painéis reconstituídos são as resinas uréia-formaldeído (UF), fenol-formaldeído (FF) e melamina-formaldeído. A resina fenólica

confere ao painel maior resistência à umidade, porém, com custo mais elevado e a melamina-formaldeído é mais utilizada em acabamentos superficiais.

As resinas uréia-formaldeído e fenol-formaldeído têm sido utilizadas como ligantes em painéis reconstituídos de madeira desde a década de 30, as resinas melamina e melamina-uréia-formaldeído foram introduzidas a partir de 1940, com propriedades intermediárias entre as resinas UF e FF. Atualmente, cerca de 90% das fábricas utilizam resinas uréia-formaldeído (UF) na manufatura de painéis. Estes adesivos apresentam menor custo, reagem rapidamente durante a prensagem a quente, possuem coloração branca ou são incolores, entretanto, não são adequadas para usos exteriores.

Bücking (1982) comenta que a aplicação da resina é um dos pontos mais críticos na fabricação de painéis de MDF. Estes ligantes podem ser aplicados nas fibras ainda úmidas - por um sistema de imersão ou nebulização, ou nas fibras já secas, operação denominada de colagem em encoladeiras de tambor.

Para painéis reconstituídos, o ideal seria que a ação da resina ocorresse apenas entre os pontos de contato das superfícies das fibras ou partículas (Albritton et al., 1976; Robson, 1991), porém, esta situação é inatingível. Na prática, usa-se o artifício de atomização da resina a fim de garantir um filme contínuo ao redor da partícula (Albritton et al., 1976; Marian, 1958; Robson, 1991).

A aplicação de adesivo, particularmente para fabricação de painéis de MDF é muito importante (Gran, 1982), sendo por nebulização a mais adequada, pois favorece à formação de uma fina camada de resina ao redor da superfície da fibra.

Segundo Albritton et al. (1976), define-se a "eficiência da resina" como sendo um parâmetro que relaciona o nível de resina aplicado (a mínima quantia) com o ótimo desempenho das propriedades físicas. O autor concluiu que há relação entre o teor de resina nos painéis e algumas de suas propriedades físicas, tais como: módulo de ruptura, módulo de elasticidade e resistência à tração perpendicular. Já as propriedades de absorção de água e inchamento, apresentam relação linear negativa com o teor de resina.

Chow & Zhao (1992) ao estudarem a adequação de misturas de madeiras (70% hardwoods e 30% softwoods) na fabricação de MDF, consideraram a influência de diferentes níveis de resina fenol-formaldeído, variáveis de processo, tais como umidade do colchão de fibras e temperatura de prensagem. Concluiram que estes três parâmetros influenciam na resistência à flexão estática, resistência à tração perpendicular, expansão linear, absorção de água e inchamento dos painéis. Os autores observaram, entretanto, que o efeito da temperatura de prensagem não foi significativa na resistência à flexão estática e que o teor de umidade do colchão de fibras e o teor de resina não influenciaram na expansão linear dos painéis.

3.7.2. Tipos de adesivos

Os adesivos podem ser classificados de várias maneiras, sendo as mais freqüentes relacionadas com a origem dos componentes primários, resistência à umidade e temperatura de cura.

O amido, caseína, albumina são exemplos de adesivos classificados como de origem natural. A uréia, resorcinol, fenol, melamina pertencem ao grupos dos adesivos de origem sintética. Adesivos à prova d'água, resistentes à umidade e não resistentes à umidade pertencem a classificação quanto à resistência à umidade. A temperatura de cura é outro parâmetro utilizado para classificar os adesivos, quando a cura ocorre à temperatura acima de 90 °C, os adesivos são classificados como de alta temperatura de cura, quando ocorre ente 30 e 90 °C, os adesivos são de média e quando a cura se dá à temperatura inferior a 30 °C, os adesivos são denominados como de baixa temperatura de cura.

3.7.2.1. Adesivos uréia-formaldeído

Os adesivos uréia-formaldeído (UF) são os mais utilizados na fabricação de aglomerados, compensados e painéis de média densidade, por possuírem custo inferior em relação aos demais adesivos. Em função da larga utilização destes adesivos, houve um avanço tecnológico quanto ao seu processo de fabricação. Atualmente, o custo da resina e o tempo de cura são cerca de 50% inferiores ao das resinas utilizadas em 1960. Além disso, a

elevada velocidade de cura, coloração clara e serem quimicamente inertes em relação à madeira, são fatores que contribuem na sua aplicação. A linha de colagem dos painéis quando aderidos com este produto é praticamente incolor, possuindo efeito moderado de desgaste nas ferramentas de corte.

As resinas uréia-formaldeído são obtidas a partir da reação química entre uréia e formol, e a velocidade da reação entre os reagentes é influenciada pelo pH durante as etapas da polimerização, pela relação molar uréia : formaldeído, concentração dos diferentes componentes durante a polimerização, temperatura e tempo de polimerização.

Podem ser adicionados à formulação aditivos, como catalisadores, extensores ou cargas inertes de maneira a se obter propriedades, como flexibilidade, incremento de resistência à umidade etc. A farinha de cereais é o extensor mais utilizado, sua função na formulação é flexibilizar a linha de colagem, controlar a penetração da cola na madeira e baratear o custo final. Porém, sua utilização reduz sensivelmente a resistência à água e à umidade, principalmente quando empregado acima de 25% em relação a resina, além de tornar susceptível o ataque de microorganismos à linha de colagem.

A adição de água à formulação é normalmente utilizada como regulador da viscosidade da resina, contribuindo também na redução de custo do produto. Entretanto, a utilização em quantidade excessiva de água e farinha pode retardar a velocidade de cura da resina, sendo necessário a incorporação de endurecedores ou catalisadores.

O catalisador é o responsável pelo abaixamento do pH da resina de aproximadamente 7,0 para 4,0, provocando a cura. Os catalisadores podem ser classificados como catalisadores para prensagem a quente e para prensagem a frio. O primeiro apresenta vida útil mais longa (3 h em média), com ciclos de prensagem mais curtos. O de catálise a frio possui vida útil de aproximadamente 1,5 h e ciclos de prensagem que variam de 6 a 8 h.

Para a fabricação de MDF é usual a aditivação da resina UF com sulfato de amônio, que tem a função de catalisar a polimerização (cura) da resina. A parafina fundida também é usada como aditivo, com o objetivo de desmoldar os painéis no interior dos equipamentos,

além de fornecer incremento quanto a superfície do produto e resistência à absorção de água.

O conteúdo de formaldeído presente na resina determina sua reatividade, assim a velocidade de cura é expressa pelo "tempo de gel".

Durante a prensagem de painéis com resina UF e sua utilização pode haver liberação de formaldeído para o meio ambiente, proveniente da resina, cuja proporção é função de fatores exógenos tais como: umidade do ar, temperatura e variações climáticas; e fatores endógenos, como tipo de madeira, tipo de resina empregada e condições de fabricação.

Existem diversas metodologias utilizadas para a determinação do formaldeído liberado, sendo o método PERFURATOR (EN 120) o mais conhecido. A análise consta da extração, com tolueno, do formaldeído contido em um corpo de prova, a solução aquosa obtida é quantificada por iodometria.

A literatura médica comenta que o formaldeído é cancerígeno quando em contato por tempo prolongado, irritante ao trato respiratório e à pele. As leis de regulamentação de emissão desta substância têm se tornado mais rigorosas, na Alemanha, por exemplo, no início da década de 80 o valor permitido era de 10 mg HCHO/100 g de chapa, a partir de 1992, o valor permissível decresceu para 6,5 mg HCHO/100 g de chapa.

3.7.2.2. Resina fenol-formaldeído

Estas resinas são normalmente líquidos avermelhados em tonalidade escura, requerendo temperatura de prensagem, para cura, igual ou superior a 140°C. São sintetizados a partir da reação de condensação entre o formaldeído e o fenol. As formulações podem ser diversificadas em função do processo de colagem a ser utilizado e do tipo de produto a ser obtido.

A principal característica que esta resina proporciona ao produto é a resistência à água, sendo muito utilizado em artefatos náuticos.

3.7.2.3. Resina melamínica

Estes adesivos são muito utilizados na fabricação de vigas laminadas e em produtos que requeiram ligações do tipo "finger joint". Uma de suas principais características é fornecer resistência a intemperismos.

Em compensados, estes adesivos muitas vezes está associado com resinas uréia-formaldeído na proporção de aproximadamente 1:1, principalmente em compensados de folhosas, devido sua transparência, durabilidade em relação às resinas uréicas e redução de custo.

3.7.2.4. Resina polivinilica

O maior representante desta categoria de adesivos é o acetato de polivinila (PVA), obtido a partir do acetileno e ácido acético em presença de catalisador. Estes adesivos são adequados para materiais fibrosos como papel e madeira, porém sua utilização em painéis é limitada em função das características de baixa resistência à água.

3.7.2.5. Resina "Hot Melt"

Estes adesivos fusíveis a quente podem incluir em sua formulação polímeros, tais como copolímeros de vinil-acetato de etila, poliamidas, poliolefinas e poliesteres. São fornecidos em estado sólido, na forma de pequenos bastões ou grânulos, que sob ação de calor tornam-se fluidos para aplicação à superfície a ser colada.
Estes adesivos são resistentes à umidade e produzem linhas de colagem elástica. São muito utilizado para fixação de fitas de bordas em painéis e aplicações de lâminas decorativas em aglomerado e outros tipos de painéis.

CAPÍTULO 4
MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Materiais

4.1.1. Madeira de eucalipto

Eucalyptus grandis W. HILL ex MAIDEN, proveniente da quadra 15 da Fazenda Horto Tafarello, situada no município de Jarinú, SP, de propriedade da Duratex S.A., com 20 dias de corte, 6 anos e 4 meses de idade.

Optou-se por esta espécie de eucalipto pois ela tem se mostrado de boa qualidade tanto no segmento de celulose e papel quanto no de chapas de fibras.

4.1.2. Madeira de pinus

Pinus caribaea var. *hondurensis*, proveniente da quadra 20A da Fazenda Monte Alegre, situada no município de Agudos, SP, de propriedade da Duratex S.A., com 21 anos de idade e 20 dias de abate, tendo sofrido 5 desbastes.

O fato deste pinus ser de região tropical ajudou na escolha do tipo de conífera a ser usada na realização deste trabalho.

4.1.3. Resina uréia-formaldeído

Resina Uréia-Formaldeído (RUF) a 66,3% de sólidos fabricada nos laboratórios da Duratex S.A., com as características descritas na tabela 13.

TABELA 13: Características da resina uréia-formaldeído

CARACTERÍSTICAS DA RESINA UF	
Viscosidade (25° C)	224 cP
pH (25° C)	9,6
Gel Time (98° C)	59 s
Teor de Sólidos	66,3 %

4.1.4. Emulsão de parafina

Emulsão de parafina comercial com 62% de sólidos.

4.1.5. Picador industrial (Chipper)

Chipper industrial Marca MWM de propriedade da Duratex S.A., instalado na fábrica de Jundiaí, SP, composto de 6 facas, 2 contra-facas e um suporte para contra-faca, com potência de 280 KW e 450 rpm, com capacidade nominal de 90 m^3 madeira/h.

4.1.6. Refinador

Refinador industrial fabricado pela Sunds Defibrator, modelo LVPL, colocado em operação em 1963, de propriedade da Duratex S.A., instalado na fábrica de Jundiaí, SP. Este equipamento possui discos com 8 setores, também fornecido pela Sunds Defibrator, com diâmetro externo de 900 mm e interno de 340.

4.1.7. Encoladeira de laboratório

Equipamento de laboratório construído pela Duratex, fábrica de Itapetininga, SP, baseado em modelos de encoladeiras industriais. Consta de um tambor de 800 mm de comprimento, com 715 mm de diâmetro com abertura na região central, divido em dois compartimentos de 380 mm cada um. Na região central há um eixo com 4 pás de 315 mm de extensão cada, movidas por um motor elétrico WEG modelo 90F, utilizadas para homogeneização do material. Em cada compartimento existe uma janela, disposta ao fundo, para retirada de

material. Em um dos compartimentos, ao invés de possuir uma tampa como no outro, existe uma peneira com malha de 1/2" (12,7 mm) , para separação dos grumos que eventualmente possam ser formados durante a encolagem.

4.1.8. Formadora de laboratório

Consta de uma caixa de madeira, sem fundo, com tampa introduzível e dimensão interna de 360 mm x 360 mm, conforme ilustra a figura 6.

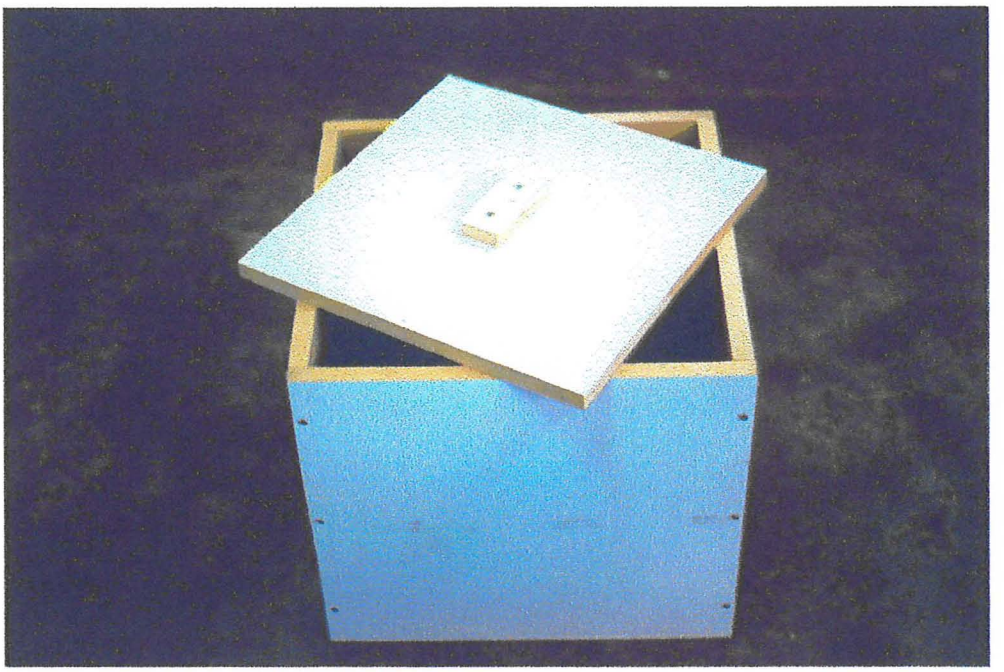


FIGURA 6: Formadora de laboratório

4.1.9. Prensa de laboratório

Prensa de laboratório marca SIRMA com aquecimento elétrico, ajuste independente de temperatura nos pratos, controle de pressão aplicada e com capacidade de programação de diferentes condições de prensagem. A figura 7 ilustra o equipamento utilizado.

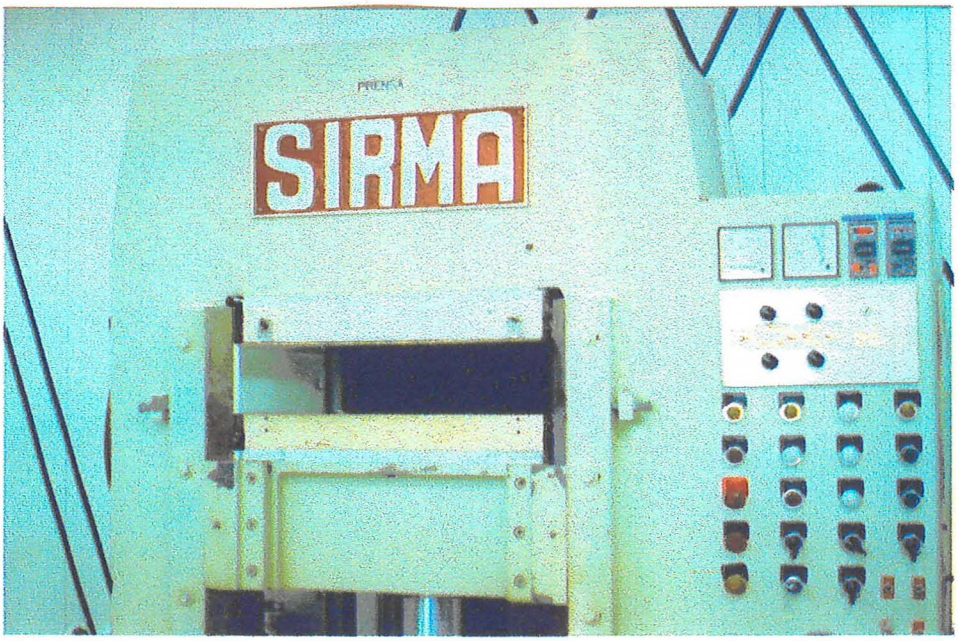


FIGURA 7: Prensa de laboratório

4.1.10.Câmara de climatização de laboratório

Marca HERAEUS VÖTSCH GmbH modelo VTRK 500, com ajuste de umidade relativa e temperatura programável entre 10 °C e 90 °C.

4.1.11. Estufa

Estufa de laboratório marca FABBE-PRIMAR, com ar circulante e aquecimento até 300°C.

4.1.12. Balança eletrônica digital

A balança eletrônica semi-analítica marca ACATEC modelo BEC 1000.

4.1.13. Espessurômetro

Espessurômetro marca KÄFER com precisão de 0,1 mm e escala de 0 - 30 mm.

4.1.14. Classificador de cavacos

Classificador de cavacos marca PRODUTEST, com peneiras marca GRANUTEST de 25,4 mm (1"); 19,1 mm (3/4") ; 15,9 mm (5/8"); 12,7 mm (1/2"); 9,52 mm (3/8"); 6,35 mm (1/4") e 4,76 mm (3/16").

4.1.15. Classificador de fibras

Classificador de fibras marca BAUER-Mc NETT modelo 203-C, com peneiras de 20; 35; 65 e 150 mesh, da mesma marca.

4.1.16. Máquina de ensaio universal

Equipamento de ensaios universal marca EMIC, ilustrado na figura 8, com controle de velocidade para tracionamento e compressão.

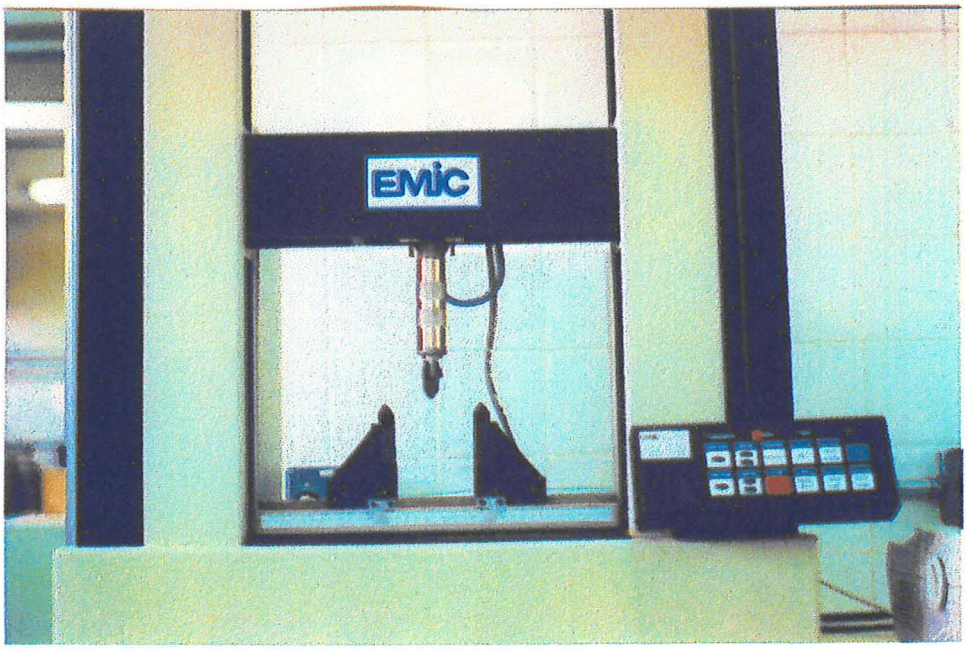


FIGURA 8: Máquina de ensaio universal

4.1.17. Célula de carga

Célula de carga de 2000 kgf , marca EMIC, calibrada e aferida para execução dos ensaios de tração e compressão.

4.1.18. Banheira termostática

Banheira Termostática marca HETOFRIG com regulagem de temperatura da água.

4.1.19. Serra

Serra circular de laboratório marca Cimfer.

4.2. Métodos

4.2.1. Preparação dos cavacos

A madeira descrita em 4.1.1. e 4.1.2. foi transformada em cavacos por picagem em picador industrial, descrito em 4.1.5., onde as duas espécies de madeira foram preparadas de maneira idêntica e consecutiva, a fim de evitar interferência do desgaste das ferramentas de corte do picador.

4.2.2. Preparação da resina

Um reator de laboratório, com refluxo, foi carregado com formol, na relação 2 : 1 de formol, uréia. Após iniciada a agitação foi adicionado 3,4 Kg de hidróxido de sódio a 50 % para elevação do pH entre 8 a 9. A uréia foi então adicionada e o sistema aquecido.

Posteriormente foi adicionado aproximadamente 5,5 Kg de ácido acético glacial sendo o pH abaixado para 5,0. O sistema foi deixado em refluxo para início da fase de condensação. Esta fase foi interrompida e foi adicionado 7,8 Kg de hidróxido de sódio a 50 % para aumento do pH. Quando a temperatura atingiu 75° C foi adicionado mais uréia e quando em 80° C, 2,3 Kg de ácido acético glacial foi misturado ao sistema, iniciando a fase ácida da preparação. Quando a viscosidade atingiu a faixa esperada foi adicionado cerca de 6 Kg de hidróxido de sódio a 50 %, para elevação do pH a 8,5 - 9,0.

4.2.3. Preparação da matéria-prima

4.2.3.1. Preparação das fibras

Os cavacos de pinus e eucalipto descritos em 4.2.1., foram transformados em fibras em um refinador industrial LVPL da Sunds Defibrator, descrito em 4.1.6., sendo o processamento em separado e em consecutivo. O material sofreu a ação de 9 kgf/cm^2 de pressão por 4 minutos antes da refinação, a fim de que ocorresse o amolecimento do cavaco e facilitasse a ação mecânica dos discos de desfibramento, separando assim as fibras/traqueídeos da madeira. As fibras produzidas foram direcionadas a uma tubulação para coleta do material em sacos plásticos.

4.2.3.2. Secagem das fibras

As fibras coletadas na saída do refinador foram dispostas para secagem ao ar até atingirem umidade de aproximadamente 20% base seca, posteriormente foram secas em estufa, descrita em 4.1.11., até umidade de 7% na mesma base.

4.2.3.3. Condicionamento das fibras

As fibras a 7% de umidade base seca, foram condicionadas em material plástico hermético, até a utilização na preparação das chapas.

4.2.3.4. Mistura das fibras

As fibras de *E. grandis* e *P. caribaea* var. *hondurensis* secas a 7% de umidade base seca, foram misturadas gravimetricamente nas proporções estabelecidas conforme delineamento experimental apresentado no item 4.2.7.

4.2.3.5. Encolagem das fibras e adição de emulsão de parafina

Imediatamente antes da encolagem, a resina UF, descrita em 4.1.3., foi pesada no percentual estabelecido em 4.2.7., sendo misturado com 1% de emulsão de parafina, descrita em 4.1.4.. Ambos produtos foram dosados em função do seu teor de sólidos e da massa seca das fibras. As fibras foram encoladas na encoladeira de laboratório descrita no item 4.1.7., por aspersão dos produtos com o equipamento em movimento, a fim de resultar em uma boa cobertura das fibras com o adesivo.

4.2.3.6. Dissolução dos grumos

Os grumos formados durante a encolagem foram desmanchados por passagem do material fibra mais adesivo pelo compartimento da encoladeira em que há uma peneira de malha de 12,7 mm (1/2"). A movimentação das pás comprime as fibras encoladas sob a peneira forçando o desmanche dos grumos. O material livre de grumos foi coletado em um caixote disposto sob a encoladeira.

4.2.3.7. Pesagem das fibras

Para fabricação de uma chapa foi pesada 650 g de massa de fibras encoladas, preparadas conforme 4.2.3.6.

4.2.4. Preparação das chapas

4.2.4.1. Formação do colchão

As fibras pesadas conforme 4.2.3.7., foram dispostas manualmente na formadora, descrita em 4.1.8., a qual estava apoiada sobre uma chapa de alumínio, cuja função era sustentar e transportar o colchão de fibras até a prensa. Após o acomodamento do material fibra mais adesivo a tampa foi pressionada dentro da caixa e mantida pressionada sobre o colchão de fibras, sendo a estrutura da caixa retirada cuidadosamente para não danificar o colchão.

O colchão formado apresentava dimensões de 360 mm x 360 mm com espessura de aproximadamente 120 mm, conforme ilustrado na figura 9.

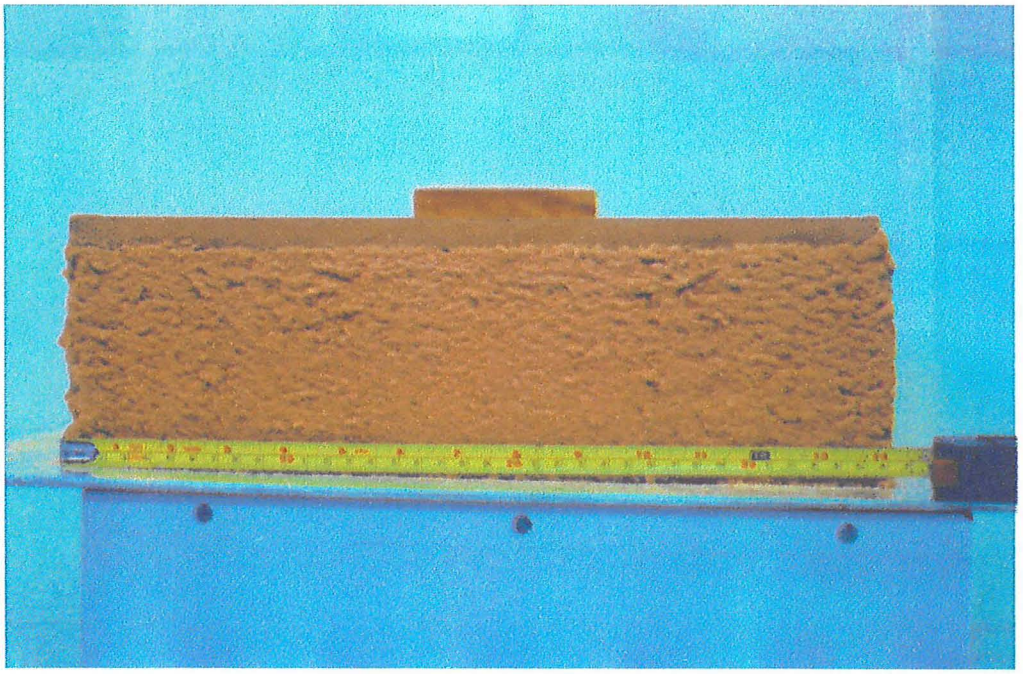


FIGURA 9: Colchão de fibras

4.2.4.2. Pré-prensagem das chapas

O colchão de fibras formado em 4.2.4.1., foi prensado na prensa de laboratório SIRMA, descrita em 4.1.9., por 40s, a uma pressão de 16 kgf/cm^2 para acomodação das fibras e redução da espessura para aproximadamente 80 mm, conforme pode ser vislumbrado na figura 10.

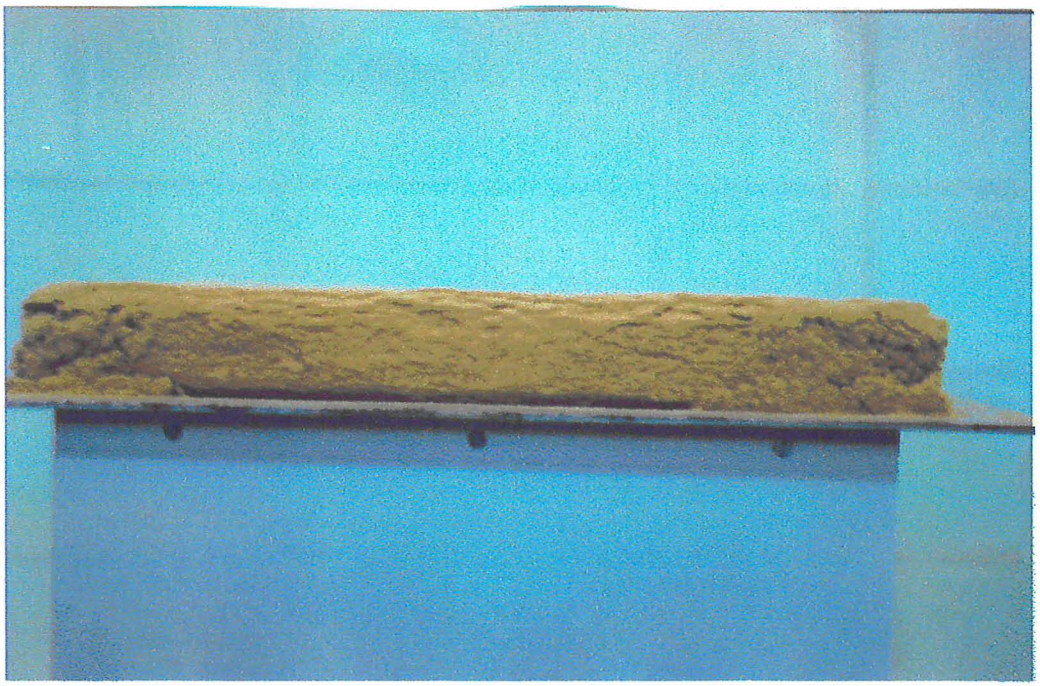


FIGURA 10: Colchão de fibras após pré-prensagem

4.2.4.3. Prensagem das chapas

Após a pré-prensagem, o colchão de fibras foi prensado na prensa de laboratório, descrita em 4.1.9.. O conjunto das condições temperatura (°C), pressão (kgf/cm^2) e tempo (s) é denominado "Ciclo de Prensagem"; o utilizado neste trabalho se baseou em ciclos de

fábricas de MDF com prensas contínuas, adaptado para prensa de laboratório, após testes exploratórios de desempenho.

O ciclo é composto de cinco patamares de pressão, sendo o primeiro patamar (P_1) de 50 Kgf/cm^2, o segundo (P_2) de 40 Kgf/cm^2, o terceiro (P_3) de 30 Kgf/cm^2, o quarto (P_4) de 20 Kgf/cm^2 e o quinto (P_5) de 15 Kgf/cm^2. Em cada um destes patamares, há aplicação de pressão por um tempo pré determinado. Para fechamento dos pratos da prensa e para atingir o primeiro patamar de pressão 50 Kgf/cm^2 , são gastos 5 segundos, permanecendo neste estágio por apenas 2 segundos, a pressão decresce para 40 Kgf/cm^2 atingindo o segundo patamar de pressão (P_2) em 3 segundos e permanece nesta pressão por 7 s. O próximo patamar a ser atingido é de 30 Kgf/cm^2 permanecendo por 7 segundos. A troca de estágio, para 20 Kgf/cm^2, leva 3 s para ser atingida onde permanece 5 s. A pressão final de 15 Kgf/cm^2 é atingida passados 3 s, permanecendo por 20 s, passado este tempo, em 3 s a prensa se abre, totalizando um ciclo de prensagem de 61 s.

Um dos objetivos do trabalho era avaliar a influência dos níveis de resina uréia-formaldeído utilizado, para isto não poderia haver interferência da variável densidade da chapa, pois sabe-se que a resistência mecânica das chapas é diretamente proporcional a sua densidade. Para evitar que durante a aplicação de pressão, o colchão fosse compactado até uma valor máximo, foi utilizado o artificio de instalação de limitadores na prensa. Foi utilizado chapas de fibras com densidade alta, com espessura de 6,0 mm, de maneira que, durante a prensagem, o espaço entre os pratos da prensa estivessem limitados a 6,0 mm, produzindo assim chapas de MDF, com densidade e espessura muito próximas uma das outras.

A figura 11 ilustra o ciclo de prensagem praticado para fabricação do MDF.

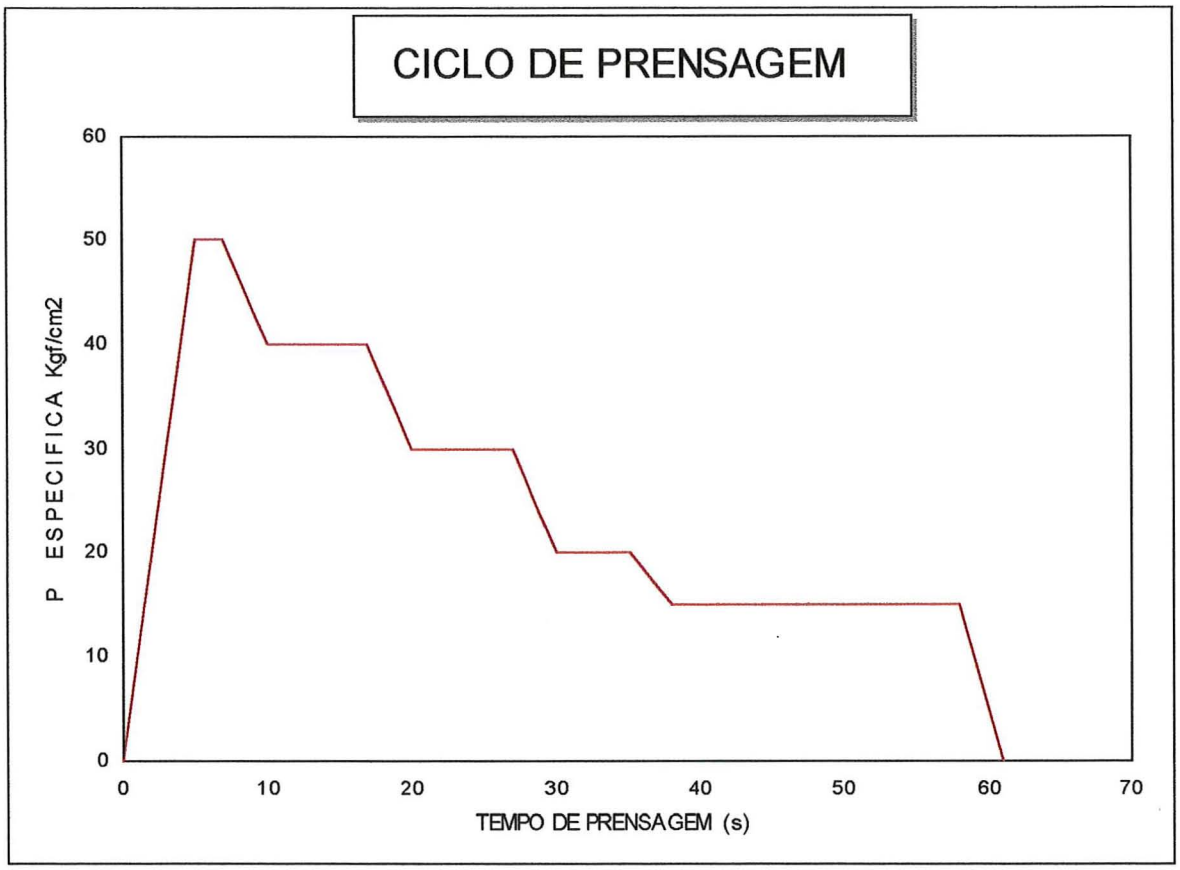


FIGURA 11: Ciclo de prensagem do MDF

4.2.5. Corte das chapas

As chapas foram serradas no equipamento descrito em 4.1.19., nas dimensões estabelecidas nos métodos de ensaios.

4.2.6. Climatização das chapas

Os corpos de prova foram condicionados a peso constante em câmara de climatização citada em 4.1.10. com umidade relativa de 65 ± 5 % e temperatura de 20 ± 2°C. Segundo a norma EN, é considerado peso constante quando os resultados de duas pesagens sucessivas, feitas em um intervalo de 24 h cada, não diferirem mais que 0,1% da massa do corpo de prova.

4.2.7. Delineamento experimental

O estudo está baseado no método estatístico fatorial 5 x 3, com três repetições, que contempla produzir chapas de MDF com 5 níveis de misturas de espécies de madeira e 3 níveis de dosagem de adesivo uréia formaldeído, a fim de obter-se um produto com densidade e espessura próximos de 0,82 g/cm^3 e 5,4 mm, respectivamente, com qualidade tecnológica aceitável.

As variáveis e níveis estão descritas na tabela 14, a ordem de execução das condições experimentais estão na tabela 15 e o modelo estatístico da análise de variação encontra-se na tabela 16.

TABELA 14: Variáveis estudadas no delineamento experimental

Matéria-Prima	100% *E. grandis* : 0% *P. caribaea hondurensis*
	70% *E. grandis* : 30% *P. caribaea hondurensis*
	50% *E. grandis* : 50% *P. caribaea hondurensis*
	30% *E. grandis* : 70% *P. caribaea hondurensis*
	0% *E. grandis* : 100% *P. caribaea hondurensis*
Resina Uréia-formaldeído	8 %
	10 %
	12 %

TABELA 15: Ordem de execução das condições experimentais

CONDIÇÃO	REP. 1 (Amostra)	REP. 2 (Amostra)	REP. 3 (Amostra)
100% Eucalipto : 0% Pinus 8%	1	18	35
100% Eucalipto : 0% Pinus 10%	13	17	39
100% Eucalipto : 0% Pinus 12%	3	25	36
70% Eucalipto : 30% Pinus 8%	6	29	40
70% Eucalipto : 30% Pinus 10%	7	30	31
70% Eucalipto : 30% Pinus 12%	12	19	43
50% Eucalipto : 50% Pinus 8%	14	26	34
50% Eucalipto : 50% Pinus 10%	11	21	44
50% Eucalipto : 50% Pinus 12%	10	20	42
30% Eucalipto : 70% Pinus 8%	2	22	37
30% Eucalipto : 70% Pinus 10%	15	24	33
30% Eucalipto : 70% Pinus 12%	4	27	41
0% Eucalipto : 100% Pinus 8%	9	16	38
0% Eucalipto : 100% Pinus 10%	5	23	45
0% Eucalipto : 100% Pinus 12%	8	28	32

TABELA 16: Modelo estatístico da análise de variança

FONTE DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Efeito da Matéria-Prima (M)	4			
Efeito da dosagem de resina UF (R)	2			
Interação M x R	8			
TRATAMENTOS	14			
BLOCOS	2			
RESTO	28			
TOTAL	44			

O anexo A consta da análise estatística efetuada com os níveis de significância de 5% para as variáveis estudadas, interações e equações matemáticas.

4.3. Avaliações

4.3.1. Cavacos

Os cavacos foram classificados em Classificador de Cavacos marca PRODUTEST com as peneiras de 25,4 mm (1"); 19,1 mm (3/4"); 15,9 mm (5/8"); 12,7 mm (1/2"); 9,52 mm (3/8"); 6,35 mm (1/4") e 4,76 mm (3/16"), conforme metodologia TAPPI 16.

4.3.2. Fibras

As fibras preparadas por refinação foram analisadas segundo metodologia TAPPI 233 - Classificação de Fibras Bauer McNett.

4.3.3. Painéis

4.3.3.1.Resistência mecânica

4.3.3.1.1. Resistência à tração perpendicular ao plano

Os painéis fabricados foram analisados quanto a resistência à tração perpendicular ao plano segundo a EN 319.

4.3.3.1.2. Resistência à flexão estática

Os painéis confeccionados foram analisados quanto a resistência à flexão estática segundo a EN 310.

4.3.3.1.3. Módulo de elasticidade estático

Os painéis confeccionados foram analisados quanto ao módulo de elasticidade estático segundo a EN 310.

4.3.3.2. Inchamento de espessura

Os painéis foram analisados quanto ao inchamento de espessura segundo a norma EN 317.

4.3.3.3. Densidade

Os painéis foram analisados quanto a densidade segundo a norma EN 323.

CAPÍTULO 5
RESULTADOS

5.1. Característica dos cavacos

Os cavacos após processados foram classificados segundo metodologia da TAPPI 16, onde os resultados do percentual retido em cada peneira são apresentados na tabela 17, para madeira de eucalipto e na tabela 18 para pinus.

TABELA 17 : Percentual de cavacos de eucalipto retidos nas peneiras de classificação de cavacos

	Eucalipto Retido em %				
PENEIRA (mm)	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Rep. 4	Rep. 5
25,4	6,78	7,30	4,99	11,94	1,73
19,1	21,32	14,59	17,84	14,12	15,97
15,9	18,77	20,34	14,62	20,65	16,65
12,7	20,13	17,69	14,93	19,47	22,78
9,52	14,96	15,96	21,38	15,83	16,26
6,35	14,71	19,74	20,36	14,49	20,51
4,76	1,77	2,42	3,32	2,27	2,97
Coletor	1,53	1,94	2,55	1,24	3,12

TABELA 18: Percentual de cavacos de pinus retidos nas peneiras de classificação de cavacos.

	Pinus Retido em %				
PENEIRA (mm)	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Rep. 4	Rep. 5
25,4	2,29	6,25	6,15	2,66	1,04
19,1	8,78	8,37	18,15	10,27	7,81
15,9	16,90	12,30	15,29	15,54	17,13
12,7	23,29	21,09	19,87	23,62	25,10
9,52	19,13	21,23	17,42	21,75	20,99
6,35	22,55	25,83	17,18	20,21	20,85
4,76	4,08	4,42	3,05	3,37	3,55
Coletor	2,99	0,50	2,88	2,57	3,54

A tabela 19 apresenta as médias, desvio padrão e coeficiente de variação do percentual retido nas peneiras de classificação de cavacos, das madeiras de eucalipto e pinus utilizadas para fabricação dos painéis de MDF.

TABELA 19: Médias, desvio padrão e coeficiente de variação dos cavacos retidos nas peneiras de classificação de cavacos.

	Eucalipto (% Retido)			Pinus (% Retido)		
PENEIRA (mm)	X	s	CV	X	s	CV
25,4	6,55	3,72	56,8	3,68	2,38	64,7
19,1	16,77	2,93	17,5	10,68	4,28	40,1
15,9	18,21	2,55	14,0	15,43	1,93	12,5
12,7	19,00	2,92	15,4	22,60	2,09	9,2
9,52	16,88	2,56	15,2	20,10	1,80	9,0
6,35	17,96	3,08	17,1	21,32	3,18	14,9
4,76	2,55	0,61	23,9	3,70	0,55	14,9
Coletor	2,08	0,76	36,5	2,49	1,17	47,0

5.2. Característica das fibras

A madeira refinada foi analisada segundo a metodologia TAPPI 233 Standard, onde os resultados de classificação das fibras de eucalipto e pinus constam nas tabelas 20 e 21, respectivamente.

TABELA 20: Classificação de fibras segundo metodologia Bauer-McNett para polpa de eucalipto

CLASSIFICAÇÃO DE FIBRAS - POLPA DE EUCALIPTO (%)						
PENEIRA (mesh)	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	X	s	CV
20	13,23	13,39	14,31	**13,64**	0,58	4,2
35	21,38	22,93	24,16	**22,82**	1,34	3,7
65	34,80	36,42	37,46	**36,23**	1,34	3,7
150	17,26	17,05	17,66	**17,32**	0,31	1,8
< 150	13,33	10,21	6,39	**9,98**	3,47	34,8

TABELA 21: Classificação de fibras segundo metodologia Bauer-McNett para polpa de pinus

CLASSIFICAÇÃO DE FIBRAS - POLPA DE PINUS (%)						
PENEIRA (mesh)	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	X	s	CV
20	43,81	39,19	44,79	**42,60**	2,99	7,0
35	29,06	26,73	28,71	**28,17**	1,26	4,1
65	12,05	10,65	11,75	**11,48**	0,74	6,4
150	7,53	6,71	6,87	**7,04**	0,43	6,1
< 150	7,53	16,72	7,87	**10,71**	5,21	48,6

5.3. Resistência mecânica dos painéis

5.3.1. Resistência à tração perpendicular ao plano

Os painéis fabricados com diferentes percentuais de resina e mistura de fibras foram analisados quanto a resistência à tração perpendicular ao plano, segundo a norma EN 319, sendo os resultados apresentados nas tabelas 22, 23, 24, 25, 26 e 27.

TABELA 22: Resultados de resistência à tração perpendicular ao plano (N/mm^2) em painéis de MDF fabricados com 100% de madeira de eucalipto.

AMOSTRA	RESINA UF (%)	FORÇA MÁXIMA (N)	TRAÇÃO PERPENDICULAR (N/mm^2)
1		9,74	0,390
18	8	11,82	0,473
35		12,65	0,506
$X_{médio}$		**11,40**	**0,456**
13		16,83	0,673
17	10	18,84	0,754
39		20,00	0,800
$X_{médio}$		**18,56**	**0,742**
3		29,92	1,197
25	12	27,27	1,091
36		27,83	1,114
$X_{médio}$		**28,34**	**1,134**

TABELA 23: Resultados de resistência à tração perpendicular ao plano (N/mm^2) em painéis de MDF fabricados com 70% de eucalipto e 30% de pinus.

AMOSTRA	RESINA UF (%)	FORÇA MÁXIMA (N)	TRAÇÃO PERPENDICULAR (N/mm^2)
6		10,96	0,438
29	8	7,48	0,299
40		7,43	0,297
$X_{médio}$		**8,62**	**0,345**
7		16,19	0,647
30	10	16,67	0,667
31		17,35	0,694
$X_{médio}$		**16,74**	**0,669**
12		13,44	0,538
19	12	17,96	0,718
43		15,76	0,631
$X_{médio}$		**15,72**	**0,629**

TABELA 24: Resultados de resistência à tração perpendicular ao plano (N/mm^2) em painéis de MDF fabricados com 50% de eucalipto e 50% de pinus.

AMOSTRA	RESINA UF (%)	FORÇA MÁXIMA (N)	TRAÇÃO PERPENDICULAR (N/mm^2)
14		12,61	0,504
26	8	13,59	0,544
34		15,22	0,609
$X_{médio}$		**13,81**	**0,552**
11		18,53	0,741
21	10	22,53	0,901
44		15,48	0,619
$X_{médio}$		**18,85**	**0,754**
10		29,40	1,176
20	12	27,86	1,115
42		17,37	0,695
$X_{médio}$		**24,88**	**0,995**

TABELA 25: Resultados de resistência à tração perpendicular ao plano (N/mm^2) em painéis de MDF fabricados com 30% de eucalipto e 70% de pinus.

AMOSTRA	RESINA UF (%)	FORÇA MÁXIMA (N)	TRAÇÃO PERPENDICULAR (N/mm^2)
2		17,33	0,693
22	8	10,31	0,413
37		10,78	0,431
$X_{médio}$		**12,81**	**0,512**
15		20,75	0,830
24	10	20,53	0,821
33		7,89	0,316
$X_{médio}$		**16,39**	**0,656**
4		29,24	1,170
27	12	30,79	1,231
41		9,43	0,377
$X_{médio}$		**23,15**	**0,926**

TABELA 26: Resultados de resistência à tração perpendicular ao plano (N/mm^2) em painéis de MDF fabricados com 100% de madeira de pinus.

AMOSTRA	RESINA UF (%)	FORÇA MÁXIMA (N)	TRAÇÃO PERPENDICULAR (N/mm^2)
9		15,28	0,611
16	8	15,15	0,606
38		13,49	0,540
$X_{médio}$		**14,64**	**0,586**
5		20,62	0,825
23	10	18,59	0,743
45		19,99	0,800
$X_{médio}$		**19,73**	**0,789**
8		25,07	1,003
28	12	33,42	1,336
32		26,65	1,066
$X_{médio}$		**28,38**	**1,135**

TABELA 27: Resultados de resistência à tração perpendicular ao plano (N/mm^2) em painéis de MDF com 8, 10 e 12 % de RUF e diferentes misturas de fibras de eucalipto e pinus.

% RESINA	MATÉRIA-PRIMA	100% EUCALIP.	70% EUCALIP. 30% PINUS	50% EUCALIP. 50% PINUS	30% EUCALIP. 70% PINUS	100% PINUS
8	x	0,456	0,345	0,552	0,512	0,586
	s	0,06	0,08	0,05	0,16	0,04
	CV	13,1	23,2	9,0	31,2	6,8
10	x	0,742	0,669	0,754	0,656	0,789
	s	0,06	0,02	0,14	0,29	0,04
	CV	8,1	3,0	18,6	44,2	5,1
12	x	1,134	0,629	0,995	0,926	1,135
	s	0,05	0,09	0,26	0,48	0,18
	CV	4,4	14,3	26,1	51,8	15,8

5.3.2. Resistência à flexão estática

Os painéis de MDF foram analisados quanto a resistência à flexão estática segundo a norma EN 310 e são apresentadas nas tabelas 28, 29, 30, 31, 32 e 33.

TABELA 28: Resultados de resistência à flexão estática (N/mm^2) em painéis de MDF fabricados com 100% de madeira de eucalipto.

AMOSTRA	RESINA UF (%)	FORÇA MÁXIMA (N)	RESISTÊNCIA A FLEXÃO ESTÁTICA (N/mm^2)
1		2,86	29,03
18	8	2,67	27,42
35		3,39	35,08
$X_{médio}$		**2,97**	**30,51**
13		3,26	34,76
17	10	2,88	29,92
39		3,18	34,06
$X_{médio}$		**3,11**	**32,91**
3		4,17	47,59
25	12	3,80	44,07
36		4,04	45,88
$X_{médio}$		**4,00**	**45,84**

TABELA 29: Resultados de resistência à flexão estática (N/mm^2) em painéis de MDF fabricados com 70% de eucalipto e 30% pinus.

AMOSTRA	RESINA UF (%)	FORÇA MÁXIMA (N)	RESISTÊNCIA A FLEXÃO ESTÁTICA (N/mm^2)
6		2,91	28,60
29	8	2,51	26,49
40		2,60	27,87
$X_{médio}$		**2,67**	**27,66**
7		3,76	41,47
30	10	4,04	42,18
31		4,16	43,20
$X_{médio}$		**3,99**	**42,28**
12		3,63	41,15
19	12	4,43	40,00
43		4,19	36,52
$X_{médio}$		**4,08**	**39,23**

TABELA 30: Resultados de resistência à flexão estática (N/mm^2) em painéis de MDF fabricados com 50% de eucalipto e 50% pinus.

AMOSTRA	RESINA UF (%)	FORÇA MÁXIMA (N)	RESISTÊNCIA A FLEXÃO ESTÁTICA (N/mm^2)
14		2,59	27,82
26	8	3,20	34,34
34		3,63	38,54
$X_{médio}$		**3,14**	**33,57**
11		3,38	37,14
21	10	3,04	32,79
44		3,85	41,47
$X_{médio}$		**3,42**	**37,14**
10		3,94	43,42
20	12	4,63	49,55
42		3,99	44,71
$X_{médio}$		**4,19**	**45,89**

Tabela 31: Resultados de resistência à flexão estática (N/mm^2) em painéis de MDF fabricados com 30% de eucalipto e 70% de pinus

AMOSTRA	RESINA UF (%)	FORÇA MÁXIMA (N)	RESISTÊNCIA A FLEXÃO ESTÁTICA (N/mm^2)
2		3,73	40,85
22	8	3,51	36,39
37		3,06	33,02
$X_{médio}$		**3,43**	**36,75**
15		3,96	43,01
24	10	3,32	36,43
33		3,26	33,51
$X_{médio}$		**3,51**	**37,65**
4		3,87	44,80
27	12	4,69	52,33
41		3,81	42,50
$X_{médio}$		**4,12**	**46,55**

TABELA 32: Resultados de resistência à flexão estática (N/mm^2) em painéis de MDF fabricados com 100% de madeira de pinus.

AMOSTRA	RESINA UF (%)	FORÇA MÁXIMA (N)	RESISTÊNCIA A FLEXÃO ESTÁTICA (N/mm^2)
9		2,65	27,37
16	8	3,08	31,63
38		3,57	39,37
$X_{médio}$		**3,10**	**32,79**
5		3,87	42,88
23	10	4,21	46,72
45		3,04	32,31
$X_{médio}$		**3,71**	**40,64**
8		3,66	41,00
28	12	4,08	45,31
32		3,51	37,81
$X_{médio}$		**3,75**	**41,37**

TABELA 33: Resultados de resistência à flexão estática (N/mm^2) em painéis de MDF com 8, 10 e 12 % de RUF e diferentes misturas de fibras de eucalipto e pinus.

% RESINA	MATÉRIA-PRIMA	100% EUCALIP.	70% EUCALIP. 30% PINUS	50% EUCALIP. 50% PINUS	30% EUCALIP. 70% PINUS	100% PINUS
8	x	30,51	27,66	33,57	36,75	32,79
	s	4,04	1,07	5,40	3,93	6,08
	CV	13,2	3,9	16,1	10,7	18,5
10	x	32,91	42,28	37,14	37,65	40,64
	s	2,61	0,87	4,36	4,87	7,46
	CV	7,9	2,0	11,7	12,9	18,3
12	x	45,84	39,23	45,89	46,55	41,37
	s	1,76	2,41	3,23	5,14	3,76
	CV	3,8	6,1	6,9	11,0	9,1

5.3.3. Módulo de elasticidade estático

Os painéis de MDF foram analisados quanto ao módulo de elasticidade estático segundo a norma EN 310 e são apresentadas nas tabelas 34, 35, 36, 37, 38 e 39.

TABELA 34: Resultados de módulo de elasticidade estático (N/mm^2) em painéis de MDF fabricados com 100% de madeira de eucalipto.

AMOSTRA	RESINA UF (%)	FORÇA FORÇA MÁXIMA (N)	DEFORMAÇÃO FORÇA MÁXIMA (mm)	MÓDULO ELASTICIDADE ESTÁTICO (N/mm^2)
1		2,86	4,021	3542,1
18	8	2,67	4,419	3328,4
35		3,39	4,596	2184,3
$X_{médio}$		**2,97**	**4,345**	**3018,3**
13		3,26	4,264	3761,8
17	10	2,88	4,110	3374,5
39		3,18	4,331	2196,1
$X_{médio}$		**3,11**	**4,235**	**3110,8**
3		4,17	4,993	3110,8
25	12	3,80	4,728	4232,3
36		4,04	5,060	4156,9
$X_{médio}$		**4,00**	**4,927**	**3833,3**

TABELA 35: Resultados de módulo de elasticidade estático (N/mm^2) em painéis de MDF fabricados com 70% de eucalipto e 30% de pinus.

AMOSTRA	RESINA UF (%)	FORÇA FORÇA MÁXIMA (N)	DEFORMAÇÃO FORÇA MÁXIMA (mm)	MÓDULO ELASTICIDADE ESTÁTICO (N/mm^2)
6		2,91	4,684	3262,7
29	8	2,51	4,441	1394,1
40		2,60	4,993	3093,1
$X_{médio}$		**2,67**	**4,706**	**2583,3**
7		3,76	5,126	3854,9
30	10	4,04	5,214	3894,1
31		4,16	4,817	4232,3
$X_{médio}$		**3,99**	**5,052**	**3993,8**
12		3,63	5,369	4002,0
19	12	4,43	5,082	3662,7
43		4,19	5,148	3331,4
$X_{médio}$		**4,08**	**5,200**	**3665,4**

TABELA 36: Resultados de módulo de elasticidade estático (N/mm^2) em painéis de MDF fabricados com 50% de eucalipto e 50% de pinus.

AMOSTRA	RESINA UF (%)	FORÇA FORÇA MÁXIMA (N)	DEFORMAÇÃO FORÇA MÁXIMA (mm)	MÓDULO ELASTICIDADE ESTÁTICO (N/mm^2)
14		2,59	4,795	3039,2
26	8	3,20	5,170	3341,2
34		3,63	5,811	3625,5
$X_{médio}$		**3,14**	**5,259**	**3335,3**
11		3,38	5,237	3667,6
21	10	3,04	5,148	3165,7
44		3,85	5,391	3953,9
$X_{médio}$		**3,42**	**5,259**	**3595,7**
10		3,94	5,435	3894,1
20	12	4,63	6,010	4199,0
42		3,99	6,872	3610,8
$X_{médio}$		**4,19**	**6,106**	**3901,3**

TABELA 37: Resultados de módulo de elasticidade estático (N/mm^2) em painéis de MDF fabricados com 30% de eucalipto e 70% de pinus.

AMOSTRA	RESINA UF (%)	FORÇA FORÇA MÁXIMA (N)	DEFORMAÇÃO FORÇA MÁXIMA (mm)	MÓDULO ELASTICIDADE ESTÁTICO (N/mm^2)
2		3,73	5,988	3762,7
22	8	3,51	6,430	3264,7
37		3,06	6,209	2970,6
$X_{médio}$		**3,43**	**6,209**	**3332,7**
15		3,96	5,634	3957,8
24	10	3,32	5,634	3321,6
33		3,26	5,789	3172,5
$X_{médio}$		**3,51**	**5,686**	**3484,0**
4		3,87	5,192	4083,3
27	12	4,69	6,165	3259,8
41		3,81	6,142	3663,7
$X_{médio}$		**4,12**	**5,833**	**3668,9**

TABELA 38: Resultados de módulo de elasticidade estático (N/mm^2) em painéis de MDF fabricados com 100% de madeira de pinus.

AMOSTRA	RESINA UF (%)	FORÇA FORÇA MÁXIMA (N)	DEFORMAÇÃO FORÇA MÁXIMA (mm)	MÓDULO ELASTICIDADE ESTÁTICO (N/mm^2)
9		2,65	4,662	2733,3
16	8	3,08	5,237	3055,9
38		3,57	5,612	3532,3
$X_{médio}$		**3,10**	**5,170**	**3107,2**
5		3,87	6,120	3489,2
23	10	4,21	7,004	3418,6
45		3,04	5,192	2981,4
$X_{médio}$		**3,71**	**6,105**	**3296,4**
8		3,66	5,347	3564,7
28	12	4,08	5,656	3658,8
32		3,51	5,391	3449,0
$X_{médio}$		**3,75**	**5,464**	**3557,5**

TABELA 39: Resultados de módulo de elasticidade estático de MDF (N/mm^2) com 8, 10 e 12% de RUF e diferentes misturas de fibras de eucalipto e pinus

% RESINA	MATÉRIA-PRIMA	100% EUCALIP.	70% EUCALIP. 30% PINUS	50% EUCALIP. 50% PINUS	30% EUCALIP. 70% PINUS	100% PINUS
8	x	3018,3	2583,3	3335,3	3332,7	3107,2
	s	730,1	1033,4	293,2	400,4	401,9
	CV	24,2	40,0	8,8	12,0	12,9
10	x	3110,8	3993,8	3595,7	3484,0	3296,4
	s	815,5	207,5	399,0	417,1	275,0
	CV	26,2	5,2	11,1	12,0	8,3
12	x	3833,3	3665,4	3901,3	3668,9	3557,5
	s	626,9	335,3	294,2	411,8	105,1
	CV	16,3	9,1	7,5	11,2	2,9

5.4. Inchamento de Espessura

Os painéis fabricados com diferentes percentuais de resina e mistura de polpa foram analisados quanto ao inchamento sofrido na espessura segundo a norma EN 317 e são apresentados nas tabelas 40, 41, 42, 43, 44 e 45.

Tabela 40: Resultados de inchamento de espessura (%) em painéis de MDF fabricados com 100% de madeira de eucalipto.

AMOSTRA	RESINA UF (%)	ESPESSURA DO CP APÓS IMERSÃO (mm)	ESPESSURA DO CP ANTES IMERSÃO (mm)	INCHAMENTO DE ESPESSURA (%)
1		6,99	5,51	26,9
18	8	6,92	5,50	25,8
35		6,78	5,39	25,8
$X_{médio}$		**6,90**	**5,47**	**26,2**
13		6,51	5,33	22,1
17	10	6,57	5,41	21,4
39		6,40	5,29	21,0
$X_{médio}$		**6,49**	**5,34**	**21,5**
3		6,13	5,18	18,3
25	12	6,08	5,11	19,0
36		6,21	5,23	18,7
$X_{médio}$		**6,14**	**5,17**	**18,7**

TABELA 41: Resultados de inchamento de espessura (%) em painéis de MDF fabricados com 70% de eucalipto e 30% de pinus.

AMOSTRA	RESINA UF (%)	ESPESSURA DO CP APÓS IMERSÃO (mm)	ESPESSURA DO CP ANTES IMERSÃO (mm)	INCHAMENTO DE ESPESSURA (%)
6		7,11	5,53	28,6
29	8	6,89	5,39	27,8
40		6,95	5,32	30,6
$X_{médio}$		**6,98**	**5,41**	**29,0**
7		6,50	5,32	22,2
30	10	6,49	5,32	22,0
31		6,51	5,32	22,4
$X_{médio}$		**6,50**	**5,32**	**22,2**
12		6,22	5,19	19,8
19	12	7,00	5,78	21,1
43		7,18	5,90	21,7
$X_{médio}$		**6,80**	**5,62**	**20,9**

TABELA 42: Resultados de inchamento de espessura (%) em painéis de MDF fabricados com 50% de eucalipto e 50% de pinus.

AMOSTRA	RESINA UF (%)	ESPESSURA DO CP APÓS IMERSÃO (mm)	ESPESSURA DO CP ANTES IMERSÃO (mm)	INCHAMENTO DE ESPESSURA (%)
14		6,74	5,29	27,4
26	8	6,70	5,27	27,1
34		6,88	5,32	29,3
$X_{médio}$		**6,77**	**5,29**	**27,9**
11		6,50	5,24	24,0
21	10	6,51	5,28	23,3
44		6,71	5,29	26,8
$X_{médio}$		**6,57**	**5,27**	**24,7**
10		6,18	5,20	18,8
20	12	6,27	5,23	19,9
42		6,39	5,24	21,9
$X_{médio}$		**6,28**	**5,22**	**20,2**

TABELA 43: Resultados de inchamento de espessura (%) em painéis de MDF fabricados com 30% de eucalipto e 70% de pinus.

AMOSTRA	RESINA UF (%)	ESPESSURA DO CP APÓS IMERSÃO (mm)	ESPESSURA DO CP ANTES IMERSÃO (mm)	INCHAMENTO DE ESPESSURA (%)
2		6,71	5,29	26,8
22	8	7,03	5,38	30,7
37		7,03	5,27	33,4
$X_{médio}$		**6,92**	**5,31**	**30,3**
15		6,62	5,25	26,1
24	10	6,60	5,20	26,9
33		7,20	5,37	34,1
$X_{médio}$		**6,81**	**5,27**	**29,0**
4		5,91	5,08	16,3
27	12	5,92	5,19	14,1
41		6,67	5,19	28,5
$X_{médio}$		**6,17**	**5,15**	**19,6**

TABELA 44: Resultados de inchamento de espessura (%) em painéis de MDF fabricados com 100% de madeira de pinus.

AMOSTRA	RESINA UF (%)	ESPESSURA DO CP APÓS IMERSÃO (mm)	ESPESSURA DO CP ANTES IMERSÃO (mm)	INCHAMENTO DE ESPESSURA (%)
9		7,80	5,52	41,3
16	8	7,40	5,49	34,8
38		7,03	5,39	30,4
$X_{médio}$		**7,41**	**5,47**	**35,5**
5		7,11	5,38	32,1
23	10	6,95	5,32	30,6
45		6,97	5,44	28,1
$X_{médio}$		**7,01**	**5,38**	**30,3**
8		6,49	5,26	23,4
28	12	7,58	5,32	42,5
32		7,60	5,35	42,3
$X_{médio}$		**7,22**	**5,31**	**36,1**

TABELA 45: Resultados de inchamento de espessura (%) em painéis de MDF com 8, 10 e 12 % de RUF e diferentes misturas de fibras de eucalipto e pinus.

% RESINA	MATÉRIA-PRIMA	100% EUCALIP.	70% EUCALIP. 30% PINUS	50% EUCALIP. 50% PINUS	30% EUCALIP. 70% PINUS	100% PINUS
8	x	26,2	29,0	27,9	30,3	35,5
	s	0,63	1,44	1,19	3,32	5,48
	CV	2,4	5,0	4,3	10,9	15,4
10	x	21,5	22,2	24,7	29,0	30,3
	s	0,56	0,20	1,85	4,41	2,02
	CV	2,6	0,9	7,5	15,2	6,7
12	x	18,7	20,9	20,2	19,6	36,1
	s	0,35	0,97	1,57	7,76	11,0
	CV	1,9	4,6	7,8	39,6	30,5

5.5. Densidade

Os painéis fabricados com diferentes percentuais de resina e mistura de fibras foram analisados quanto a densidade segundo a norma EN 323 e são apresentados nas tabelas 46, 47, 48, 49, 50 e 51.

TABELA 46: Resultados de densidade (g/cm^3) em painéis de MDF fabricados com 100% de madeira de eucalipto.

AMOSTRA	RESINA UF (%)	ESPESSURA DO CP (mm)	PESO DO CP (g)	DENSIDADE (g/cm^3)
1		5,55	11,38	0,82
18	8	5,53	11,32	0,82
35		5,41	11,03	0,82
$X_{médio}$		**5,50**	**11,24**	**0,82**
13		5,38	11,09	0,82
17	10	5,46	10,99	0,81
39		5,33	11,51	0,86
$X_{médio}$		**5,39**	**11,20**	**0,83**
3		5,21	11,22	0,86
25	12	5,14	11,03	0,86
36		5,29	11,11	0,84
$X_{médio}$		**5,21**	**11,12**	**0,85**

TABELA 47: Resultados de densidade (g/cm^3) em painéis de MDF fabricados com 70% de eucalipto e 30% de pinus.

AMOSTRA	RESINA UF (%)	ESPESSURA DO CP (mm)	PESO DO CP (g)	DENSIDADE (g/cm^3)
6		5,59	11,93	0,85
29	8	5,43	10,76	0,79
40		5,38	10,36	0,77
$X_{médio}$		**5,47**	**11,02**	**0,80**
7		5,38	10,88	0,81
30	10	5,38	10,57	0,79
31		5,39	11,98	0,89
$X_{médio}$		**5,38**	**11,14**	**0,83**
12		5,23	11,23	0,86
19	12	5,83	11,33	0,78
43		5,95	11,00	0,74
$X_{médio}$		**5,67**	**11,19**	**0,79**

TABELA 48: Resultados de densidade (g/cm^3) em painéis de MDF fabricados com 50% de eucalipto e 50% de pinus.

AMOSTRA	RESINA UF (%)	ESPESSURA DO CP (mm)	PESO DO CP (g)	DENSIDADE (g/cm^3)
14		5,33	10,59	0,79
26	8	5,30	11,11	0,84
34		5,38	11,55	0,86
$X_{médio}$		**5,34**	**11,08**	**0,83**
11		5,29	11,09	0,84
21	10	5,30	11,09	084
44		5,32	11,36	0,85
$X_{médio}$		**5,30**	**11,18**	**0,84**
10		5,24	11,15	0,85
20	12	5,29	11,42	0,86
42		5,30	10,80	0,82
$X_{médio}$		**5,28**	**11,12**	**0,84**

TABELA 49: Resultados de densidade (g/cm^3) em painéis de MDF fabricados com 30% de eucalipto e 70% de pinus.

AMOSTRA	RESINA UF (%)	ESPESSURA DO CP (mm)	PESO DO CP (g)	DENSIDADE (g/cm^3)
2		5,32	11,62	0,87
22	8	5,41	10,77	0,80
37		5,30	10,98	0,83
$X_{médio}$		**5,34**	**11,12**	**0,83**
15		5,30	11,15	0,84
24	10	5,25	10,67	0,81
33		5,40	10,77	0,80
$X_{médio}$		**5,32**	**10,86**	**0,82**
4		5,12	10,30	0,80
27	12	5,23	11,35	0,87
41		5,23	11,27	0,86
$X_{médio}$		**5,19**	**10,97**	**0,84**

TABELA 50 : Resultados de densidade (g/cm^3) em painéis de MDF fabricados com 100% de madeira de pinus.

AMOSTRA	RESINA UF (%)	ESPESSURA DO CP (mm)	PESO DO CP (g)	DENSIDADE (g/cm^3)
9		5,58	11,56	0,88
16	8	5,53	11,22	0,81
38		5,42	10,88	0,80
$X_{médio}$		**5,51**	**11,22**	**0,83**
5		5,41	11,69	0,86
23	10	5,38	10,74	0,80
45		5,49	11,31	0,82
$X_{médio}$		**5,43**	**11,25**	**0,83**
8		5,30	9,75	0,74
28	12	5,38	10,21	0,76
32		5,39	11,31	0,84
$X_{médio}$		**5,36**	**10,42**	**0,78**

TABELA 51: Resultados de densidade (g/cm^3) em painéis de MDF com 8, 10 e 12 % de RUF e diferentes misturas de fibras de eucalipto e pinus.

% RESINA	MATÉRIA-PRIMA	100% EUCALIP.	70% EUCALIP. 30% PINUS	50% EUCALIP. 50% PINUS	30% EUCALIP. 70% PINUS	100% PINUS
8	x	0,82	0,80	0,83	0,83	0,83
	s	0	0,04	0,04	0,03	0,04
	CV	0	5,0	4,8	3,6	4,8
10	x	0,83	0,83	0,84	0,82	0,83
	s	0,03	0,05	0,01	0,02	0,03
	CV	3,6	6,0	1,2	2,4	3,6
12	x	0,85	0,79	0,84	0,84	0,78
	s	0,01	0,06	0,02	0,04	0,05
	CV	1,2	7,6	2,4	4,8	6,4

CAPÍTULO 6
ANÁLISE DE RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os experimentos de fabricação de chapas de média densidade, com mistura de fibras de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribeae* var. *hondurensis* e diferentes níveis de resina uréia-formaldeído levaram a se obter resultados que serão considerados e discutidos neste capitulo.

6.1. Matéria-prima

6.1.1. Cavaco

Os valores médios de retenção de cavacos obtidos na classificação mostrados na tabela 19 e figura 12, evidenciam que nas peneiras maiores (25,4 mm, 19,1 mm e 15,9mm) houve retenção de 41,53% dos cavacos de eucalipto, enquanto que, nas mesmas peneiras, apenas 29,79% dos cavacos de pinus ficaram retidos, o que demonstra que os cavacos de pinus se fragmentaram em porções menores.

Se em cavacos com estes forem aplicados mesmo gradiente de energia para refinação, certamente o material que apresentou frações maiores produzirá além das fibras, feixes de fibras ainda unidas ou até mesmo "cavaquinhos" (pequenos cavacos não fragmentados totalmente), que serão revelados na superfície das chapas.

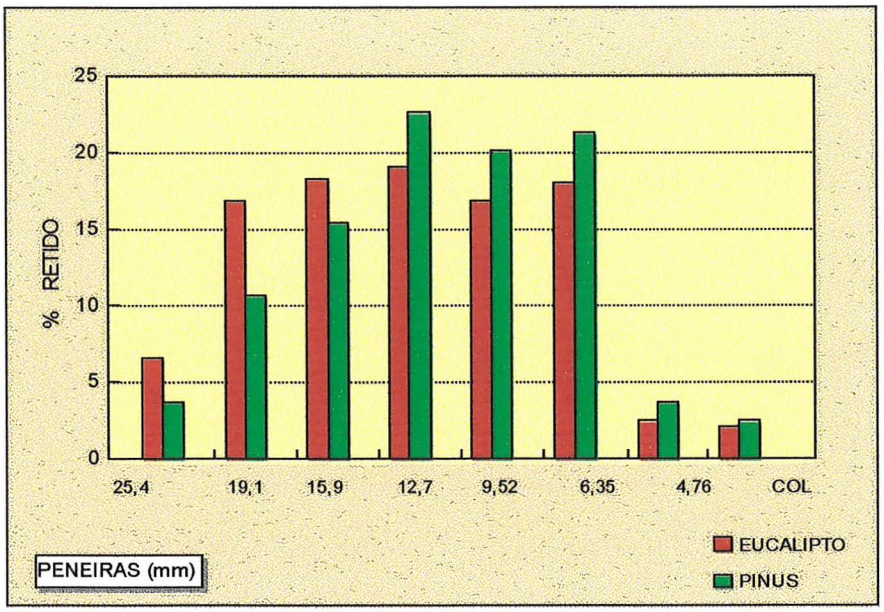


FIGURA 12: Percentual de cavacos de eucalipto e pinus retidos nas peneiras de classificação de cavacos.

Diferenças na classificação de cavacos, entre tipos de madeiras, podem ser atribuídas a combinação de esforços mecânicos gerados durante a picagem com a resistência mecânica da madeira, que dependem da densidade da madeira, segundo Mc Govern[4], citado por Wehr & Barrichelo (1993).

---

[4] Mc GOVERN, Y. N. Raw material variables in chip production. In: Hatton, J.V. Chip Quality Monograph. Vancouver, Tappi-pulp and paper technology Series, 1979. c. 5, p.91-110.

Estas diferenças, para um mesmo tipo de madeira, está relacionada com as condições do equipamento, tais como velocidade de rotação do disco do picador, ângulo e grau de desgaste das facas (Hartler, 1986; Hartler & Stade, 1977; Twaddle & Watson, 1992), principalmente se forem processadas madeiras duras e macias (Twaddle & Watson, 1992).

Para a picagem das madeiras de eucalipto e pinus usadas neste trabalho foram utilizadas as mesmas condições e equipamentos. Assim as diferenças de granulometria dos cavacos, apresentadas na tabela 19, levam a conclusão que ocorreram somente devido à influência do tipo de madeira processada.

Entretanto, com os dados observados não foi possível, e nem é pertinente ao escopo deste trabalho, descobrir as causas destas diferenças, já que o objetivo principal é avaliar o produto MDF.

6.1.2. Fibras

As tabelas 20 e 21 apresentam os resultados de classificação de fibras Bauer McNett, com o percentual de fibras retidas em cada peneira. A utilização da mesma série de peneiras para madeiras de fibras longas e curtas, evidenciou, como esperado, maior retenção das fibras de pinus nas peneiras maiores (20 e 35 mesh) e menor retenção de fibras de eucalipto nas mesmas peneiras. No caso do eucalipto, a retenção de maiores percentuais nas peneiras menores do aparelho Bauer McNett é devido à presença, nestas frações, de fibras e dos elementos de vasos fragmentados, separados durante as severas condições de refinação.

Visto isto, numa mistura de fibras provenientes de pinus e eucalipto, provavelmente a composição fibrosa será fortalecida quanto ao comprimento de fibra devido às contribuições do pinus, sofrendo mais incremento positivo, com as contribuições das fibras menores e elementos de vaso que vem do eucalipto.

Myers (1983) observou diferenças de comportamento entre folhosas e coníferas quando processadas sob diversas condições de desfibramento. Norberg & Back (1969) já haviam

observado que as condições de refinação alteram as fibras e a qualidade da chapa produzida.

Ainda não está bem claro, a influência do comprimento de fibras nas características do painel. Woodson (1976), estudando 14 espécies de folhosas, não encontrou relação entre a proporção de finos, considerados estes como o material passante na peneira de 48 mesh da classificação Bauer McNett, e a resistência à tração perpendicular.

Já Nelson (1973) ao estudar madeiras com diferentes comprimentos de fibras concluiu que esta variável influencia apenas na estabilidade dimensional (expansão linear) dos painéis de MDF, pois o aumento de ligações entre fibras favorece a um decréscimo nos movimentos de cada fibra.

6.2. Resistência mecânica dos painéis

A resistência mecânica dos painéis é diretamente proporcional a densidade, sendo assim, qualquer variação ocasionará em acréscimo ou decréscimo nos valores de resistência. Chow (1976) e Nelson (1973) em seu trabalho, para contornar as variações de densidade, ajustaram os resultados de resistência mecânica para uma mesma densidade.

Neste trabalho, para manutenção da densidade dentro de uma mesma faixa, utilizou-se o artifício da instalação de limitadores entre os pratos da prensa, a fim de não haver compactação do colchão de maneira diferenciada, entre condições.

6.2.1. Resistência à tração perpendicular ao plano

Os resultados de resistência à tração perpendicular dos painéis de MDF fabricados com diferentes níveis de matéria-prima e resina são mostrados nas tabelas 21 a 26 e figura 13. Estes resultados evidenciaram que quanto maior o percentual de resina adicionada às fibras,

maior a resistência do MDF; independente das misturas utilizadas, com exceção da composição 70% eucalipto e 30% pinus que apresentou decréscimo acentuado na resistência à tração perpendicular ao plano com 12% de RUF, conforme pode ser visualizado na figura 13.

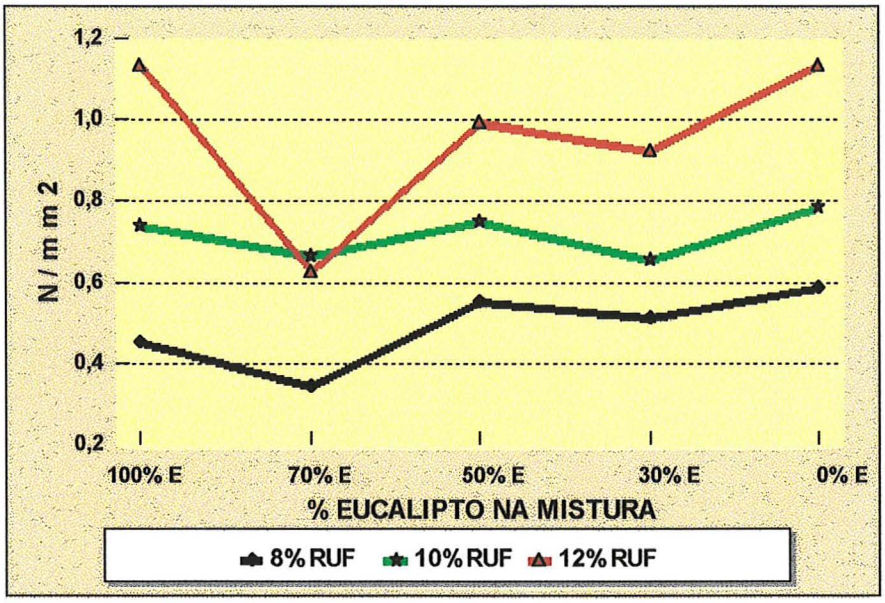


FIGURA 13: Resistência à tração perpendicular ao plano em painéis de MDF fabricados com diferentes misturas de fibras e dosagem de RUF.

Observa-se que com 8% de RUF nenhuma das condições atingiu os valores estabelecidos na EMB/IS - 2:1995, tomada como paradigma e apresentada na tabela 5, cujo valor é de 0,65 N/mm^2. A análise estatística efetuada segundo 4.2.7. e mostrada no Anexo A, revelou que o efeito da resina é significativo ao nível de 99%.

Chow (1976,1979) ao fabricar painéis de média densidade com mistura de folhosas e casca; resíduos e casca de folhosas, aglutinadas com resina uréia-formaldeído e também com resina fenólica, observou acréscimo na resistência à tração perpendicular com o aumento do teor de resina. Albritton et al. (1976) também evidenciou mesmo comportamento ao trabalhar com mistura de folhosas e 6, 9 e 12% de resina.

Butterfield et al. (1992) ao estudar as características da zona de ruptura em painéis de MDF submetidos a ensaios de resistência à tração perpendicular observou que a ruptura ocorre na interface entre as paredes da camada S_1 e S_2 da fibra, e que há uma orientação das fibras devido as etapas de formação e prensagem do colchão. A ligação da resina ocorre nos pontos de intersecção das fibras, que geralmente não são maiores que a largura de uma fibra. Dessa maneira são estas pontes de resina entre fibras adjacentes que mantêm o painel formado.

A temperatura em que ocorre a refinação no processo termomecânico é fundamental para determinar em que ponto da estrutura da madeira haverá a separação das fibras. Se próximo a 140 °C, a separação ocorrerá na lamela média devido a passagem pelo ponto de transição vítrea da lignina, onde a madeira passa de um estado rígido a um plástico. Se entre 120 e 140 °C a lignina permanecerá no estado vítreo e não amolecida, favorecendo a separação das fibras na parede primária (Asplund, 1973; Bystedt, 1973; Jordão et al., 1983; Neves & Rossi, 1980; Neves, 1988; Short, 1981). O ideal é se trabalhar com temperatura entre 120 e 140 °C no pré-aquecedor de cavacos, para que durante a refinação se obtenha fibras pouco danificadas, mais longas e com maior resistência mecânica.

Os ensaios de resistência à tração perpendicular tem sido utilizados como avaliação da eficiência e uniformidade da distribuição de resina no painel (Albritton et al., 1976; Wilson & Kramer, 1976; Youngquist, 1987). Porém Butterfield et al. (1992) verificaram que o rompimento durante o ensaio de resistência à tração perpendicular ocorreu no ponto de fragilidade da parede da fibra e não na interface resina/fibra.

Analisando-se os resultados de resistência à tração perpendicular ao plano entre tipos de misturas de madeira, observa-se que o acréscimo no percentual de pinus na mistura de matérias-primas resultou em acréscimo na resistência à tração perpendicular ao plano; isto pode ser explicado pela maior presença de fibras longas e seu provável maior entrelaçamento, favorecendo a uma melhor ligação fibra-fibra resultando em maior resistência.

A análise de variança forneceu significância ao nível de 95% para o efeito da matéria-prima e 99% para o efeito da resina UF na resistência à tração perpendicular ao plano dos painéis.

6.2.2. Resistência à flexão estática e módulo de elasticidade estático

As tabelas 27 a 31 e 33 a 37 e figuras 14 e 15 apresentam os resultados de resistência à flexão estática e módulo de elasticidade estático, respectivamente, para painéis fabricados com diferentes misturas de coníferas e folhosas e proporções de resina UF.

Os parâmetros de resistência avaliados, não sofreram influência do tipo de mistura, apenas do percentual de resina adicionado, conforme a análise de variança efetuada e apresentada no Anexo A.

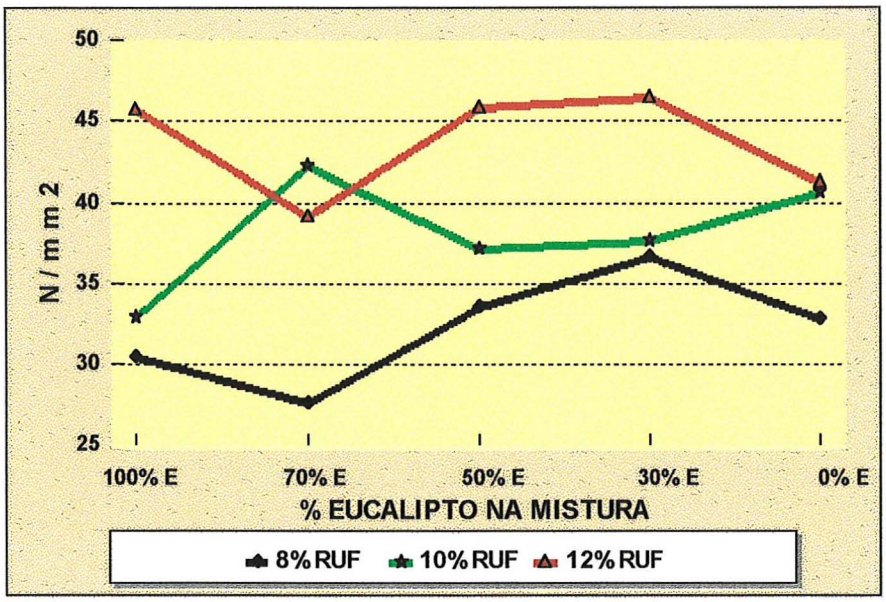


FIGURA 14: Resistência à flexão estática em painéis de MDF fabricados com diferentes misturas de fibras e dosagem de RUF.

Na figura 14 observa-se aumento na resistência à flexão estática com acréscimo no teor de resina uréia-formaldeído, mesmo comportamento apresentado pelo módulo de elasticidade estático, representado pela figura 15.

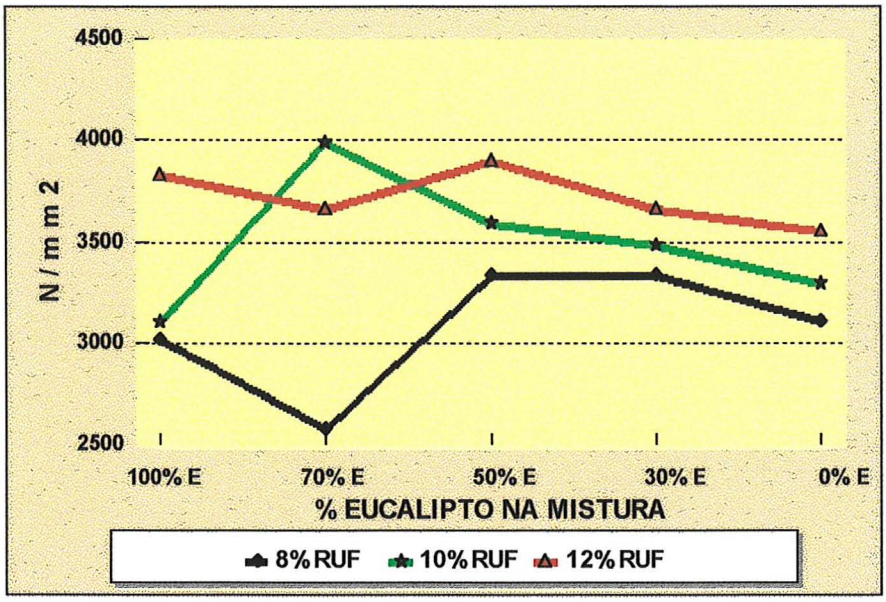


FIGURA 15: Módulo de elasticidade estático em painéis de MDF fabricados com diferentes misturas de fibras e dosagem de RUF.

Os resultados dos testes de resistência à flexão estática e módulo de elasticidade estático nas condições da mistura de fibras e teor de resina, atenderam à norma EMB/IS - 2:1995, cujos valores são 23 N/mm^2 e 2700 N/mm^2, respectivamente, segundo dados da tabela 5.

Os dados da literatura concordam com os resultados obtidos quando se tem que Chow (1976) e Albritton et al. (1976) em seus estudos com mistura de folhosas e diferentes níveis de adesivos, observaram que apenas o percentual de resina resulta em melhoria na resistência à flexão estática e módulo de elasticidade estático.

Em outro trabalho de Chow (1979) utilizando casca e serragem de madeira de folhosas para confecção de MDF, observou que não houve acréscimo nos resultados de resistência à flexão estática e módulo de elasticidade estático, quando se aumentou de 6,5 para 9,0% de resina fenólica.

Isto se justifica, se analisarmos os resultados obtidos por Butterfield et al. (1992) que ao analisar a região de rompimento dos ensaios de resistência à flexão estática comprovou que

a região de fragilidade dos painéis é na ligação entre fibras e não na interface fibra/resina, comportamento este já observado nas rupturas dos ensaios de resistência à tração perpendicular.

6.3. Inchamento de espessura dos painéis

Os resultados de inchamento de espessura em painéis de MDF são apresentados nas tabelas 39 a 43, onde se observa que o inchamento sofre influência do teor de resina adicionado e do tipo de mistura de fibras, com nível de significância de 99% conforme a análise de variança efetuada e apresentada no Anexo A. Com exceção das chapas com 100% de pinus, as demais condições atenderam a EMB/IS - 2:1995.

A figura 16 apresenta os resultados de inchamento de espessura, onde observa-se que há decréscimo nos valores de inchamento de espessura com aumento do teor de resina.

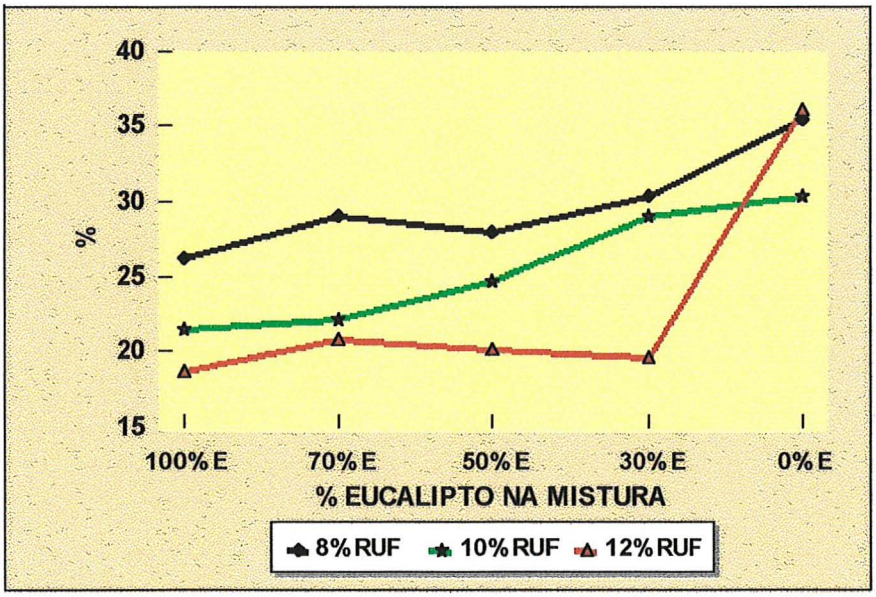


FIGURA 16: Inchamento de espessura em painéis de MDF fabricados com diferentes misturas de fibras e dosagem de RUF.

Este comportamento pode ser explicado pelo acréscimo de ligação entre fibras, favorecendo a menor movimentação de cada fibra individualmente. A presença de resina poderá evitar a quebra de ligação entre fibras, que podem ocorrer segundo Chow & Redmond (1981) quando painéis de MDF ficam expostos à condições de umidade. Albritton et al. (1976) em seu trabalho também observou relação negativa entre inchamento e cobertura de resina.

Os valores maiores de expansão observados somente em chapas de pinus não podem ser explicados somente pela tendência dos resultados. Devido ao número reduzido de experimentos não se pode explicar se este comportamento é atípico ou se é normal de um painel feito com este tipo de madeira. Analisando somente pelo lado madeira, a literatura mostra (Kollmann, 1975) que a expansão volumétrica de pinus é muito menos acentuada do que a de folhosas análogas ao eucalipto.

6.4. Densidade dos painéis

O MDF apresenta densidade entre 0,50 g/cm^3 e 0,90 g/cm^3, e como apresentado no item Materiais e Métodos, procurou-se preparar chapas dentro desta faixa de densidade.

A análise de variança efetuada e apresentada no Anexo A, mostra que realmente os painéis não apresentaram valores de densidade com diferença significativa. A instalação de limitadores de espessura durante a prensagem propiciou a que os painéis fabricados não apresentassem grande variações, conforme pode ser visto na figura 17.

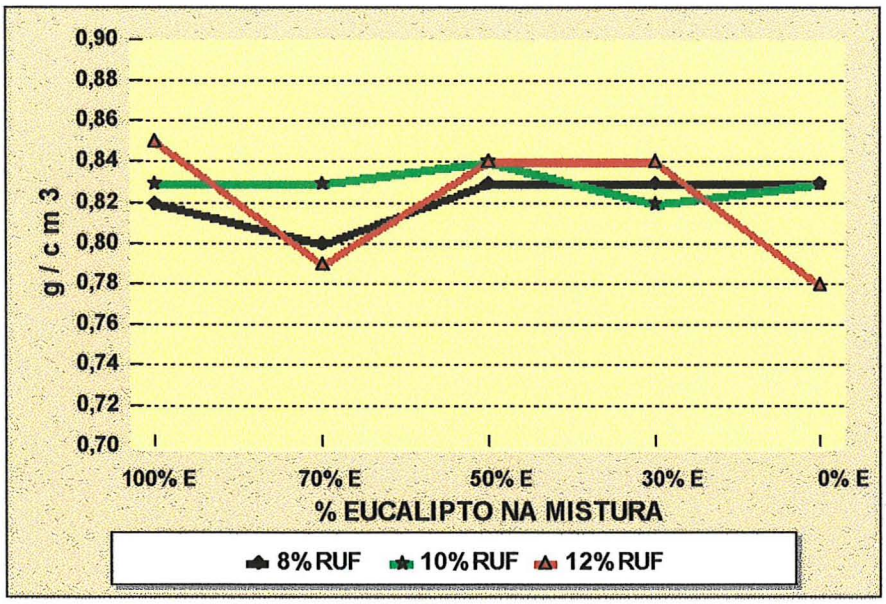


FIGURA 17: Densidade em painéis de MDF fabricados com diferentes misturas de fibras e dosagem de RUF.

Assim, é evidente que a utilização deste artifício fez com este parâmetro "densidade dos painéis" não influenciasse em suas propriedades. Entretanto, na prática sabe-se que o aumento de massa de madeira por unidade de volume induz a boa resistência do painel e o grande contato fibra-fibra induz a resistência nas ligações inter-fibras.

Por outro lado, os resultados mostram que é possível fabricar, dentro da faixa usual de densidade de MDF de mercado, estes produtos com misturas de pinus e eucalipto.

CAPÍTULO 7
CONCLUSÕES

A possibilidade de fabricação a nível laboratorial de chapas de média densidade com misturas de fibras de *Eucalyptus grandis* W. HILL ex MAIDEN e *Pinus caribeae* var. *hondurensis* com diferentes teores de resina uréia-formaldeído foi evidenciada pelos resultados obtidos com os painéis feitos com misturas destas madeiras, os quais apresentaram níveis de qualidade aceitáveis frente a norma EuroMDFBoard EMB/IS - 2:1995.

A extrapolação destes resultados para a escala industrial não deverá acarretar em grandes alterações, podendo-se concluir que misturas deste tipo poderão ser usadas regularmente numa fábrica, desde que as fibras sejam produzidas em linhas independentes de processamento das madeiras, ou seja, a mistura das fibras deverá ocorrer depois de sua separação da madeira.

Considerando a possibilidade de se produzir chapas de MDF com mistura de pinus e eucalipto, pelos resultados obtidos neste trabalho, pode-se enriquecer esta conclusão com os seguintes comentários:

- a proporção de matéria-prima de 50% : 50% de folhosas e coníferas e 10% de resina uréia-formaldeído, favorecerá a fabricação de painéis de MDF com qualidade tecnológica dentro dos padrões da norma adotada, visto que a mistura 70% : 30% de eucalipto e pinus apresentou valores fora do esperado para algumas variáveis estudadas;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBRITTON, R.O.; SHORT, P.H.; LYON, D.E. Resin Efficiency in Medium-Density Fiberboard. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PARTICLEBOARD, Eleventh, Pulman, Washington, 1976. **Proceedings**. Washington : Washington State University, 1976. p. 101-129.

ASPLUND, A. Development of the thermomechanical pulping method. In: INTERNATIONAL MECHANICAL PULPING CONFERENCE, Stockholm, 1973. **Proceedings**. Stockholm, EUCEPA, 1973. v. 2, p. 15 - 21.

AUCHTER , R.J. Recycling forest produts retrieved from urban waste. **For. Prod. J.**, v.23,n.2,p.12-16,1973.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Definitions of Terms Relating to Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials. Philadelphia, Pennsylvania: **ASTM D1554**. 1986.

BHAGWAT, S.G.; MALONEY, T.M. The developing industry and process variables and their effects on board quality. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PARTICLEBOARD, Fourteenth, Pulman, Washington, 1980. **Proceedings**. Washington : Washington State University, 1980. p. 283 - 290.

BÜCKING, G. Resin Blending of MDF fiber. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PARTICLEBOARD, Sixteenth, Pulman, Washington, 1982. **Proceedings**. Washington : Washington State Univ0rsity, 1982. p. 269-276.

BURGER, L.M.; RICHTER, H.G. **Anatomia da Madeira**. São Paulo: Nobel, 1991. 154p.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBRITTON, R.O.; SHORT, P.H.; LYON, D.E. Resin Efficiency in Medium-Density Fiberboard. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PARTICLEBOARD, Eleventh, Pulman, Washington, 1976. **Proceedings**. Washington : Washington State University, 1976. p. 101-129.

ASPLUND, A. Development of the thermomechanical pulping method. In: INTERNATIONAL MECHANICAL PULPING CONFERENCE, Stockholm, 1973. **Proceedings**. Stockholm, EUCEPA, 1973. v. 2, p. 15 - 21.

AUCHTER , R.J. Recycling forest produts retrieved from urban waste. **For. Prod. J.**, v.23,n.2,p.12-16,1973.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Definitions of Terms Relating to Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials. Philadelphia, Pennsylvania: **ASTM D1554**. 1986.

BHAGWAT, S.G.; MALONEY, T.M. The developing industry and process variables and their effects on board quality. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PARTICLEBOARD, Fourteenth, Pulman, Washington, 1980. **Proceedings**. Washington : Washington State University, 1980. p. 283 - 290.

BÜCKING, G. Resin Blending of MDF fiber. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PARTICLEBOARD, Sixteenth, Pulman, Washington, 1982. **Proceedings**. Washington : Washington State Univ0rsity, 1982. p. 269-276.

BURGER, L.M.; RICHTER, H.G. **Anatomia da Madeira**. São Paulo: Nobel, 1991. 154p.

BUTTERFIELD,B.; CHAPMAN,K.; CHRISTIE,L.; DICKSON,A. Ultrastructural characteristics of failure surfaces in medium density fiberboard. **For. Prod. J.**, v.42,n.5,p.55-60,1992.

BYSTEDT,I. O processo termo-técnico com desfibrador Asplund para produção de pasta mecânica de alta qualidade. In: CONVENÇÃO ANUAL DA ABCP, 6, São Paulo,1973. **Anais**. São Paulo, ABCP, 1973. p. 205-208.

C. E. BAUER. Produção em Planta Piloto de Pastas Mecânicas e Termomêcanicas a partir de Eucalipto, Pinho araucária e Pinho elliottii. In: CONVENÇÃO ANUAL DA ABCP, 7, São Paulo,1974. **Anais**. p 205-209.

CHOW, P. Properties of Medium-Density, Dry-Formed Fiberboard from seven Hardwood Residues and Bark. **For. Prod. J.**, v.26,n.5,p.48-55,1976.

CHOW, P. Phenol adhesive bonded medium-density fiberboard from *Quercus rubra* L. bark and sawdust. **Wood and Fiber**,v.11,n.2,p.92-98.1979.

CHOW, P.; Redmond,M.R. Humidity and temperature effects on MOR and MOE of hard maple-veneered medium density fiberboard. **For. Prod. J.**, v.31,n.6,p.54-58,1981.

CHOW, P.; ZHAO, L. Medium Density Fiberboard Made from Phenolic Resin and Wood Residues of Mixed Species. **For. Prod. J.**,v.42,n.10,p.65-67.1992.

DEFIBRATOR. Pasta Termomêcanica segundo Processo Defibrator, com referência especial ao *Eucalyptus saligna*. In: CONVENÇÃO ANUAL DA ABCP, 7, São Paulo, 1974. **Anais**. 25p.

DEL MENEZZI, C.H.S.; SOUZA, M.R.; GONÇALEZ, J.C. Fabricação e Avaliação Tecnológica da Chapa Aglomerada de Mistura de *Eucalyptus urophylla* T.S. Blake e *Pinus oocarpa* Schiede. **R. Árvore**, v.20,n.3,p.371-379,1996.

DURAFLORA. Técnicas Silvicuturais Objetivando Minimizar Impactos Ambientais. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6, Campos de Jordão, SP, 22-27 setembro,1990. **Trabalhos Convidados**, v. 1,p.98 - 103.

EUROMDFBOARD. MDF Medium Density Fiberboards. Definitions, Test Methods and Requirements. Industry Standard. Part I: Generalities. **EMB/ IS - 1:1995**.

EUROMDFBOARD. MDF Medium Density Fiberboards. Definitions, Test Methods and Requirements. Industry Standard. Part II:Requirements for General Purpose Boards. **EMB/ IS - 2:1995**.

EUROPEAN STANDARD. Wood-Based Panels. Determination of Formaldehyde content. Extraction method called the perforator method. **EN 120**. 1992.

EUROPEAN STANDARD. Wood-Based Panels. Determination of Modulus of Elasticity in Bonding and Bending Strength. **EN 310**. 1993.

EUROPEAN STANDARD. Particleboard and Fiberboards. Determination of Swelling in Thickness After Immersion in Water. **EN 317**. 1993.

EUROPEAN STANDARD. Particleboard and Fiberboards. Determination of Tensile Strength Perpendicular to the Plane of the Board.. **EN 319**. 1993.

EUROPEAN STANDARD. Wood-Based Panels. Determination of Density. **EN 323**. 1993.

FREITAS, A.R. Potencial de Limitações das Industrias de base florestal. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6°, Campos de Jordão, SP, 22-27 setembro, 1990, **Trabalhos Convidados**,v.1, p. 129-130.

GRAN, G. Comparison between the dry and the wet process fiberboard manufacture. Defibrator AB. Stockholm. 1968.

GRAN, G. Blowline blending in dry process fiberboard production. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PARTICLEBOARD, Sixteenth, Pulman, Washington, 1982. **Proceedings**. Washington : Washington State University, 1982. p. 261-267.

HARTLER,N.; STADE, Y. Chipper operation for improved chip quality. **Svensk papperstidning** , v.14,p.447-453,1977.

HARTLER,N. Chipper design and operation for optimum chip quality. **Tappi Journal**, p.62-66, October 1986.

HASELEIN, C.R. Análise de Parâmetros para a Fabricação de Chapas de Partículas Aglomeradas de Madeira de Eucalipto (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex-Maiden) e Embauba (*Cecropia* spp). Viçosa, 1989, 75p. Dissertação (M.S.) - Universidade Federal de Viçosa.

JORDÃO,M.C.S.; ASSUMPÇÃO, R.M.V.; OTSUKI,H.; PARK,S.W. A influência da umidade no ponto de transição vitrea da lignina isolada de pinus e eucalipto - Parte I. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE CELULOSE E PAPEL, III, São Paulo, SP, 1983, **Anais**, 1983.10p.

KELLY, M. W. Critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboard. Madison: USDA/FPL, 1977. 64p. (General Technical Report, FPL 10).

KOLLMANN, F.F.P.; KUENZI, E.W.; STAMM, A J. **Principles of Wood Science and Tecnology**: II Wood Based Material. New York: Springer-Verlag, 1975. 703p.

KRONKA, F.J.N; MATSUKUMA, C.K.; NALON, M.A.; DEL CALI, I.H.; ROSSI, M.; MATTOS, I.F.A.; SHIN-IKE, M.S.; PONTINHAS, A.A.S. Inventário Florestal do Estado de São Paulo. In: CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO/ CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 1° / 7° , Curitiba, 1993. **Anais**

Trabalhos Voluntários e Posteres. São Paulo, Sociedade Brasileira de Silvicultura e Sociedade Brasileira de Engenheiros Florestais. v. 2, p. 520-521.

KRZYSIK, A.M.; YOUNGQUIST, J.A.; ROWELL, R.M.; MUEHL, J.H.; CHOW,P.; SHOOK, S.R. Feasibility of using recycled newspapers as a fiber source for dry-process hardboards. **For. Prod. J.** ,v.43, n. 7/8, p. 53-58, 1993.

LAUNDRIE, J.F.; McNATT, J.D. *Dry-Formed, Medium-Density Hardboards from Urban Forest Materials*. U.S. Government Office: 1975 - 650-255/35.

MALLARI, V.C.; CABANGON,R.J.; PULIDO, O.R.; NOVICIO, L.A. Research and Development on the Production of Composite Panels from Sugar Bagasse. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PARTICLEBOARD, Thiertieth, Pulman, Washington, 1996. **Proceedings**. Washington : Washington State Univ0rsity, 1996. p. 251.

MALONEY, T.M. New Technologies in the Wood-Based Composites Sector. In: SEMINAR ON NEW TECHNOLOGIES AND APPLICATION IN THE WOOD-BASED PANELS SECTOR. Gdansk. Poland, 1991. **Anais**, 20-24 May. 1991.

MALONEY, T.M. **Modern Particleboard & Dry Process Fiberboard Manufacturing**. Updated Edition. San Francisco: Miller Freeman Inc, 1993. 681p.

MARIAN, J. Adhesive and Adhesion Problems in Particleboard Production. **For. Prod. J.**, v.8, n.6, p.172-176, 1958.

MYERS, G.C. Hardboards from Mixed Tropical Hardwoods. **For. Prod. J.**, v.29, n.5, p.44-48, 1978.

MYERS, G.C. Relationship of fiber preparation and characteristics to performance of medium-density hardboards. **For. Prod. J.**, v.33, n.10, p.43-51, 1983.

NAHUZ, M.A R. Desenvolvimento na área de madeira. **Móbile Fornecedores**,n.20,p.16, Maio 1989.

NELSON, N.D. Effects of Wood and Pulp Properties on Medium-Density, Dry-Formed Hardboard. **For. Prod. J.**,v.23, n.9, p.72-80,1973.

NEVES, J.M.; ROSSI, H. Influência e otimização de algumas variáveis no estágio de desfibramento no processo termomêcanico. São Paulo: IPT, Publicação, 1980. 48p. (IPT. Publicação, 1169).

NEVES, J.M. Polpação de Alto Rendimento e Semiquímica. In: IPT/ Escola SENAI "Theobaldo de Nigris". **Celulose e Papel: Tecnologia de Fabricação da Pasta Celulósica**. São Paulo: IPT, 1988. Capítulo VII, p.321-400.

NORBERG,K.G.; BACK,E.L. Effect of refining on strength properties of press dried hard and semi-hard fibre building boards. **Svensk papperstidning** , v.72,p.649-655,1969.

REVISTA DA MADEIRA. **Usos da madeira de pinus**. Ano 5, n.29,p.10-11, 1997.

ROBSON,D. What happens with blending in the MDF blowline. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PARTICLEBOARD/COMPOSITE MATERIALS SYMPOSIUM,Twenty-Fifty, Pulman, Washington, 1991. **Proceedings**. Washington : Washington State University, 1991. p. 167-179.

SANDERMANN,W; KUNNEMEYER,O. Uber tracken und halbtrocken (dry und umidy) faserplatten. **Holz als Roh-und werkstoff**, p.12-16. Januar 1969.

SHORT,P.H. Scanning electron microscopy of -60/+80 mesh fiberboard furnish. **Wood Sci.**,v.14,n.1,p.32-40. 1981.

SUNDS DEFIBRATOR. **MDF Industry Update. Worldwide Mill Directory**. 1991.

SUNDS DEFIBRATOR. **Novedades de la industria del MDF. Directorio Mundial de Fabricas**. 1993.

SUNDS DEFIBRATOR. **MDF Industry Update. Mill Directories**.1995.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. Sieve Analysis of Pulpwood Chips . New York: **TAPPI 16**. 1961.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. Fiber Lenght of Pulp by Classification. New York: **TAPPI 233**. 1975.

TWADDLE,A.A.; WATSON,W.F. Quantification of factors chip quality from disc chippers. **Tappi Journal**, p.135-140, October 1992.

WATAI, L.T. Painéis Estruturais. Tendências e Desenvolvimento no Brasil. **Revista da Madeira**, n.28,p.32-33, 1996.

WEHR, T.R.; BARRICHELO, L.E.G. Cozimentos Kraft com Madeira de Eucalyptus grandis de diferentes densidades básicas e dimensões de cavacos. **O Papel**, Maio/1983, p.33-41.

WILSON,J.B.; KRAHMER,R.L. Particleboard: microscopic obsevations of resin distribution and board fracture. **For. Prod. J.**,v.26,n.11,p.42-45.1976.

WOODSON, G.E. Properties of Medium-Density Fiber-Board Related to Hardwood Specific. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PARTICLEBOARD, Eleventh, Pulman, Washington, 1976. **Proceedings**. Washington : Washington State University, 1976. p. 175-192.

YOUNGQUIST,J.A.; MYERS,G.C.; MURMANIS,L.L. Resin distribution in hardboard: evaluated by internal bond strength and fluorescence microscopy. **Wood and Fiber Sci**,v.19,n.2,p215-225.1987.

ANEXO A

ANÁLISE ESTATISTICA

1. Analise de Variança - Resistência à Tração Perpendicular ao Plano

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	F	
Efeito da matéria-prima (M)	4	0,4426	0,1107	3,94	+
Efeito da resina UF (R)	2	1,6825	0,8412	29,98	+ +
Interação MxR	8	0,2225	0,0278	0,99	-
Tratamentos	14	2,3476	0,1677	5,98	+ +
Blocos	2	0,1946	0,0973	3,47	+
Resto	28	0,7856	0,0281		
Total	44	3,3278	0,0756		

2. Análise de Variança - Resistência à Flexão Estática

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	F	
Efeito da matéria-prima (M)	4	100,4724	25,1181	1,33	-
Efeito da resina UF (R)	2	994,3124	497,1562	26,40	+ +
Interação MxR	8	323,7542	40,4693	2,15	-
Tratamentos	14	1418,5391	101,3242	5,38	+ +
Blocos	2	3,0111	1,5056	0,08	-
Resto	28	527,3022	18,8322		
Total	44	1948,8524	44,2921		

3. Análise de Variança - Módulo de Elasticidade Estático

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	F	
Efeito da matéria-prima (M)	4	549854,1836	137463,5459	0,53	-
Efeito da resina UF (R)	2	3259973,3631	1629986,6816	6,26	+ +
Interação MxR	8	2161738,1991	270217,2749	1,04	-
Tratamentos	14	5971565,7458	426540,4104	1,64	-
Blocos	2	508631,0351	254315,5176	0,98	-
Resto	28	7287943,8649	260283,7095		
Total	44	13768140,6458	312912,2874		

4. Análise de Variança - Inchamento de Espessura

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	F	
Efeito da matéria-prima (M)	4	766,1453	191,5363	11,80	+ +
Efeito da resina UF (R)	2	343,9858	171,9929	10,60	+ +
Interação MxR	8	211,8387	26,4798	1,63	-
Tratamentos	14	1321,9698	94,4264	5,82	+ +
Blocos	2	58,2938	29,1469	1,80	-
Resto	28	454,3396	16,2264		
Total	44	1834,6031	41,6955		

5. Análise de Variança - Densidade

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	F	
Efeito da matéria-prima (M)	4	0,0067	0,0017	1,26	-
Efeito da resina UF (R)	2	0,0004	0,0002	0,15	-
Interação MxR	8	0,0096	0,0012	0,91	-
Tratamentos	14	0,0167	0,0012	0,90	-
Blocos	2	0,0021	0,0011	0,81	-
Resto	28	0,0371	0,0013		
Total	44	0,0559	0,0013		

6. Nível de Significância das Análises de Variança

VARIÁVEL	TRATAMENTOS		MATÉRIA-PRIMA		RESINA UF		INTERAÇÃO M X R	
	5%	1%	5%	1%	5%	1%	5%	1%
Densidade	NS		NS		NS		NS	
Res. Tração Perpendicular ao Plano		S	S			S	NS	
Res. Flexão Estática		S	NS			S	NS	
Mod. Elasticidade Estático	NS		NS			S	NS	
Inchamento de Espessura		S		S		S	NS	

Legenda: NS - Não Significativo

S - Significativo

7. Equações da Análise Estatística

VARIÁVEL	EQUAÇÃO
Densidade (g/cm^3)	D = 0,91 - 0,16 M - 0,01 R + 0,02 MR
Resistência à Tração Perpendicular ao Plano (N/mm^2)	T = - 0,324 - 0,269 M + 0,110 R + 0,017 MR
Resistência à Flexão Estática (N/mm^2)	F = 18,76 - 19,02 M + 2,08 R + 1,61 MR
Módulo de Elasticidade Estático (N/mm^2)	E = 2535,8 - 1456,8 M + 91,0 R + 142,9 MR
Inchamento de Espessura (%)	I = 40,7 + 4,2 M - 0,9 R - 1,5 MR

Sendo a equação:

$$\mathbf{y = a + b\,M + c\,R + d\,MR}$$

Onde: y = variável estudada

a = constante

M = matéria-prima (% eucalipto x 0,01)

R = teor de resina (%)

MR = interação matéria-prima/resina (MxR)