

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**CHAPA DE PARTÍCULAS HOMOGÊNEAS DE BAMBU
AGLOMERADAS COM RESINA POLIURETANA
BI-COMPONENTE À BASE DE ÓLEO DE MAMONA**

FLÁVIO JANUÁRIO JOSÉ

**CAMPINAS
FEVEREIRO DE 2006**

**UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
CÉSAR LANTES
DESENVOLVIMENTO DE COLEÇÃO**



PARECER

Este exemplar corresponde à redação final da Dissertação de Mestrado defendida por **Flávio Januário José**, aprovada pela Comissão Julgadora em 23 de fevereiro de 2006.

Campinas, 20 de abril de 2007.

Antonio L. Beraldo

Prof. Dr. Antonio Ludovico Beraldo
Presidente

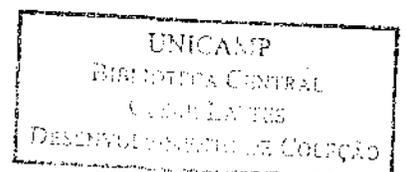
**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**CHAPA DE PARTÍCULAS HOMOGÊNEAS DE BAMBU
AGLOMERADAS COM RESINA POLIURETANA
BI-COMPONENTE À BASE DE ÓLEO DE MAMONA**

Dissertação submetida à Banca
Examinadora para obtenção do
título de Mestre em Engenharia
Agrícola na área de concentração
em Construções Rurais e Ambiente.

**FLÁVIO JANUÁRIO JOSÉ
ORIENTADOR: PROF. DR. ANTONIO LUDOVICO BERALDO**

**CAMPINAS
FEVEREIRO DE 2006**



UNIDADE	BC
Nº CHAMADA:	TIUNICAMP
	J772c
V.	
TOMBO	72531
PROC	16 185-07
C	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
PREÇO	11.29
DATA	16-05/07
BIB-ID	44.1056

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

J772c José, Flávio Januário
Chapa de partículas homogêneas de bambu aglomeradas com resina poliuretana bi-componente à base de óleo de mamona / Flávio Januário José. -- Campinas, SP: [s.n.], 2006.

Orientador: Antonio Ludovico Beraldo
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Bambu. 2. Mamona. 3. Gomas e resinas. 4. Testes não-destrutivos. 5. Chapa de madeira aglomerada. I. Beraldo, Antonio Ludovico. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. III. Título.

Título em Inglês: Homogeneous particleboard from bamboo bonded by polyurethane resin castor oil based

Palavras-chave em Inglês: Bamboo, Homogeneous boards, castor oil, Poliurethane, NDE

Área de concentração: Construções Rurais e Ambiente

Titulação: Mestre em Engenharia Agrícola.

Banca examinadora: Wesley Jorge Freire, Maria Fátima do Nascimento e Marco A. dos Reis Pereira

Data da defesa: 23/02/2006

AO MAIS JOVEM

Preste atenção às coisas mais próximas e mais simples
E procure somente dentro de você mesmo
A força e a grandeza para construir.
Por exemplo:
Olhe que beleza aquela forma redonda.
É apenas uma laranja.
Mas que força explode
E canta o canto do ser no espaço pendurada.

Astro guardando sementes
Contendo o futuro
De milhares de laranjais
E de laranjas iguais.

Sempre diferentes
Em círculo e cor laranja
Perseverança da geometria
Harmonia das esferas – Filosofia
Colorida na mesma cor.
Provocando imagens e imaginação
Vida em tempo de terra
Em tempo de verde
Em tempo de Sol
Amarelo. Amarela. Laranja.
De mistério tangente
De um gesto de colheita.
Ao alcance da mão.

Amílcar de Castro

Dedico este trabalho ao meu avô Tatão,
que com seus 97 anos esteve presente
durante os momentos de realização
deste trabalho, e à minha avó Alzira, que
por muitos anos o acompanhou;

Ao meu avô Sidney e à minha avó Encarnação,
que sempre iluminaram meu caminho.

Agradecimentos

Ao Prof. Dr. Antonio Ludovico Beraldo pela sua amizade, interesse e capacidade em transferir seus conhecimentos;

Aos meus pais Elizabete Cristina Januário José e Renato Sérgio Rodrigues José pelo apoio e confiança;

À minha companheira Ana Carolina de Arruda Camargo, que colaborou com toda a formatação do texto deste trabalho;

Aos amigos:

- Frederico Ghellere, colaborou com a produção das chapas;
- Raphael Mercúrio, colaborou com a apresentação digital deste trabalho;
- Samuel Florêncio, colaborou com a produção dos corpos-de-prova;

Aos integrantes da banca examinadora:

- Em especial à Prof. Dra. Maria Fátima do Nascimento;
- Prof. Dr. Wesley Jorge Freire;
- Prof. Dr. Marco A. dos Reis Pereira;

À KEHL Indústria e Comércio, de São Carlos (SP);

Ao Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira – LaMEM, USP - São Carlos;

À Faculdade de arquitetura PUCCAMP - Pontifícia Universidade Católica de Campinas;

Ao SENAI, unidade de Itatiba;

Ao Centro de Tecnologia da UNICAMP;

Ao CNPq

A todos os amigos e familiares.

SUMÁRIO

	Página
Epígrafe	iii
Dedicatória	iv
Agradecimentos	v
Sumário	vi
Lista de Figuras	x
Lista de tabelas	xiv
Resumo	xviii
Abstract	xix
1. INTRODUÇÃO	01
2. OBJETIVOS	02
2.1. OBJETIVO GERAL	02
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	02
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	03
3.1. DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL	03
3.2. CHAPAS DE PARTÍCULAS AGLOMERADAS	04
3.2.1. Origem das Chapas de Partículas	04
3.2.2. Chapas de Partículas Aglomeradas de Madeira	05
3.2.3. Mercado das Chapas de Partículas	06
3.2.3.1. Mercado Internacional	06
3.2.3.2. Mercado Nacional	06
3.3. Bambu: Características e Utilizações	08
3.3.1. Características Biológicas e Morfológicas dos Colmos	09
3.3.2. Características Anatômicas, Físicas e Químicas dos Colmos de Bambu	10
3.3.3. Características Mecânicas dos Colmos	12
3.3.4. Durabilidade dos Colmos	12
3.4. RESINAS E SUAS APLICABILIDADES	12
3.4.1. Resina Poliuretana à Base de Óleo de Mamona	14
3.4.2. Poliuretanas – PU	14
3.4.3. Adesivo Poliuretano à Base de Óleo de Mamona	15
3.4.4. Aplicações da Resina Poliuretana à Base de Óleo de Mamona	17

3.5. ASPECTOS DA FABRICAÇÃO INDUSTRIAL DAS CHAPAS DE PARTÍCULAS AGLOMERADAS	18
3.6 VARIÁVEIS DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DAS CHAPAS	22
3.6.1 Distribuição em Tamanho das Partículas	22
3.6.2. Efeitos da Umidade na Formação das Chapas de Partículas	25
3.6.3. Efeito da Densidade na Chapa de Partículas	25
3.7 REFERÊNCIAS A DOCUMENTOS NORMATIVOS	26
4. MATERIAIS E MÉTODOS	27
4.1. MATERIAIS	27
4.1.1. Partículas de Bambu	27
4.1.2. Resina Poliuretana Bi-componente à Base de Óleo de Mamona	28
4.1.3. Equipamentos	28
4.2. MÉTODOS	30
4.2.1.Obtenção das Partículas de Bambu	30
4.2.2. Produção das Chapas	34
4.2.2.1. Aplicação do Aglomerante às Partículas de Bambu.	35
4.2.2.2.. Formação do Colchão de Partículas de Bambu	37
4.2.2.3. Prensagem	38
4.2.2.4. Acabamento	40
4.2.3 Métodos de Ensaio	41
4.2.3.1. Determinação da Densidade	43
4.2.3.2. Determinação do Inchamento e da Absorção de água	44
4.2.3.3. Determinação da Resistência ao Arrancamento de Parafuso	46
4.2.3.3.1. Arrancamento de Parafuso da Superfície	46
4.2.3.3.2. Arrancamento de Parafuso do Topo	46
4.2.3.4. Determinação da Dureza Janka	47
4.2.3.5. Determinação da Resistência à Compressão Longitudinal	48
4.2.3.6. Determinação da Resistência à Flexão Estática	49
4.2.3.7. Determinação da Resistência à Tração Perpendicular	50
4.2.4. Ensaio não Destrutivo (END) Aplicado aos Corpos-de-Prova	52
4.2.5. Análise Estatística	53

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
5.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DAS PARTÍCULAS	54
5.1.1 Teor de umidade e Massa Específica Aparente das Partículas	54
5.1.2 Distribuição em Tamanho das Partículas de Bambu	54
5.1.3. Razão de Compactação	55
5.2. ANÁLISE ESTATÍSTICA	55
5.2.1 Espessura	56
5.2.2 Densidade	59
5.2.3 Absorção de Água	62
5.2.3.1 Absorção de Água após 2 h	62
5.2.3.2. Absorção de Água após 24 h	63
5.2.3.3. Absorção de Água após 216 h	64
5.2.4. Inchamento	67
5.2.4.1 Inchamento após 2 h	67
5.2.4.2 Inchamento após 24 h	68
5.2.4.3 Inchamento após 216 h	69
5.2.5. Resistência ao Arrancamento de Parafuso	72
5.2.5.1. Resistência ao Arrancamento de Parafuso da Face	72
5.2.5.2. Resistência ao Arrancamento de Parafuso do Topo	73
5.2.6. Dureza Janka	76
5.2.7. Resistência à compressão longitudinal	77
5.2.8. Resistência em Flexão Estática	79
5.2.9. Resistência à Tração Perpendicular	82
5.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA REFERENTE ÀS CHAPAS DE PARTÍCULAS DE BAMBU COM 10% DE RESINA E DO AGLOMERADO CRU	84
5.3.1 Análise Estatística sobre a Variável Absorção Referente às Chapas de 10% e ao Aglomerado Cru	85
5.3.1.1 Absorção após 2 h	85
5.3.1.2. Absorção após 24 h	86

5.3.2 Análise Estatística sobre a Variável Inchamento Referente às Chapas de 10% e ao Aglomerado Cru	87
5.3.2.1 Inchamento após 2 h	87
5.3.2.2 Inchamento após 24 h	88
5.3.3. Análise Estatística sobre a Variável Dureza Janka Referente às Chapas de 10% e ao Aglomerado Cru	89
5.3.4 Análise Estatística sobre a Variável Compressão Longitudinal Referente às Chapas de 10% e ao Aglomerado Cru	90
5.3.5 Análise Estatística sobre a Variável Flexão Estática Referente às Chapas de 10% e ao Aglomerado Cru.	91
5.4. END Aplicado aos Corpos-de-Prova	92
5.5. DISCUSSÕES GERAIS	95
6. CONCLUSÕES	96
6.1 CONCLUSÕES GERAIS	97
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	98

LISTA DE FIGURAS

	Páginas
Figura 01. Distribuição do consumo de aglomerado.	07
Figura 02. Representação química da formação de uma poliuretana.	15
Figura 03. Lavoura de mamona.	16
Figura 04. Esquema de produção de chapas de partículas da Eucatex.	18
Figura 05. Toras de eucalipto.	19
Figura 06. Obtenção das partículas.	19
Figura 07. Partículas de eucalipto.	20
Figura 08. Misturador.	20
Figura 09. Formadora de colchão.	20
Figura 10. Prensagem das chapas.	21
Figura 11. Processo de acabamento.	21
Figura 12. Touceira de <i>B. vulgaris</i> .	27
Figura 13. Corte do <i>B. vulgaris</i> .	27
Figura 14. Desintegrador agrícola acoplado a um trator.	30
Figura 15. Porções separadas de bambu picado.	31
Figura 16. Colmo de bambu picado.	31
Figura 17. Ramos com folhas picados.	31
Figura 18. Secagem dos pedaços de bambu.	32
Figura 19. Desintegrador agrícola com peneira.	33
Figura 20. Classificação das partículas.	33
Figura 21. Partículas de bambu.	35

Figura 22.	Componentes da resina.	35
Figura 23.	Adição da resina às partículas.	36
Figura 24.	Homogeneização da mistura.	36
Figura 25.	Formadora de colchão.	37
Figura 26.	Regularização do colchão.	37
Figura 27.	Retirada da fôrma.	37
Figura 28.	Colchão de partículas.	37
Figura 29.	Colchão na prensa.	38
Figura 30.	Prensa hidráulica Marconi.	39
Figura 31.	Lixamento das superfícies.	40
Figura 32.	Retirada das bordas.	40
Figura 33.	Diferença de adensamento.	40
Figura 34.	Chapas com e sem acabamento.	40
Figura 35.	Corpos-de-prova.	41
Figura 36.	Pesagem e medição.	45
Figura 37.	Amostras submersas.	45
Figura 38.	Localização do parafuso – face.	46
Figura 39.	Localização do parafuso – topo.	46
Figura 40.	Penetração da esfera.	47
Figura 41.	Distância entre os pontos de carga.	47
Figura 42.	Aplicação da carga.	49
Figura 43.	Linhas de ruptura.	49
Figura 44.	Aplicação de carga.	50

Figura 45.	Linha de ruptura.	50
Figura 46.	Ensaio de tração perpendicular.	51
Figura 47.	Ensaio de ultra-som.	52
Figura 48.	Espessuras das amostras das chapas de partículas de bambu.	58
Figura 49.	Média das espessuras das amostras das chapas de partículas de bambu e comerciais.	59
Figura 50.	Densidade das amostras das chapas de partículas de bambu.	61
Figura 51.	Média de densidade das amostras das chapas de partículas de bambu e comerciais.	62
Figura 52.	Média de absorção de água das amostras das chapas de partículas de bambu e chapas comerciais em 2 h, 24 h e 216 h.	66
Figura 53.	Painéis de vedação.	67
Figura 54.	Forros.	67
Figura 55.	Média de inchamento em espessura das amostras de chapas de partículas de bambu e chapas comerciais após 2 h, 24 h e 216 h de imersão em água.	71
Figura 56.	Média dos valores de tração de parafuso da face nas amostras das chapas de partículas de bambu.	75
Figura 57.	Média dos valores de tração de parafuso do topo nas amostras das chapas de partículas de bambu.	75
Figura 58.	Média dos valores de dureza Janka nas amostras das chapas de partículas de bambu e de chapas comerciais.	77
Figura 59.	Média dos valores de compressão longitudinal nas amostras das chapas de partículas de bambu e das chapas comerciais.	79

Figura 60.	Média dos valores de flexão estática nas amostras das chapas de partículas de bambu, das chapas comerciais e da norma.	81
Figura 61.	Média dos valores de tração perpendicular nas amostras das chapas de partículas de bambu e da norma.	84

LISTA DE TABELAS

	Páginas
Tabela 01. Dimensões e quantidades de corpos-de-prova.	42
Tabela 02. Análise de variância referente aos efeitos do teor de resina em função da massa de partículas de bambu, sobre a variável espessura, em mm.	57
Tabela 3. Análise do efeito do teor de resina em função da massa de partículas de bambu, nos valores médios de espessura, em mm.	57
Tabela 4. Análise de variância referente aos efeitos do teor de resina em função da massa de partículas de bambu, sobre a variável densidade, em kg/m ³ .	60
Tabela 5. Análise do efeito do teor de resina em função da massa de partículas de bambu, nos valores médios de densidade, em kg/m ³ .	60
Tabela 6. Análise de variância referente aos efeitos do teor de resina em função da massa de partículas de bambu, sobre a variável absorção de água em 2 h, em %.	63
Tabela 7. Análise do efeito do teor de resina em função da massa de partículas de bambu, nos valores médios de absorção de água em 2 h, em %.	63
Tabela 8. Análise de variância referente aos efeitos do teor de resina em função da massa de partículas, sobre a variável absorção de água após 24 h, em %.	64
Tabela 9. Análise do efeito do teor de resina em função da massa de partículas de bambu, nos valores médios de absorção de água após 24 h, em %.	64
Tabela 10. Análise de variância referente aos efeitos do tratamento, teor de resina, em função da massa de partículas de bambu, sobre a variável absorção de água após 216 h, em %.	65
Tabela 11. Análise do efeito do teor de resina em função da massa de partículas de bambu, nos valores médios de absorção de água após 216 h, em %.	65
Tabela 12. Análise de variância referente aos efeitos do tratamento, teor de resina, em função da massa de partículas de bambu, sobre a variável inchamento após 2 h, em %.	68
Tabela 13. Análise do efeito do teor de resina em função da massa de partículas de bambu, nos valores médios de inchamento após 2 h, em %.	68

Tabela 14.	Análise de variância referente aos efeitos do teor de resina, em função da massa de partículas de bambu, sobre a variável inchamento após 24 h, em %.	69
Tabela 15.	Análise do efeito do teor de resina em função da massa de partículas de bambu, nos valores médios de inchamento em 24 h, em %.	69
Tabela 16.	Análise de variância referente aos efeitos do teor de resina em função da massa de partículas de bambu, sobre a variável inchamento após 216 h, em %.	70
Tabela 17.	Análise do efeito do teor de resina em função da massa de partículas de bambu, nos valores médios de inchamento após 216 h, em %.	70
Tabela 18.	Análise de variância referente aos efeitos do Teor de resina em função da massa de partículas de bambu, sobre a variável arrancamento de parafuso da face, em N.	72
Tabela 19.	Análise do efeito do teor de resina em função da massa de partículas de bambu, nos valores médios de arrancamento de parafuso da face, em N.	73
Tabela 20.	Análise de variância referente aos efeitos do teor de resina, em função da massa de partículas de bambu, sobre a variável arrancamento de parafuso do topo, em N.	74
Tabela 21.	Análise do efeito dos teores resina em função da massa de partículas de bambu, nos valores médios de arrancamento de parafuso do topo, em N.	74
Tabela 22.	Análise de variância referente aos efeitos do teor de resina, em função da massa de partículas de bambu, sobre a variável dureza Janka, em N.	76
Tabela 23.	Análise do efeito do teor de resina em função da massa de partículas de bambu, nos valores médios de dureza Janka, em N.	76
Tabela 24.	Análise de variância referente aos efeitos do teor de resina, em função da massa de partículas de bambu, sobre a variável compressão longitudinal, em MPa.	78
Tabela 25.	Análise do efeito do teor de resina em função da massa de partículas de bambu, nos valores médios de compressão longitudinal, em MPa.	78
Tabela 26.	Análise de variância referente aos efeitos do teor de resina, em função da massa de partículas de bambu, sobre a variável flexão estática, em MPa.	80

Tabela 27.	Análise do efeito do teor de resina em função da massa de partículas de bambu, nos valores médios de flexão estática, em MPa.	80
Tabela 28.	Análise de variância referente aos efeitos do teor de resina em função da massa de partículas de bambu, sobre a variável tração perpendicular, em MPa.	82
Tabela 29.	Análise do efeito do teor de resina em função da massa de partículas de bambu, nos valores médios de tração perpendicular, em MPa.	83
Tabela 30.	Análise de variância referente às chapas de partículas de bambu com 10% de resina e as chapas de aglomerado cru, sobre a variável absorção após 2 h, em %.	86
Tabela 31.	Análise do efeito entre as chapas de partículas de bambu com 10% de resina e as chapas de aglomerado cru, nos valores médios de absorção após 2 h, em %.	86
Tabela 32.	Análise de variância referente às chapas de partículas de bambu com 10% de resina e as chapas de aglomerado cru, sobre a variável absorção após 24 h, em %.	87
Tabela 33.	Análise do efeito entre as chapas de partículas de bambu com 10% de resina e as chapas de aglomerado cru, nos valores médios de absorção após 24 h, em %.	87
Tabela 34.	Análise de variância referente às chapas de partículas de bambu com 10% de resina e as chapas de aglomerado cru, sobre os dados referentes à variável inchamento após 2 h, em %.	88
Tabela 35.	Análise do efeito entre as chapas de partículas de bambu com 10% de resina e as chapas de aglomerado cru, nos valores médios de inchamento após 2 h, em %.	88
Tabela 36.	Análise de variância referente às chapas de partículas e bambu com 10% de resina e as chapas de aglomerado cru, sobre a variável inchamento após 24 h, em %.	89
Tabela 37.	Análise do efeito entre as chapas de partículas de bambu com 10% de resina e as chapas de aglomerado cru, nos valores médios de inchamento após 24 h, em %.	89
Tabela 38.	Análise de variância referente às chapas de partículas de bambu com 10% de resina e as chapas de aglomerado cru, sobre a variável dureza Janka, em N.	90
Tabela 39.	Análise do efeito entre as chapas de partículas de bambu com 10% de resina e as chapas de aglomerado cru, nos valores médios de dureza Janka, em N.	90

Tabela 40.	Análise de variância referente às chapas de partículas de bambu com 10% de resina e as chapas de aglomerado cru, sobre a variável compressão longitudinal, em MPa.	91
Tabela 41.	Análise do efeito entre as chapas de partículas de bambu com 10% de resina e as chapas de aglomerado cru, nos valores médios de compressão longitudinal, em MPa.	91
Tabela 42.	Análise de variância referente às chapas de partículas de bambu com 10% de resina e as chapas de aglomerado cru, sobre a variável flexão estática, em MPa.	92
Tabela 43.	Análise do efeito entre as chapas de partículas de bambu com 10% de resina e as chapas de aglomerado cru, nos valores médios de flexão estática, em MPa.	92
Tabela 44.	Análise de variância referente ao teor de resina nas chapas de partículas de bambu, sobre a variável VPU na direção do comprimento.	93
Tabela 45.	Análise do efeito do teor de resina nas chapas de partículas de bambu, nos valores médios VPU na direção do comprimento.	93

RESUMO

A pesquisa sobre o tema “Chapa de Partículas Homogêneas de Bambu aglomeradas com Resina Poliuretana à Base de Óleo de Mamona” teve como finalidade a confecção e a avaliação de chapas de partículas homogêneas aglomeradas, utilizando-se de dois materiais alternativos considerando a sustentabilidade do processo produtivo. Foram utilizadas partículas de *Bambusa vulgaris* devido à rapidez de crescimento dessa espécie de bambu, e da possibilidade de ser cultivado em praticamente todo o território brasileiro. Como adesivo foi utilizada a resina poliuretana à base de óleo de mamona, por ser de origem parcialmente renovável e, ao contrário dos adesivos convencionais, ser considerada não tóxica. Para a caracterização do material estudado, foram produzidas, em escala de laboratório, chapas cujas partículas de bambu utilizadas na sua composição, apresentaram espessura inferior a 2,4 mm, e aglomeradas com 5%, 10% e 15% de resina em relação à massa de partículas de bambu. Corpos-de-prova foram submetidos a ensaios físicos (controle de espessura, densidade, absorção de água e inchamento) e mecânicos (arrancamento de parafuso da superfície e do topo, dureza Janka, compressão longitudinal, flexão estática e tração perpendicular, segundo as recomendações da NBR 14810 - Chapas de madeira aglomerada). Corpos-de-prova destinados ao ensaio de compressão longitudinal também foram avaliados por meio de ensaio não destrutivo (END) por ultra-som. Os resultados obtidos foram comparados estatisticamente, sendo que o teor de resina em relação à massa de partículas de bambu afetou as propriedades físicas e mecânicas das chapas. O teor de 10% de resina não diferiu estatisticamente do teor 15%, sendo ambos superiores ao teor 5%. Embora o END tenha sido sensível para detectar o efeito dos teores de resina na velocidade do pulso ultra-sônico (VPU) através dos corpos-de-prova, não foi possível correlacionar a VPU com a resistência à compressão longitudinal. Para a maioria das propriedades avaliadas houve diferença estatística entre as chapas com 10% de resina e chapas de aglomerado cru disponíveis comercialmente, sendo que as chapas de aglomerado cru demonstraram resultados superiores, com exceção ao ensaio de inchamento em 24 h.

Palavras-chaves: bambu, chapas homogêneas, óleo de mamona, poliuretana, END

ABSTRACT

The aim of this research “Homogeneous Particleboard of Bamboo Bonded with Polyurethane Resin Castor Oil Based” was to manufacture and to evaluate particleboards made with two alternative materials, looking for the productive process sustainability. Particles from *Bambusa vulgaris* were employed due to its fast production cycle and its availability in Brazilian country. Polyurethane resin castor oil based was employed as a binder because it is partially produced by a renewable source and its low toxicity. For the material characterization it was manufactured at laboratory scale boards from bamboo particles smaller than 2.4 mm combined with 5%, 10% e 15% of resin in relation to the bamboo particles mass. Specimens were submitted to physical (thickness control, density, water absorption and swelling after 2 hrs and 24 hrs of immersion in water) and mechanical (nail withdraw on surface and top, Janka hardness, longitudinal compression strength, static bending and internal bond) evaluations according to the Brazilian Standard NBR 14810 – Boards of agglomerate wood. Specimens evaluated in longitudinal compression were previously tested through a Non Destructive Evaluation (NDE) by ultrasonic method. The results were statistically compared and showed that resin content related to bamboo particles affected the physical and mechanical board properties. 10% resin content was not statistically different of 15% resin content, both superior to 5% resin content. Nevertheless NDE has been sensible to detect resin content effect on ultrasonic pulse velocity (UPV) across the specimens it was not possible to correlate with longitudinal compression strength. In most of the properties evaluated there was a statistical difference between bamboo particles boards with 10% resin content and the commercial agglomerated boards, being the commercial agglomerated boards demonstrated superior results, with exception to the swelling after 24 hrs.

Keywords: bamboo, homogeneous boards, castor oil, polyurethane, NDE

1. INTRODUÇÃO

A produção de chapas de partículas aglomeradas, segundo Kollman *et al.* (1975), foi efetivada, de fato, devido à escassez de madeira na Alemanha nos anos 40, durante o período da Segunda Guerra Mundial.

Atualmente as empresas brasileiras com maior capacidade produtora de chapas de madeira aglomerada, como a Duratex e a Eucatex, têm como matéria-prima, partículas derivadas de espécies arbóreas dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*, e, segundo Eleotério (2000), 90% das indústrias utilizam resinas uréia-formaldeído, que possuem baixa resistência à umidade e alto teor de toxicidade.

Como alternativa para a produção de partículas, foram encontradas no bambu características que superam as do pinus e do eucalipto. Uma das vantagens deve-se ao fato de o bambu ser uma matéria-prima possível de ser cultivada em praticamente todas as regiões do Brasil e seus colmos poderem ser colhidos, segundo Beraldo e Azzini (2004), em dois a três anos após a brotação para a espécie *Bambusa vulgaris*. Esta espécie de bambu é cultivada em grandes áreas do Nordeste, visando o suprimento de matéria-prima para a fabricação de papel e celulose. Para o pinus e o eucalipto, estes ciclos, segundo a Sociedade Brasileira de Silvicultura (SBS, 2004), estão, respectivamente, em torno de 10 anos e 7 anos para a produção de partículas.

Para fabricar as chapas de partículas homogêneas pode-se utilizar a resina poliuretana bi-componente à base de óleo de mamona, por se tratar de um material considerado não tóxico e derivado em grande parte de fonte renovável. Esta é uma vantagem em relação aos adesivos convencionais, compostos em sua maioria de matéria-prima não renovável, além de serem prejudiciais à saúde dos trabalhadores por se tratar de um produto cancerígeno.

A produção de chapas de partículas de madeira possibilita a fabricação de móveis, divisórias, pisos e revestimentos, sem a necessidade de efetuar o corte de grandes árvores, as quais levam muitos anos para atingir as dimensões necessárias a geração de partículas utilizadas na confecção de chapas maciças para fabricação destes objetos.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Este trabalho teve como objetivo a produção e a caracterização de chapas de partículas homogêneas de bambu aglomeradas com resina poliuretana bi-componente à base de óleo de mamona.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

.Avaliar estatisticamente a influência da utilização de três teores de resina poliuretana bi-componente à base de óleo de mamona (5%, 10% e 15%), em relação à massa de partículas de bambu;

. Comparar os valores obtidos pelos ensaios referentes às amostras das chapas de partículas de bambu, com os valores encontrados na NBR 14810-2: Requisitos;

.Comparar estatisticamente os valores obtidos nos ensaios referentes às amostras da chapa de partículas de bambu que apresentaram melhores resultados, com amostras retiradas de chapas de partículas aglomeradas cruas adquiridas comercialmente;

. Avaliar por meio de ensaio não destrutivo (END) por ultra-som o efeito dos teores em resina na velocidade de propagação da onda ultra-sônica e sua correlação com a resistência à compressão longitudinal.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Atualmente existem diversas definições para o significado do termo sustentabilidade, criado pelos americanos com o propósito de definir o conjunto de regras e questões que envolvem o presente e o futuro de um produto e sua relação com o meio ambiente.

O Centro Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD) definiu o desenvolvimento sustentável como sendo “um processo de transformação, no qual a exploração de recursos, a direção de investimentos, a orientação do desenvolvimento tecnológico e a mudança institucional se harmonizem e reforcem o potencial presente e futuro, a fim de atender às necessidades humanas”. Ou seja, quando um novo produto é lançado no mercado, além dos custos econômicos, devem ser igualmente considerados os custos sociais e ambientais, desde o começo até o final da sua vida útil.

No entanto, deve-se ter o cuidado para manter esta balança equilibrada e aberta a todos os outros valores possíveis de serem integrados, como aspectos culturais, científicos, tecnológicos e outros, sem cair no radicalismo simplista de se levar em consideração apenas um ou outro valor específico. Este fato é frequentemente observado pelo surgimento de guetos ideológicos divergentes e dogmáticos, que se desenvolvem alimentando o próprio fracasso.

A condição de sustentabilidade não deve ser encarada apenas como sendo uma tendência; é necessário que ocorra um dinamismo que favoreça suas adaptações às novas circunstâncias, aos imprevistos e aos fatos impostos pela realidade, apresentando um caráter progressivo, com políticas de inclusão e multidisciplinaridade.

3.2. CHAPAS DE PARTÍCULAS AGLOMERADAS

As informações e referências contidas nos itens, que serão apresentados sobre as chapas de partículas de madeira aglomeradas, foram ordenadas e sintetizadas a partir da Tese de Doutorado de Maria Fátima do Nascimento: CPH - Chapas de Partículas Homogêneas – Madeiras do Nordeste do Brasil (2003).

3.2.1. Origem das Chapas de Partículas

Segundo Kollmann *et al.* (1975), a idéia de produzir chapas de partículas vem sendo desenvolvida ao longo da história. As chapas de madeira aglomerada foram patenteadas em 1901 (USP Watson, sob o número 796545).

No ano de 1940, a primeira produção de chapas de partículas de madeira se efetivou na Alemanha. Devido à escassez de madeira maciça durante a 2ª Guerra Mundial, foi criada a primeira fábrica para a produção de chapas de partículas de madeira aglomerada. As partículas de madeira procediam do processamento de resíduos obtidos com o auxílio de moinhos, nos quais eram produzidas lascas grossas.

Em 1943, iniciou-se, com duas pequenas empresas, a produção de chapas de partículas utilizando resíduos de serraria. Em 1944, com a evolução tecnológica, desenvolveram-se as primeiras máquinas destinadas à indústria de chapas de partículas de madeira.

Em 1946, a indústria aeronáutica mostrou-se interessada na utilização de chapas de partículas de madeira. Evidentemente as chapas a serem utilizadas deveriam ser de alta qualidade e, nesse momento, iniciou-se a preocupação com suas características: controle de espessura, tipo de adesivo mais adequado, avaliação da densidade e da resistência das chapas.

A partir daí, os aperfeiçoamentos na fabricação das chapas de partículas de madeira direcionaram-se em escala crescente por meio da automatização e da preocupação com a qualidade. Neste momento, gerou-se nova utilização das chapas como divisórias e cogitou-se na sua aplicação na face externa de residências e de construções comerciais.

Em 1967, a indústria de chapa de partículas já havia se expandido por toda a Europa, América do Norte, União Soviética, Japão, América Latina e África.

Em 1967 nasceu a ABIMA – Associação Brasileira da Indústria de Madeira Aglomerada, transformada em 1994 em ABIPA - Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira.

De acordo com BNDES (2004), no Brasil, no início da década de 1970, o segmento produtor de painéis de chapas de partículas de madeiras aglomeradas expandiu consideravelmente sua capacidade, tendo como estímulos as expectativas favoráveis sobre a demanda, bem como os incentivos concedidos pelo CDI (Conselho Industrial do Ministério da Indústria e do Comércio).

A partir de 1991, com o crescimento expressivo da demanda por chapas de partículas de aglomerado, houve a necessidade de importação do produto devido ao aumento de renda *per capita*, bem como pela incorporação de consumidores de móveis populares. Atualmente esta situação já se encontra equilibrada, haja vista a exportação, por indústrias conceituadas, de chapas de partículas de madeira aglomerada.

3.2.2. Chapas de Partículas Aglomeradas de Madeira

Maloney (1977) e Tonissi (1985) definiram a madeira aglomerada como sendo o material formado por partículas de madeira de várias dimensões, impregnadas de resinas sintéticas (adesivos industrializados) e naturais, e prensadas sob a ação do calor. A madeira a ser utilizada na produção das chapas poderá ser de baixa e média densidade. Na formação das chapas considera-se a umidade, a temperatura, a pressão, a resistência desejada e a aplicabilidade (interna e externa).

A matéria-prima utilizada na fabricação das chapas poderá ser:

- Material florestal proveniente de desbastes e podas;
- Resíduos industriais grosseiros, tais como: costaneiras, sobras de destopo, miolo de toras laminadas, etc;
- Resíduos industriais finos, tais como pó-de-serra e cavacos de plaina;
- Cavacos de madeira do beneficiamento de indústria de móveis e carpintaria;

- Materiais lignocelulósicos, tais como bagaço de cana, palha de arroz e outros resíduos agrícolas puros ou misturados com partículas de madeira.

As dimensões das partículas influenciam na classificação das chapas, as quais podem ser chapas homogêneas e chapas de camadas múltiplas ou heterogêneas (formadas por mais de três camadas). Nesse último caso, as partículas constituintes são distribuídas em operações sucessivas, simetricamente em relação a uma camada central. As camadas centrais são formadas por partículas maiores, sendo as menores dispostas nas camadas externas (TONISSI, 1985).

3.2.3. Mercado das Chapas de Partículas

3.2.3.1. Mercado Internacional

Dentre os principais produtores de chapas de partículas de madeira aglomerada destacam-se a Alemanha, com 17% da produção mundial e os EUA, com 14%. O Brasil detém apenas 2% da fabricação de chapas de madeira aglomerada (VALENÇA *et al.*, 2000).

3.2.3.2. Mercado Nacional

O Brasil é considerado um dos países mais avançados do mundo na fabricação de painéis de madeira aglomerada e de MDF - Medium Density Fiberboard (ou chapa de média densidade). É também o país com o maior número de fábricas de última geração. Entre 1995 até 2004, as empresas investiram mais de US\$ 1,2 bilhão destinados à instalação de novas unidades industriais, à atualização das plantas já existentes, à implantação de linhas contínuas de produção e de novos processos de impressão, de impregnação, de revestimento e de pintura (ABIPA 2006).

Com capacidade de produção de 5,4 milhões de m³ ao ano, o faturamento do setor, que gerou 25 mil postos de trabalho em 2003 foi de US\$ 767 milhões (FOB).

Nos últimos quatro anos, segundo a ABIPA (2005), conforme disponível em <http://www.abipa.org.br>, o faturamento do setor cresceu 19% e as exportações aumentaram em 74%.

Os produtos originados pelo setor foram:

Aglomerado de madeira – em 1994 a produção foi de 770 mil m³; em 2004 a produção foi de 2,820 milhões m³;

Chapas de fibra de madeira – em 1994 a produção foi de 575 mil m³; em 2004 a produção foi de 610 mil m³;

MDF de madeira – início da produção em 1997; em 2004 a produção foi de 1,720 milhões m³.

Os pólos moveleiros são os principais mercados consumidores de chapas de madeira aglomerada, sendo que 80% a 90% da produção são destinadas à fabricação de móveis (**Figura 01**).

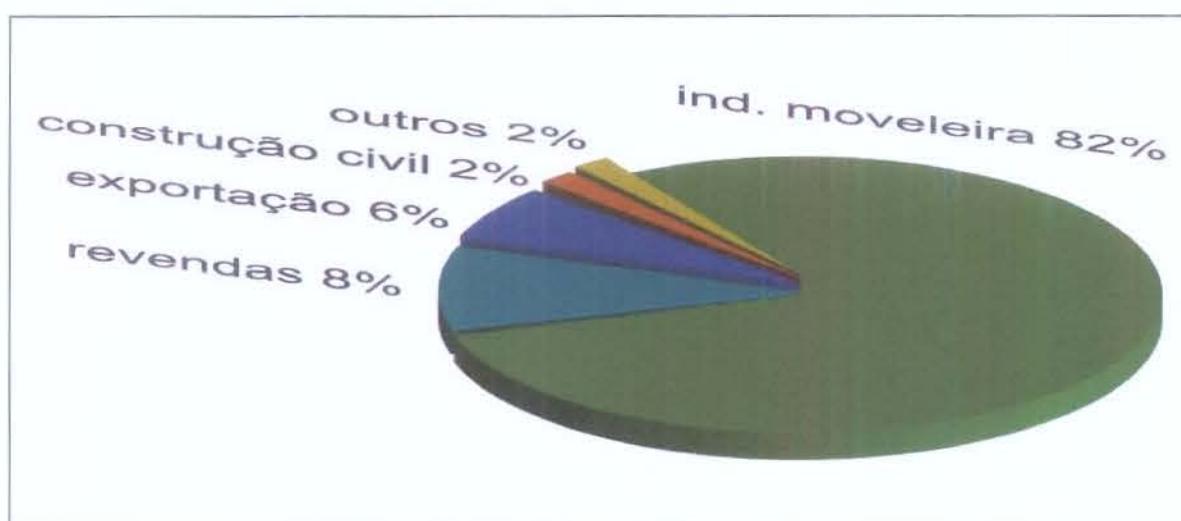


Figura 01. Distribuição do consumo de aglomerado.

Fonte: STCP Engenharia de Projetos.

O segmento de painéis de madeira possui, segundo a ABIPA (2005), 10% das florestas plantadas no Brasil, o que representa 420 mil hectares de plantação de pinus e eucalipto. Estas plantações estão situadas em Goiás, Santa Catarina, São Paulo, Paraná, Minas Gerais e Rio Grande do Sul.

O Brasil produz painéis de grande qualidade, pois, enquanto outros países mais desenvolvidos produzem chapas cuja matéria-prima é proveniente de resíduos, o Brasil utiliza cavacos gerados de árvores plantadas especificamente para este fim.

Tendo em vista o grande volume de madeira requerido no processo industrial de fabricação de chapas de madeira aglomerada, torna-se necessário o aumento na oferta de matéria-prima, principalmente com espécies de rápido crescimento, por exemplo, como é o caso do bambu.

As principais empresas que dominam o mercado nacional são: Berneck Aglomerados S/A, Duratex S/A, Eucatex S/A Indústria e Comércio, Satipel Industrial S/A, Placas do Paraná S/A, Tafisa Brasil S/A e Bonet. As principais matérias-primas utilizadas são provenientes de espécies de reflorestamento dos gêneros *Pinus e Eucalyptus*. As resinas mais utilizadas são uréia-formaldeído e fenol-formaldeído, sendo também utilizados outros insumos, tais como, emulsões, parafina, catalisadores e outras substâncias.

3.3. Bambu: Características e Utilizações

As informações sobre o bambu, que se apresentam a seguir, são sínteses de informações disponíveis no livro “Bambu: Características e aplicações”, de autoria de Beraldo e Azzini (2004), e estão dispostas de maneira a se adequarem ao presente trabalho.

De acordo com Lin (1968), citado pelos autores precedentes, os bambus pertencem à família *Graminae* e sub-família *Bambusoideae*, algumas vezes tratados separadamente como pertencentes à família *Bambusaceae*, com aproximadamente 45 gêneros e mais de 1000 espécies espalhadas pelo mundo. A maior diversidade de espécies é encontrada nos continentes asiático e americano, sendo o bambu inexistente naturalmente na Europa.

As espécies disponíveis de bambu podem ser divididas em dois grupos: entouceirantes (*Bambusa tuldoides*, *Bambusa vulgaris*, *B. vulgaris* var. *vittata*, *Dendrocalamus giganteus* e *D. latiflorus*, dentre outros) e alastrantes (principal gênero é o *Phyllostachys*).

Botanicamente, o bambu é uma monocotiledônea classificada como uma espécie não-arbórea, com características totalmente diferenciadas das espécies arbóreas ou madeiras.

Um fator essencial para a sustentabilidade de um cultivo de bambu, refere-se ao fato de que, em condições naturais, o bambu se desenvolve associado com as diversas espécies existentes na floresta, sendo possível, portanto, o seu cultivo no sistema de agrofloresta evitando-se a formação de monoculturas que esgotam o solo.

Segundo Longhi (1998), citado por Beraldo e Azzini (2004), o bambu funciona como espécie cicatrizante do ecossistema, ocupando rapidamente áreas devastadas da floresta.

Do ponto de vista agrônomo, o interesse pelo bambu está intimamente relacionado com a perenidade das touceiras e ao seu rápido desenvolvimento vegetativo que viabiliza colheitas após a brotação, de dois a três anos, e elevados níveis de produção (BERALDO e AZZINI, 2004).

O bambu é uma espécie florestal de grande valor e utilidade, devido às suas amplas possibilidades agrônomicas e tecnológicas como matéria-prima fibrosa industrial, artesanal e como material estrutural e de vedação, principalmente sob a forma de chapas de partículas aglomeradas, ou de laminados colados.

3.3.1. Características Biológicas e Morfológicas dos Colmos

O bambu, diferentemente das espécies arbóreas, é uma planta rizomatosa, constituída por três estruturas básicas: uma aérea – representada pelos colmos, ramos e folhas, e duas subterrâneas – representadas pelas raízes e rizomas. O rizoma é o elemento básico da touceira, responsável pela propagação e interligação dos colmos. Assim como os colmos e ramos, os rizomas são estruturas axiais segmentadas, constituídas alternadamente por nós e internódios (BERALDO e AZZINI, 2004).

A principal característica biológica do bambu está relacionada com o desenvolvimento dos colmos, os quais se reproduzem anualmente, aumentando suas dimensões até atingir o limite da espécie. Embora a touceira de bambu seja perene, o ciclo de vida dos colmos depende da espécie considerada.

A composição estrutural confere aos colmos de bambu elevada resistência mecânica, leveza e flexibilidade. As quantidades de nós, internódios e vazios existentes nos colmos de bambu variam, principalmente, com a espécie e com o diâmetro dos colmos.

Nas condições de clima e solo do Instituto Agronômico de Campinas (IAC), a velocidade máxima de crescimento dos colmos variou de 7,88 cm/dia a 22,00 cm/dia, respectivamente, para as espécies *Guadua angustifolia* e *D. giganteus* (AZZINI *et al.*, 1989, citados por Beraldo e Azzini, 2004). É importante ressaltar que os colmos de bambu atingem o desenvolvimento máximo em altura em um período de 80 dias a 110 dias (NOMURA *et al.*, 1986, citados por Beraldo e Azzini, 2004). As substâncias de reserva utilizadas para o desenvolvimento de novos colmos são acumuladas nos colmos antigos (células parenquimatosas) e rizomas da touceira, na forma de amido.

3.3.2. Características Anatômicas, Físicas e Químicas dos Colmos de Bambu

As propriedades dos colmos de bambu estão intimamente relacionadas com a estrutura anatômica apresentada pelos nós e internódios. Basicamente, os colmos de bambu são constituídos por feixes fibrovasculares, circundados por um tecido parenquimatoso rico em substâncias de reservas, na forma de amido. As células do tecido parenquimatoso, as fibras e os vasos são os principais elementos anatômicos existentes nos colmos. Segundo Liese (1980), citado por Beraldo e Azzini (2004), as quantidades desses elementos são de, respectivamente, 50%, 40% e 10%, em relação à parede do colmo.

Os colmos de bambu, ao contrário das espécies arbóreas (madeiras), não apresentam elementos anatômicos na direção radial, pois só crescem em comprimento durante um certo período. Nos internódios, os elementos anatômicos estão dispostos na direção longitudinal. A interconexão transversal dos colmos se verifica nos nós, por meio de uma intensa ramificação de elementos de vasos. Na direção transversal, os feixes fibrovasculares concentram-se mais na parte externa da parede dos colmos, contrastando com a parte interna, onde predomina o tecido parenquimatoso.

A fração lignocelulósica ou fibrosa dos colmos é proveniente, basicamente, dos feixes fibrovasculares. O tecido fundamental ou parenquimatoso é formado por células

alongadas, dispostas axialmente, e intercaladas por células prismáticas mais curtas. As células alongadas possuem paredes mais espessas e se lignificam com o desenvolvimento dos colmos. As células mais curtas, ao contrário das longas, possuem paredes celulares mais delgadas e não se lignificam mesmo em colmos adultos. Essas células se mantêm em atividade fisiológica por longos períodos, podendo armazenar quantidades significativas de amido. A intercomunicação dessas células se verifica por meio de pontuações simples localizadas ao longo de suas paredes. O tecido parenquimatoso, ao contrário dos feixes fibrovasculares, concentra-se mais nas camadas da parede interna dos colmos, diminuindo gradativamente em direção às camadas mais externas. Na direção axial, o tecido parenquimatoso decresce da base para a extremidade dos colmos. Os vasos são mais largos e se concentram menos nas camadas mais internas dos colmos, tornando-se menores e mais numerosos nas camadas mais externas.

A densidade básica é uma importante característica física dos colmos de bambu, apresentando variações acentuadas entre colmos de uma mesma espécie. Entre as espécies, a densidade básica dos colmos normalmente varia de $0,50 \text{ g/cm}^3$ a $0,80 \text{ g/cm}^3$.

Na espécie *B. vulgaris*, a densidade básica dos colmos cresce das camadas internas para as externas dos colmos variando de $0,43 \text{ g/cm}^3$ a $0,76 \text{ g/cm}^3$, respectivamente. Na direção longitudinal, a densidade básica cresce da base para a extremidade dos colmos.

Em média a espécie *B. vulgaris* apresenta colmos com comprimento igual a 15,7 m, com diâmetro de 10 cm e massa igual a 40 kg.

Os principais constituintes químicos dos colmos de bambu são carboidratos, denominados como holocelulose (~65%), lignina (~18%) e várias outras substâncias denominadas genericamente de extrativos (~15%). Essa composição química varia com a espécie de bambu, com a idade dos colmos, com as condições de crescimento das touceiras e com as regiões do colmo. A principal característica do bambu, relacionada com sua composição química, é a presença de amido em seu tecido parenquimatoso.

O bambu fornece fibras longas, e apresenta elevada produção de massa fibrosa por unidade de área. No Maranhão, a empresa Itapagé (www.itapage.com) dispõe de cerca de 40 mil hectares destinados ao plantio de bambu, para suprimento de matéria-prima para a produção de celulose e papel.

3.3.3. Características Mecânicas dos Colmos

De acordo com Lee *et al.* (1997), citados por Beraldo e Azzini (2004), as propriedades mecânicas de colmos de *Phyllostachys bambusoides*, aumentaram da base para a extremidade do colmo. A exemplo do que ocorre com outros materiais, o colmo ensaiado na condição seca ao ar foi mais resistente do que aqueles ensaiados na condição saturada (verde).

Os valores ressaltam a grande possibilidade de uso do bambu como material de construção, pois, mesmo com reduzida massa específica, apresenta grande resistência mecânica, sobretudo em tração. Além disso, consome-se pouca energia para a produção do bambu, contrariamente àquela requerida para outros materiais (BERALDO e AZZINI, 2004).

3.3.4. Durabilidade dos Colmos

O período em que os colmos de bambu, ou qualquer material lignocelulósico, permanecem em serviço depende da resistência (durabilidade) natural que cada um apresenta contra os organismos xilófagos. A elevada durabilidade natural de determinadas espécies arbóreas está associada à presença do cerne, em cuja constituição química encontram-se substâncias denominadas genericamente de extrativos. Esses extrativos, geralmente de coloração mais escura do que o restante do lenho, apresentam propriedades tais que os tornam praticamente imunes aos ataques de organismos xilófagos.

Quando em contato com o solo, a durabilidade da madeira pode ser classificada, conforme Lelles e Rezende (1986), citados por Beraldo e Azzini (2004), em cinco graus. De acordo com essa classificação, os colmos de bambu são considerados perecíveis e, por este motivo, para serem usados para fins construtivos, os colmos de bambu devem ser submetidos a um tratamento preservativo.

3.4. RESINAS E SUAS APLICABILIDADES

Olmos (1992) classificou os adesivos em dois grupos básicos:

-Adesivos de origem natural – nesta categoria destacam-se aqueles de origem animal, amido, caseína, albumina de proteína vegetal, mamona e o tanino (extraídos de algumas espécies de vegetais: barbatimão, angico-preto, acácia, quebracho, dentre outras);

-Adesivos de origem sintética – nesta categoria destacam-se a uréia, resorcinol, fenol, melanina e polivinil.

Os adesivos sintéticos dividem-se em:

À prova d'água – fenol-formaldeído, resorcinol-fenol-formaldeído; melanina-formaldeído e isocianato;

Resistentes à água - uréia-formaldeído e acetato de polivinila modificado;

Não resistentes à água - acetato de polivinila e PVA.

Os adesivos são classificados quanto ao tempo de cura e à temperatura utilizada.

Os adesivos para alta temperatura suportam os 90 °C. Já os de temperatura média estão entre 30 °C e 90 °C e os de baixa temperatura estão abaixo de 30 °C.

Estudos desenvolvidos por Eleotério (2000) relataram que cerca de 90% das indústrias utilizam resinas uréia-formaldeído (UF). Estas resinas brancas ou incolores possuem menor custo e reagem rapidamente durante a prensagem a quente. Entretanto, não são adequadas para uso em ambiente externo, pois não são resistentes em ambientes com umidade elevada, além de apresentar um alto grau de toxidez durante sua aplicação.

Butterfield *et al.* (1992) observaram que o processo de adesão das fibras ocorre em três fases distintas e por meio de interação físico-química. Inicialmente o adesivo deve umedecer o substrato madeira para, em seguida, fluir de modo controlado durante a prensagem e finalmente adquirir a forma sólida.

A extensão do umedecimento das fibras depende da natureza físico-química do adesivo e da superfície da fibra. Solventes e polímeros de baixo peso molecular tendem a umedecer e penetrar mais rapidamente no substrato madeira. Ao contrário, adesivos de alto peso molecular umedecem e penetram mais lentamente, resultando em acúmulos na superfície; neste caso, a adsorção e difusão dos líquidos na parede celular causam inchamento das substâncias lignocelulósicas.

Plepis (1991) relatou que uma ligação química eficiente requer íntimo contato entre o adesivo e o substrato. Isto se torna possível aplicando-se aquecimento e pressão

para aumentar os fluxos nos pontos de ligação, ao mesmo tempo em que deforma o substrato possibilitando o surgimento de uma melhor superfície de contato.

Segundo Maloney (1996) e Pizzi (1994), devido à necessidade de se diminuir a emissão de formol, produto carcinogênico, proveniente das resinas uréicas, foram desenvolvidos vários estudos de suas misturas com outras resinas, como, por exemplo, com as resinas melamínicas, as quais também conferem às chapas maior resistência à umidade.

3.4.1. Resina Poliuretana à Base de Óleo de Mamona

Na parte experimental deste trabalho será utilizada a resina poliuretana bi-componente à base de óleo de mamona. A seguir, estão apresentadas informações mais detalhadas sobre suas características.

As definições sobre poliuretanas apresentadas neste capítulo foram observadas a partir da tese apresentada à Área Interunidades em Ciências e Engenharia de Materiais por Fabrício de Moura Dias sob o título: “Aplicação de adesivo poliuretano à base de óleo de mamona na fabricação de painéis de madeira compensada e aglomerada”. Doutorado. Universidade de São Paulo. São Carlos – SP. 2005.

3.4.2. Poliuretanas – PU

As Poliuretanas (PU) foram desenvolvidos por Otto Bayer, em 1937, e são produzidas pela reação de um isocianato (pré-polímero) com um poliól e com outros reagentes, tais como: agentes de cura, extensores de cadeia (contendo dois ou mais grupos reativos), catalisadores, agentes de expansão, surfactantes, cargas, etc.

O emprego das PU direcionou-se para a produção de chapas de partículas de madeira aglomerada com as mesmas características daquelas produzidas com adesivos fenólicos, sendo usadas externamente. Os estudos desenvolvidos indicaram que chapas coladas com adesivos à base de poliuretana apresentavam propriedades superiores àquelas das chapas coladas com adesivo fenólico. Possuíam a vantagem de não emanar formaldeído, além de apresentarem maior resistência à umidade (PETERSON, 1964).

Existem dois caminhos básicos para se obter uma resina poliuretana. O primeiro, resulta na preparação das poliuretanas monocomponentes, onde se destacam em sua estrutura básica os três tipos de intermediários de síntese: poliól, di-isocianato e extensores de cadeia. O segundo caminho corresponde à preparação de uma resina poliuretana bi-componente. A partir deste caminho, obtém-se um polímero no qual a polimerização está incompleta, que pode ser denominado de um pré-polímero. Segundo Araújo (1992), este pré-polímero quando misturado a um poliól resulta em um poliuretano (**Figura 02**). Assim, propriedades do polímero, tais como a flexibilidade, a rigidez, a força intercadeia e o entrecruzamento molecular, são explicadas a partir do balanceamento e das características químicas do poliól empregado na reação final com o pré-polímero.

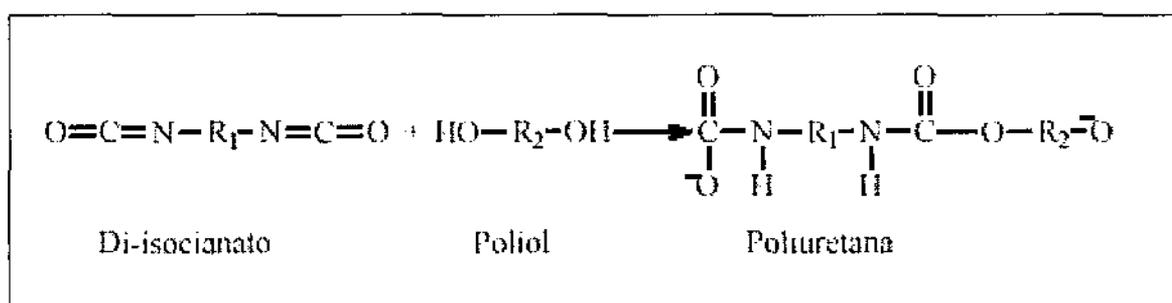


Figura 02. Representação química da formação de uma poliuretana.

3.4.3. Adesivo Poliuretano à Base de Óleo de Mamona

Há uma tendência mundial na procura de materiais biodegradáveis, não poluentes e derivados de biomassa. Segundo Araújo (1992), esta tendência alavancou as pesquisas com poliuretanos derivados de óleo de mamona, ampliando-se, assim, novas perspectivas para o seu desenvolvimento.

Conhecida internacionalmente como “Castor Oil” e, no Brasil, por “Caturra”, a mamona (*Ricinus communis*) é uma planta da família das Euforbiáceas, da qual é extraído o óleo de mamona, também conhecido como óleo de rícino. Esta planta é encontrada em regiões tropicais e subtropicais, sendo muito abundante no Brasil (**Figura 03**).

A partir do óleo de mamona torna-se possível sintetizar polióis e pré-polímeros com diferentes características que, quando misturados, dão origem a um poliuretano. Esta mistura poliól (à base de mamona) e pré-polímero, a frio, leva à reação de polimerização.

Esta reação conduz à formação da poliuretana, podendo-se variar a porcentagem de poliól, que definirá maior ou menor dureza, bem como o emprego de catalisador adequado a fim de aumentar a velocidade da reação.

O custo econômico da utilização da resina poliuretana à base de óleo de mamona, também varia de acordo com a porcentagem de poliól e de pré-polímero utilizada, sendo que o pré-polímero representa 80% do custo da resina, e também em relação à demanda, de modo que quanto maior a demanda, menores são os custos de produção. A Kehl Indústria e Comércio (www.kehl.ind.br) produziu martelos de poliuretano à base de óleo de mamona, com cabos de alumínio ou de madeira de reflorestamento, a preços competitivos com os equivalentes petroquímicos.

Claro Neto (1997) caracterizou as propriedades físico-químicas do polímero poliuretano, bi-componente, derivado de óleo de mamona, desenvolvido para ser utilizado como material em implantes ósseos. Com o estudo, o autor apresentou que a decomposição térmica deste polímero se inicia em temperaturas acima de 150 °C. No estudo de Claro Neto (1997) foi sintetizado um pré-polímero a partir do difenilmetano diisocianato (MDI), pré-polimerizado com um poliól derivado de óleo de mamona.

Araújo (1992) conduziu uma série de ensaios a fim de determinar as características das várias composições de resinas poliuretanas baseadas no óleo de mamona. Com relação à estabilidade térmica das poliuretanas, o autor verificou, através dos termogramas dos ensaios, que até 220 °C ocorre apenas uma pequena perda de massa, o que evidencia a estabilidade térmica da resina até esta temperatura.



Figura 03. Lavoura de mamona.

3.4.4. Aplicações da Resina Poliuretana à Base de Óleo de Mamona

Jesus (2000) apresentou um estudo sobre o comportamento do adesivo poliuretano à base de óleo de mamona para o emprego na fabricação de madeira laminada colada (MLC). O autor avaliou a eficiência do adesivo por meio de ensaios mecânicos de resistência ao cisalhamento, tração normal e tração paralela às fibras. A partir dos resultados obtidos determinou os parâmetros de colagem, tais como: viscosidade, tempo de pressão de colagem e tempo de cura. Os resultados apresentados pelo autor mostraram que o adesivo à base de óleo de mamona mostrou ser uma boa alternativa para a utilização tecnológica da madeira.

A resina poliuretana à base de óleo de mamona estudada por Jesus (2000) foi do tipo bi-componente, composta pelo poliól B1640 e pelo pré-polímero A249, de cura a frio. Após a mistura dos componentes, sua viscosidade aumenta e seu tempo de utilização é de aproximadamente 20 minutos. Esse tempo de trabalhabilidade reduzido do adesivo dificultou sua aplicação em estruturas de MLC.

Azambuja (2002) determinou parâmetros adequados para a colagem de MLC com a resina à base de óleo de mamona e analisou a resistência da linha de cola e o desempenho estrutural das vigas de MLC, por intermédio do ensaio mecânico de resistência à flexão.

A resina utilizada por Azambuja (2002) era uma poliuretana bi-componente à base de óleo de mamona, constituída a partir do poliól 25040 e do pré-polímero A249. O Instituto de Química de São Carlos – USP desenvolveu esta nova variação de adesivo com a finalidade de melhorar suas qualidades de viscosidade, tempo de cura e trabalhabilidade, facilitando sua aplicação em MLC. A proporção utilizada para o preparo deste adesivo foi de *uma parte*, em peso, de pré-polímero A249, para *uma parte*, em peso, de poliól 25040.

3.5. ASPECTOS DA FABRICAÇÃO INDUSTRIAL DAS CHAPAS DE PARTÍCULAS AGLOMERADAS

A fabricação das chapas, segundo a Eucatex (2004) (www.eucatex.com.br), envolve uma série de operações (**Figura 04**), a saber: picagem e secagem das partículas, resinagem das partículas em misturador, formação do colchão para a prensagem a quente, esquadreamento com serras circulares e lixamento final.

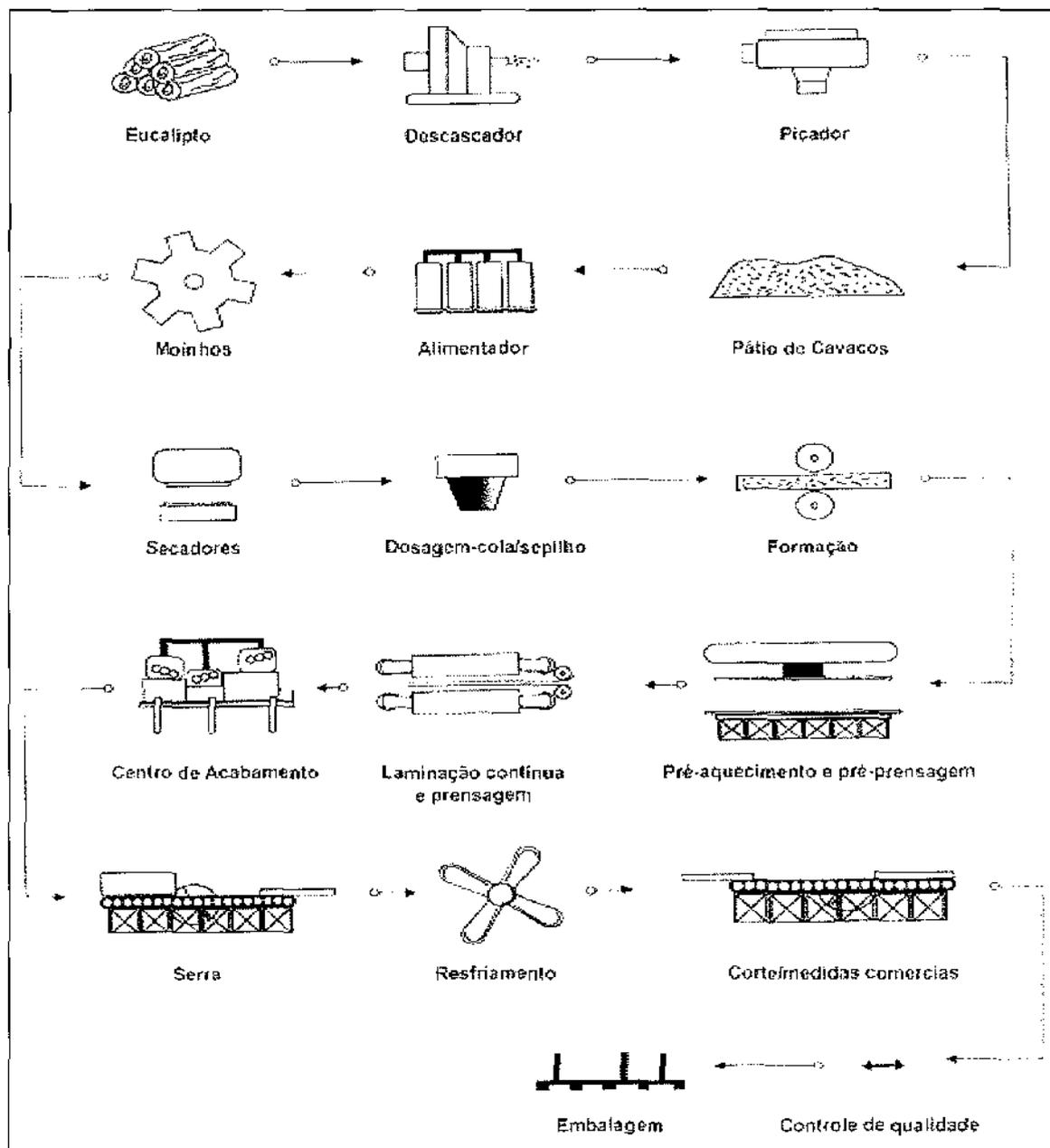


Figura 04. Esquema de produção de chapas de partículas da Eucatex.

Segundo Olmos (1992) e Oliveira e Freitas (1995), os detalhes das etapas do processo de fabricação das chapas são descritos da seguinte maneira, e representados nas figuras por imagens da linha de produção da empresa Tafisa (www.tafisa.com.br):

Produção das partículas - são empregados picadores específicos de acordo com o tamanho e a geometria das partículas a serem utilizadas (**Figuras 05 e 06**). Os cavacos podem ser picados em tamanhos homogêneos ou em tamanhos diversificados para a montagem da chapa. Quando heterogêneas, as partículas são peneiradas para a formação do colchão em camadas. As camadas mais externas são constituídas de partículas mais finas e o miolo por partículas mais grossas.

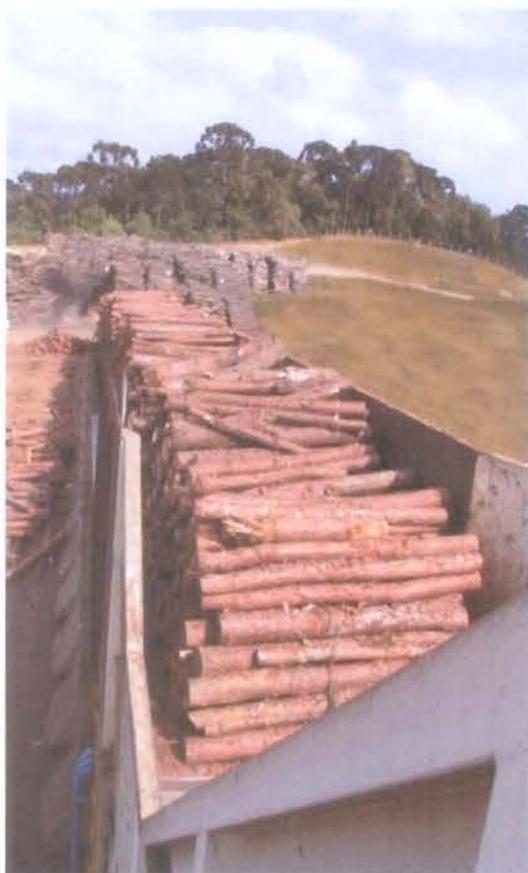


Figura 05. Toras de eucalipto.



Figura 06. Obtenção das partículas.

Aplicação dos adesivos – etapa na qual as partículas de eucalipto (**Figura 07**) são levadas para a etapa de resinagem. Para misturas homogêneas, utiliza-se apenas um misturador. Para chapas com densidade variável são necessários misturadores de miolo e de superfície (**Figura 08**). As partículas já resinadas são enviadas ao estoque regulador intermediário, antes de serem encaminhadas à estação formadora de colchão.



Figura 07. Partículas de eucalipto.



Figura 08. Misturador.

Formação do colchão - ocorre pelo transporte das partículas resinadas em placas metálicas depositadas sobre bandejas. As espessuras do colchão são pré-determinadas para se obter a espessura e densidade final das chapas. A estação formadora do colchão (**Figura 09**) movimenta as partículas por meio de rolos, esteiras e ar, determinando o colchão final com uma pré-prensagem.

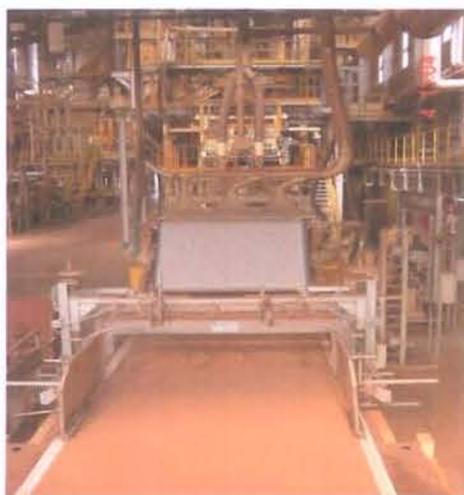


Figura 09. Formadora de colchão.

Prensagem - após a pré-prensagem, os colchões são cortados em tamanhos pré-definidos e prensados em equipamentos de aberturas múltiplas. O tempo, a intensidade e a temperatura de prensagem irão depender da espessura final da chapa e da composição do adesivo. Usualmente o tempo varia de 15 s a 20 s para cada milímetro da chapa, adotando-se pressões entre 2 MPa e 4 MPa, e temperaturas entre 150 °C e 190 °C. Os ciclos de prensagem dependem de fatores tais como: umidade das partículas, tipo de resina, espessura da chapa, temperatura da prensa, tempo de prensagem e tempo de fechamento dos pratos. Após a prensagem (**Figura 10**), a pressão deve ser reduzida de forma gradual até a abertura total da prensa, evitando deformações nas chapas.



Figura 10. Prensagem das chapas.

Acabamento - logo após a saída da prensa, as chapas são empilhadas, para que ocorra a continuação do processo de cura da resina. O produto deverá, após a cura, ser esquadrejado e lixado para aplicação do revestimento (**Figura 11**).



Figura 11. Processo de acabamento.

3.6 VARIÁVEIS DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DAS CHAPAS

Alguns fatores tais como a distribuição de tamanho, a densidade e o teor de umidade das partículas são determinantes para a qualidade da chapa. Nos tópicos a seguir, estão descritas as maneiras com as quais estes fatores influenciam nas propriedades físicas e mecânicas das chapas.

3.6.1 Distribuição em Tamanho das Partículas

A geometria das partículas é um dos fatores básicos determinantes das características das chapas de partículas, segundo Barros *et al.* (2002) em “Resistência Mecânica e à umidade de painéis aglomerados com Partículas de Madeira de Diferentes Dimensões”. Em conjunto com a espécie de madeira, o tipo e a quantidade de resina, os aditivos, a estrutura da placa formada pela orientação das partículas, a disposição das camadas e as condições de prensagem do colchão, são os fatores que determinam as propriedades das chapas de madeira aglomeradas.

Conforme Maloney (1977), as propriedades mecânicas, tais como a resistência e rigidez à flexão, a resistência à tração paralela e perpendicular à superfície (*Internal Bond* - ligação interna), a resistência ao arrancamento de parafusos e de pregos são afetadas pela geometria das partículas. A geometria das partículas também influi nas propriedades físicas das chapas, como absorção de umidade (na forma líquida e de vapor), mudanças correspondentes às dimensões e características da superfície.

Segundo Kollman *et al.* (1975), a dimensão das partículas é uma variável de merecida importância sendo seu tipo e tamanho os principais fatores a serem considerados. Brito e Peixoto (2000), avaliando duas granulometrias* de partículas de *Pinus taeda*, afirmaram que, uma vez alterada a geometria ou a granulometria das partículas, há a necessidade também de se averiguar outras variáveis do processo, sobretudo a melhor proporção de adesivo a ser empregada.

* distribuição em tamanho das partículas

Gonçalves (2000) classificou os tipos e geometria das partículas de madeira da seguinte maneira:

-Cavacos: partículas longas e espessas, com ou sem casca, produzidas por picadores no corte de rejeitos de madeira, gerados por operações de serramento em serras de refilamento de destopo;

-Serragens: partículas curtas e finas, geradas em operações de serramento de toras e de costaneiras por serras de fita ou de peças de madeira por serra circular;

-Fibras: pedaços delgados de elementos fibrosos ou grupos de fibras de madeira ou material celulósico, resultantes do desfibramento mecânico;

-Flocos/Maravalhas: partículas longas e finas, com larguras variáveis, produzidas por fresas ou facas, em operações de fresamento de peças de madeira na condição de umidade de equilíbrio ou abaixo desta;

-Aparas de madeira: partículas de madeira de pequena dimensão originadas de operações de marcenaria, que envolvem facas rotativas que normalmente giram na direção da grã e produzem cavacos de pequenas dimensões de densidades variadas (ASTM D 1554);

-Partículas delgadas: partículas com seções quadradas e retangulares, com um comprimento paralelo à grã da madeira (ASTM D 1554).

Para Vital *et al.* (1992), o uso de partículas curtas e espessas beneficia a resistência à tração perpendicular, porém ocasiona redução na tensão de ruptura e no módulo de elasticidade à flexão estática. Essas duas propriedades são melhoradas quando se aumenta o comprimento das partículas. Esse efeito é resultado de alterações na parte superficial e na flexibilidade das partículas, do consumo relativo de adesivo e da área de contato entre as partículas.

Moslemi (1974) estabeleceu que partículas finas, pequenas e flexíveis geram superfícies livres de vazios. A flexibilidade das partículas não somente tem influência direta no aspecto da superfície e das bordas como também determina, em grande parte, o grau de contato partícula-partícula e, portanto, influencia as propriedades físico-mecânicas das chapas.

Entretanto, as diversas propriedades das chapas são afetadas de forma diferenciada pelas variações nas dimensões das partículas. Assim, Brumbaugh (1960) observou que as partículas longas e finas melhoraram a estabilidade dimensional das chapas. Segundo Vital *et al.* (1980), o efeito da espessura das partículas sobre a estabilidade dimensional das chapas depende também de seu comprimento.

Vital *et al.* (1992), em seus estudos sobre o efeito da geometria da partícula, constataram que não houve tratamento que melhorasse simultaneamente todas as propriedades mecânicas e a estabilidade dimensional das chapas. No entanto, observaram que, mantendo constantes as demais variáveis, o aumento da espessura das partículas resultou sempre na redução dos valores das propriedades relacionadas à flexão estática. Os autores defenderam que as partículas mais finas distribuía melhor as tensões, além de produzirem menor quantidade de espaços vazios no interior das chapas, propiciando a obtenção de chapas mais resistentes. Estabeleceram ainda que para se produzir chapa de partículas mais rígidas, resistentes à flexão e com maior estabilidade dimensional, era necessário empregar partículas mais finas. Para maior resistência à tração perpendicular, seria necessário o uso de partículas mais espessas.

Brito e Peixoto (2000) descreveram que a razão entre o comprimento e a espessura das partículas (coeficiente de esbeltez) tem uma relação direta com o MOE, e que esse valor do coeficiente de esbeltez deveria ser, no mínimo, de 200.

Segundo Andrade *et al.* (1999), em estudos realizados com painéis de partículas do palmitero (*Euterpe edulis*), foram ensaiadas amostras de chapas confeccionadas com partículas situadas na faixa de 0,61 mm a 2,00 mm e de 2,00 mm a 4,37 mm. Os autores observaram maiores módulos de elasticidade e de ruptura e menores valores de inchamento e absorção, com as chapas produzidas a partir da utilização de partículas com a menor dimensão média (0,61mm a 2,00 mm), concordando com os resultados apresentados por Vital *et al.* (1974). Tal fato ocorreu em função do maior contato existente entre as partículas, devido a uma melhor utilização do adesivo e ao aumento de sua eficiência, a partir da redução dos espaços vazios no interior das chapas derivadas das partículas com menor dimensão média.

3.6.2. Efeitos da Umidade na Formação das Chapas de Partículas

O teor de umidade é fator decisivo na formação das chapas. Kollman *et al.* (1975) afirmaram que a umidade tem influência direta nas propriedades das chapas: resistência, qualidade da superfície, porcentagem de formaldeído e na pressão necessária a ser aplicada. Geralmente as madeiras picadas apresentam umidade variando de 35% a 120%. Quando submetidas à secagem, deverão alcançar, em algumas indústrias, de 3% a 6%, e de 5% a 12%, em outras. A umidade das partículas deve situar-se em um patamar que permita uma boa penetração do adesivo.

As partículas processadas muito secas, por sua vez, podem ocasionar algumas desvantagens:

- Risco de fogo no secador;
- Perigoso carregamento eletrostático dos tubos se os cavacos forem transportados pneumáticamente;
- Excessiva quantidade de pó;
- As bordas dos painéis tendem a se desfazer;
- Cavacos muito secos tendem a se movimentar no momento da prensagem, podendo ainda influenciar no comportamento dos aditivos, ocasionando maior tempo de prensagem.

3.6.3. Efeito da Densidade na Chapa de Partículas

A densidade é uma das propriedades mais importantes nas chapas de aglomerado e/ou de partículas de madeira. Nos Estados Unidos utilizam-se espécies de vegetais com densidade variando entre $0,30 \text{ g/cm}^3$ a $0,50 \text{ g/cm}^3$. Na prática, o modo mais fácil de melhorar as propriedades da chapa é fazendo-se variar a densidade pela variação da taxa de compactação, ou seja, a relação entre a densidade da madeira e a densidade da chapa (MALONEY, 1977). Esse valor em chapas estruturais é sempre superior a 1, isto porque durante a prensagem torna-se necessário comprimir as partículas de forma a produzir uma boa união com mínimo de adesivo e também reduzir os espaços internos e as irregularidades da superfície do painel (VITAL, 1973).

Segundo Moslemi (1974), painéis produzidos com espécies de baixa densidade geralmente apresentam maior resistência à flexão e à tração, melhor módulo de elasticidade e melhor ligação interna do que painéis obtidos de espécies de alta densidade, para chapas de igual densidade.

A razão de compactação adequada para a produção de aglomerados situa-se na faixa de 1,3 a 1,6 e, portanto, espécies com baixa massa específica, são as mais recomendadas. Valores acima de 1,6 podem melhorar as propriedades de resistência, mas por outro lado o inchamento em espessura será maior devido à maior taxa de compressão exercida sobre o material durante a fase de prensagem da chapa.

Um aumento da densidade do painel, em geral, provoca aumento da resistência à flexão e da resistência à tração. Kollmann *et al.* (1975) e Haselein *et al* (2002) obtiveram uma relação linear e positiva entre a densidade da chapa e as propriedades de resistência à flexão (MOR e MOE).

Em geral, todas as propriedades físico-mecânicas das chapas, em maior ou menor grau, são afetadas pela taxa de compressão. De uma maneira sucinta, pode-se ressaltar que taxas de compressão muito baixas não produzem bom contato entre as partículas, prejudicando a colagem e a resistência da chapa. Em contrapartida, chapas feitas sob altas taxas de compressão necessitam maior força de prensagem, ocasionando problemas com relação à liberação da água evaporada no momento da prensagem e também provocam um consumo excessivo de matéria-prima. Além disso, causam a produção de chapas de alta densidade o que, muitas vezes, torna o painel muito pesado.

3.7 REFERÊNCIAS A DOCUMENTOS NORMATIVOS

Para a caracterização das chapas de partículas homogêneas de bambu aglomeradas com resina poliuretana bi-componente à base de óleo de mamona foram utilizadas as recomendações da norma NBR 14810 - Chapas de madeira aglomerada, contendo:

Parte 1 – terminologia;

Parte 2 – requisitos;

Parte 3 – métodos de ensaio.

Os ensaios realizados estão descritos e detalhados no item 4.2.3.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão especificados os materiais utilizados no presente trabalho, os processos de obtenção dos mesmos, assim como as fases referentes ao processo de fabricação, em laboratório, das chapas de partículas homogêneas de bambu aglomeradas com resina poliuretana bi-componente à base de óleo de mamona, com três teores de resina 5%, 10% e 15% em relação à massa de partículas de bambu. Serão indicados também os equipamentos utilizados e feita menção aos ensaios físicos e mecânicos através dos quais foram obtidas as propriedades das chapas estudadas.

4.1. MATERIAIS

4.1.1. Partículas de Bambu

Para o desenvolvimento da parte experimental do trabalho foram utilizadas partículas provenientes de colmos de bambu da espécie *Bambusa vulgaris* schrad, que foram extraídos de touceiras situadas na área experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola da Unicamp (**Figura 12 e 13**).



Figura 12. Touceira de *B. vulgaris*.



Figura 13. Corte do *B. vulgaris*.

4.1.2. Resina Poliuretana Bi-componente à Base de Óleo de Mamona

Como adesivo foi utilizada, apesar da preferência das indústrias por resinas monocomponentes, a resina poliuretana bi-componente à base de óleo de mamona fabricada pela KEHL Indústria e Comércio, de São Carlos (SP), (www.kehl.ind.br). A opção por esse tipo de adesivo levou em consideração que a resina monocomponente possui solvente em sua composição, material este altamente nocivo ao meio ambiente e aos trabalhadores envolvidos no seu manuseio.

A proporção entre os componentes para a síntese da resina, diferentemente das recomendações feitas por Azambuja (2000) no item 3.4.3, foi *de 2 partes de poliól para 1 parte de pré-polímero*, segundo recomendações do fabricante e levando-se em consideração que o pré-polímero, ou seja, o isocianato, representa, segundo o fabricante, 80% do custo econômico da resina, além de ser proveniente de fonte não renovável.

4.1.3. Equipamentos

O processo de confecção das chapas foi conduzido parcialmente no Laboratório de Materiais e Estruturas da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP, no que se refere à obtenção e ao processamento das partículas de bambu a serem utilizadas. Nestes processos foram utilizados: um serrote, uma moto-serra, um desintegrador agrícola acoplado a um trator (sem permitir efetuar o controle de tamanho de partículas), um desintegrador agrícola com peneira metálica (com controle de tamanho de partículas), uma máquina vibratória com peneiras de diferentes aberturas. Neste laboratório também foram realizados ensaios físicos, sendo para este fim utilizado um paquímetro digital Mitutoyo com resolução de 0,01 mm, e balança semi-analítica com resolução de 0,01 g, e um aparelho de ultra-som no ensaio não destrutivo (END).

A mistura das partículas e a prensagem das chapas foram realizadas no Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira – LaMEM, USP - São Carlos. No procedimento produtivo foram utilizados: uma bateadeira planetária, uma formadora de colchão e uma prensa com controle de temperatura e pressão modelo MA 098/50, fabricada pela Marconi Equipamentos para Laboratórios.

A confecção dos corpos-de-prova foi realizada na oficina de maquetes da Pontifícia Universidade Católica de Campinas – PUCCAMP, utilizando-se de uma serra de fita.

A caracterização dos corpos-de-prova foi efetuada por meio de ensaios físicos e mecânicos, descritos no item 4.3 Métodos de Ensaio. Os experimentos foram conduzidos parcialmente no SENAI, unidade de Itatiba, utilizando-se de uma máquina universal de ensaios, modelo EMIC, e o restante dos ensaios foram conduzidos no Centro de Tecnologia da UNICAMP, utilizando-se de uma máquina universal de ensaios marca Sintech 5/G.

4.2. MÉTODOS

4.2.1. Obtenção das Partículas de Bambu

Para a obtenção das partículas foram extraídos colmos maduros de bambu (mais de 3 anos), dos quais foram retirados os ramos e folhas, para só então serem picados (verdes) próximo ao local em que foram extraídos. Para este processo, utilizou-se um desintegrador agrícola (sem colocação de peneira), acoplado a um trator dotado de carreta (**Figura 14**).



Figura 14. Desintegrador agrícola acoplado a um trator.

Um colmo de bambu foi triturado e seus pedaços foram separados em um recipiente com volume conhecido (**Figura 15**) para serem pesados, avaliando-se a massa fornecida por um colmo (**Figura 16**). As partes descartadas, como ramos e folhas, também foram separadas para a mesma avaliação (**Figura 17**).



Figura 15. Porções separadas de bambu picado.



Figura 16. Colmo de bambu picado.



Figura 17. Ramos com folhas picados.

Logo após este procedimento, foi separado 1 kg de partes do colmo de bambu, e deixados em estufa a 100 °C por 4 dias. Após este período, os pedaços foram novamente pesados, e deixados em um recipiente nas condições ambientes por mais 3 meses, e mais uma vez pesados a fim de se determinar o teor de umidade e a massa específica aparente, na condição não compactada dos mesmos.

Os pedaços obtidos, após a picagem dos colmos, foram dispostos sobre uma lona, de modo que pudessem receber maior insolação (**Figura 18**). Após uma semana, as regiões com acúmulo maior de pedaços apresentaram formação de fungos durante a secagem.



Figura 18. Secagem dos pedaços de bambu.

Após a secagem, os pedaços de bambu foram triturados em um desintegrador agrícola (**Figura 19**) dotado de peneira metálica, obtendo-se partículas delgadas, com distribuição de tamanho variada, mas com espessura máxima de 3 mm (abertura da peneira).

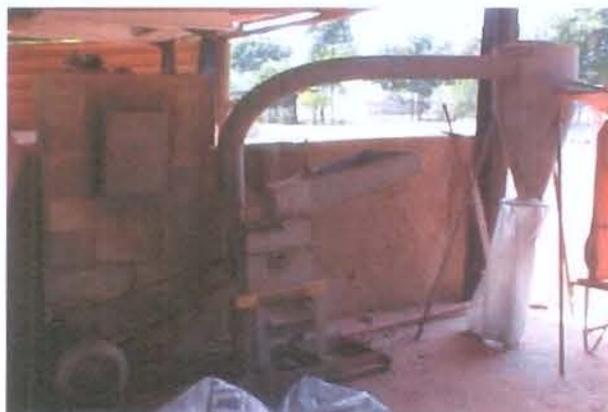


Figura 19. Desintegrador agrícola com peneira.

As partículas obtidas foram então peneiradas (**Figura 20**) e separadas com o auxílio de peneiras com aberturas de 2,40 mm, 0,42 mm e 0,149 mm, retirando-se as porções passantes na peneira com abertura igual a 0,42 mm e aquelas retidas na peneira com abertura igual a 2,40 mm.

O restante, ou seja, as partículas cujas espessuras estavam compreendidas entre 0,42 mm e 2,40 mm, foram separadas para a utilização na confecção das chapas.



Figura 20. Classificação das partículas.

4.2.2. Produção das Chapas

Foram confeccionadas dez chapas de 40 cm x 40 cm x 1,5 cm para cada tipo de tratamento, ou seja, dez chapas com 5% de resina, dez chapas com 10% de resina e dez chapas com 15% de resina.

Para a confecção dos três tipos de chapas contendo 5%, 10% e 15% de resina em relação à massa de partículas de bambu, procurou-se manter a mesma densidade de massa das chapas ($0,633 \text{ g/cm}^3$), valor este adotado por situar-se próximo do valor proposto para chapas de partículas de madeira aglomerada produzidas comercialmente e por exigir menor quantidade de matéria-prima e menor energia para a prensagem. Foi feito um cálculo para a obtenção das quantidades necessárias de material para cada tipo de chapa, levando-se em consideração 2% de perda de resina no processo, conforme avaliação preliminar.

Sendo a densidade de massa e as dimensões das chapas constantes, tem-se:

$$\text{Densidade de massa} = \text{massa} / \text{volume}$$

As chapas apresentavam 40 cm x 40 cm x 1,5 cm, sendo seu volume igual a 2400 cm^3 , portanto, a massa total das chapas, somando-se as partículas mais a resina, deveria ser de 1521 g; como a razão da resina é considerada em função da massa das partículas e não da massa total da chapa, tornou-se necessário adotar-se no cálculo:

$$(1521 \text{ g} = \text{massa das partículas} + n\% \times \text{massa das partículas})$$

O que resultou, considerando-se 2% de perda em massa de resina, em:

Chapa A = 1421,5 g de partículas, 7% de resina, ou seja, 99,5 g sendo 66,33 g de pré-polímero e 33,16 g de poliól, peso total da chapa 1521 g;

Chapa B = 1358 g de partículas, 12% de resina, ou seja, 163 g sendo 108 g de pré-polímero e 54,3 g de poliól, peso total da chapa 1521 g;

Chapa C = 1300g de partículas, 17% de resina, ou seja, 221 g sendo 147,2 g de pré-polímero e 73,6 g de poliól, peso total da chapa 1521 g.

Para a confecção das chapas foram pesadas e separadas as quantidades de partículas necessárias para cada tipo de chapa, assim como também foram pesadas e

separadas as proporções de pré-polímero e de poliól. Estes só foram misturados no momento em que seriam utilizados, para obter o máximo de tempo para misturar a resina com as partículas sem que o processo de endurecimento dificultasse a trabalhabilidade, prejudicando a homogeneização da mistura.

A prensa térmica foi ajustada a uma temperatura de 60 °C, visando reduzir o tempo de prensagem e facilitar a penetração do adesivo nas partículas.

As partículas foram pesadas e colocadas em uma vasilha cuja capacidade comportava o volume necessário para a confecção de uma chapa (**Figura 21**). Em seguida, foram pesadas as proporções de pré-polímero e de poliól na razão de 1:2 (em massa), em recipientes separados (**Figura 22**).



Figura 21. Partículas de bambu.

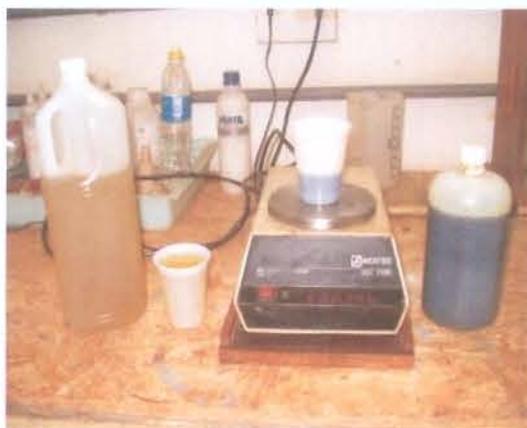


Figura 22. Componentes da resina.

4.2.2.1. Aplicação do Aglomerante às Partículas de Bambu.

De posse dos materiais nas quantidades necessárias, para cada tipo de chapa, foi realizada a síntese da resina, misturando-se o pré-polímero e o poliól em um terceiro recipiente, haja vista que estes se encontravam em recipientes diferentes (para a produção da síntese industrial da resina poliuretana, é utilizada uma máquina que mistura quantidades exatas e conhecidas de pré-polímero e poliól, conhecida como injetora poliuretana).

A partir deste momento, o tempo tornava-se um fator determinante na confecção das chapas, pois o *gel time* da resina, ou seja, o tempo necessário para se iniciarem as

reações de endurecimento, com a conseqüente perda da trabalhabilidade, era de aproximadamente 20 minutos.

Sendo assim, a resina era, então, adicionada às partículas de bambu, e efetuava-se a mistura manualmente, utilizando-se de uma luva de látex como proteção, por 5 min (**Figura 23**).



Figura 23. Adição da resina às partículas.

Após esta pré-homogeneização, uma primeira metade da mistura de resina com as partículas, devido à capacidade do equipamento, foi colocada em um misturador e misturada por mais 5 min sendo então colocada em um outro recipiente. A seguir, adicionava-se a segunda metade da mistura por mais 5 min no misturador, e então novamente adicionava-se ao restante da mistura.

Este procedimento foi efetuado em aproximadamente 15 min, tempo suficiente para a obtenção de uma mistura homogênea (**Figura 24**).



Figura 24. Homogeneização da mistura.

4.2.2.2.. Formação do Colchão de Partículas de Bambu

Este procedimento teve como objetivo a formação do colchão a partir de um volume de partículas, por meio de uma pré-prensagem a frio. O processo foi realizado com o auxílio de uma formadora de colchão, que se constitui de uma caixa de madeira, sem tampa e sem fundo, com base de dimensões iguais àquelas das chapas, ou seja, 40 cm x 40 cm.

As partículas aglomeradas foram então distribuídas no interior da formadora de colchão, sobre uma chapa metálica. O colchão foi submetido a uma pré-prensagem a frio por 5 min, com uma carga de aproximadamente 70 kgf, objetivando-se diminuir a espessura do colchão para possibilitar seu encaixe entre os pratos da prensa e dar-se início ao ciclo de prensagem (**Figura 25 a 28**).

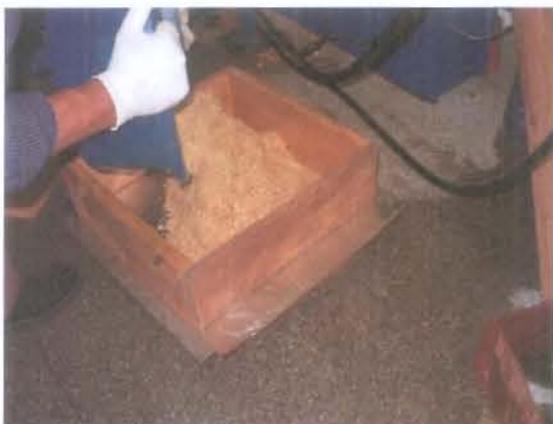


Figura 25. Formadora de colchão.



Figura 26. Regularização do colchão.



Figura 27. Retirada da fôrma.



Figura 28. Colchão de partículas.

4.2.2.3. Prensagem

O processo de prensagem ocorreu em uma prensa com controle de temperatura e pressão, modelo MA 098/50, fabricada pela Marconi Equipamentos para Laboratórios. A prensagem tem como objetivo propiciar condições favoráveis para compactação das chapas de partículas, ou seja, fornecer condições adequadas para formação das chapas por meio da interação das variáveis inerentes ao processo: cura da resina, pressão e temperatura de prensagem, espessura e densidade da chapa, umidade das partículas e degasagem (liberação de gases da chapa).

A prensagem realizada em laboratório se constitui em um processo que simula a prensa contínua utilizada na linha de produção de uma indústria.

O colchão de partículas foi depositado entre as placas metálicas aquecidas da prensa com controle de temperatura (60 °C mantido constante) e de pressão, protegido por papel alumínio, evitando que a chapa aderisse aos pratos da prensa (**Figura 29**).

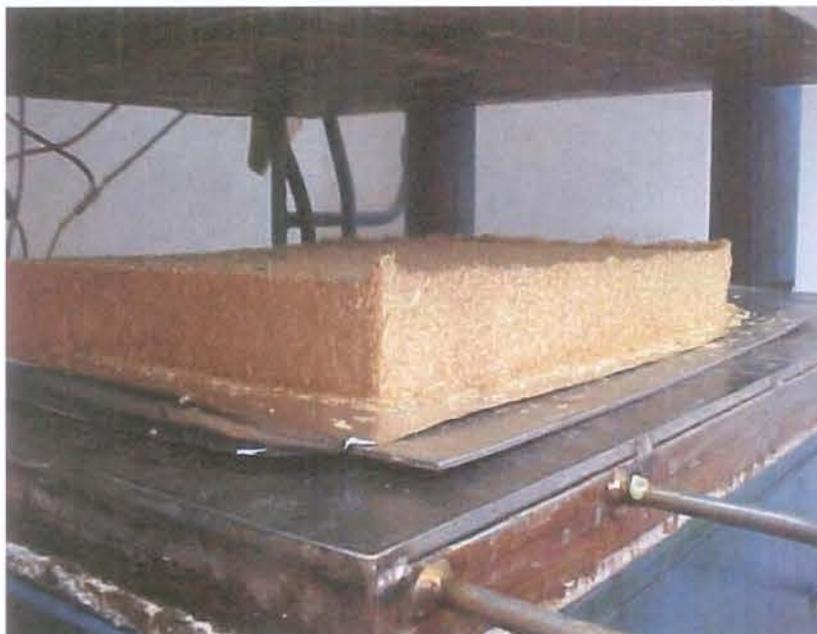


Figura 29. Colchão na prensa.

Na primeira etapa da prensagem, foi aplicada pressão até atingir-se aproximadamente 4 MPa, pressão esta que se manteve aplicada durante 10 min (**Figura 30**).



Figura 30. Prensa hidráulica MARCONI.

A segunda etapa foi iniciada aliviando-se a pressão até atingir-se a carga nula. Este alívio ocorreu aproximadamente durante 5 min, e possibilitava a liberação dos gases ou a degasagem da chapa. A presença de gases não foi observada no presente experimento devido aos cuidados que foram tomados durante a prensagem e também devido à baixa densidade das chapas.

4.2.2.4. Acabamento

Após a retirada da prensa, as chapas foram submetidas a um acabamento, no qual foram lixadas e retirados 5 cm das bordas, como exigência da NBR 14810 para a realização dos ensaios e para uma melhor avaliação do produto final.

Ao final destes processos, as chapas apresentavam dimensões de 30 cm x 30 cm x 1,5 cm (Figura 31 a 34).



Figura 31. Lixamento das superfícies.



Figura 32. Retirada das bordas.



Figura 33. Diferença de adensamento.



Figura 34. Chapas com e sem acabamento.

4.2.3 Métodos de Ensaio

Os ensaios de caracterização das chapas de partícula de bambu aglomeradas com resina à base de óleo de mamona, obedeceram às recomendações da NBR 14810- Chapas de madeira aglomerada - Parte 3 – métodos de ensaio.

Foram realizados os seguintes ensaios: verificação da espessura; densidade; absorção de água; inchamento; arranque de parafuso (superfície e topo); dureza Janka; compressão longitudinal; flexão estática e tração perpendicular.

Os corpos-de-prova foram confeccionados na Oficina de Maquetes da faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Pontifícia Universidade Católica de Campinas. Foram confeccionados dez chapas para os três tratamentos analisados, somando-se trinta chapas no total, sendo que de cada uma, confeccionou-se um corpo-de-prova para cada ensaio (**Figura 35**). Buscou-se, desta maneira, avaliar a homogeneização do processo de confecção das chapas através dos valores de desvio padrão e do coeficiente de variação para cada um dos três tipos de chapas de partículas de bambu referentes aos ensaios de verificação de espessura e de densidade.



Figura 35. Corpos-de-prova.

As quantidades e dimensões dos corpos-de-prova para os ensaios necessários segundo a norma encontram-se na **Tabela 01**.

Tabela 01 – Dimensões e quantidades de corpos-de-prova.

	Avaliações físico-mecânicas	comprimento(mm)	Largura(mm)	Quantidade	Notas
A	-Densidade	50	50	10	
B	-Absorção de água	25	25	10	
C	-Inchamento	25	25	10	
	-Arranque de parafuso				
D	.Superfície	150	75	10	3
E	.Topo	115	65	10	3
F	-Dureza Janka	150	75	10	
G	-Compressão longitudinal	100	50	10	1 e 2
H	-Flexão estática	250	50	10	1 e 2
I	-Tração perpendicular	50	50	10	

Notas

1 - Os corpos-de-prova devem ser obtidos metade no sentido (“direção”) transversal e metade no sentido (“direção”) longitudinal das chapas.

2 - Caso a espessura seja superior a 20 mm, o comprimento do corpo-de-prova deve ser de 10 vezes a espessura mais 50 mm.

3 - A espessura mínima exigida é de 14 mm. Quando não for possível, deve-se colar dois ou mais corpos-de-prova, até atingir a espessura mínima exigida. A razão entre a largura e o comprimento do corpo-de-prova sempre deve ser mantida igual a 4.

Na unidade do SENAI de Itatiba, os corpos-de-prova foram climatizados para se adequarem à norma. Após este procedimento, foram realizados, nesta unidade, os ensaios de tração perpendicular e de arrancamento de parafuso de topo e de face.

No Laboratório de Materiais e Estruturas da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP foram realizados os ensaios de absorção e inchamento, relativos aos períodos de 2 h e 24 h, para as chapas comerciais de aglomerado cru, OSB e MDF, e de 2 h, 24 h e 216 h, para as chapas de partículas homogêneas de bambu aglomeradas com resina poliuretana bi-componente à base de óleo de mamona.

O ensaio com duração igual a 216 h não está previsto pela norma. No entanto, foi realizado a fim de possibilitar uma previsão mais confiável do comportamento dos materiais após um tempo maior de imersão em água.

No Centro de Tecnologia da UNICAMP foram realizados os ensaios de flexão estática, compressão longitudinal e dureza Janka, para as chapas propostas por este trabalho e para as chapas comerciais.

As comparações entre as chapas de partículas de bambu e as chapas de aglomerado cru são as mais importantes tendo em vista a maior similaridade entre si.

As chapas de OSB e MDF também foram confrontadas com as chapas propostas, através de gráficos, por serem utilizadas para fins semelhantes. No entanto, tais comparações com estas duas últimas chapas comerciais são apenas de caráter ilustrativo.

4.2.3.1. Determinação da Densidade

Após os corpos-de-prova terem sido devidamente identificados, determinou-se suas espessuras com resolução de 0,01 mm, por meio da média das espessuras medidas em cinco pontos distintos do corpo-de-prova, sendo uma medida efetuada no centro e as demais próximas aos vértices.

Foram determinados o comprimento e a largura utilizando-se de um paquímetro digital Mitutoyo com resolução de 0,01mm.

O cálculo para a determinação da densidade se fez através da equação:

$$D = \frac{M}{V} \times 1000000$$

Sendo:

$$V = L \times C \times E$$

Onde:

D = densidade do corpo-de-prova, em quilogramas por metro cúbico;

M = massa do corpo-de-prova, em gramas;

V = volume do corpo-de-prova, em milímetros cúbicos;

L = largura do corpo-de-prova, em milímetros;

C = comprimento do corpo-de-prova, em milímetros;

E = espessura do corpo-de-prova, em milímetros.

O resultado obtido corresponde à média das densidades dos corpos-de-prova ensaiados, expresso em quilogramas por metro cúbico, com exatidão de 1 kg/m^3 .

4.2.3.2. Determinação do Inchamento e da Absorção de água

Após terem sido cortados e identificados os corpos-de-prova, anotaram-se os dados referentes à medição da espessura no centro de cada um, com uma resolução de 0,01 mm, e de suas massas determinadas em balança semi-analítica, com resolução de 0,01g (**Figura 36**).

Os corpos-de-prova foram colocados em recipientes com água, sendo mantidos submersos, utilizando-se um frasco de vidro colocado sobre os mesmos (**Figura 37**).

Após 2 h e 24 h de imersão para as chapas comerciais (aglomerado cru, OSB e MDF) e 2 h, 24 h e 216 h para as chapas de partículas de bambu, os corpos-de-prova foram retirados e colocados sobre papel absorvente para eliminar o excesso de água. Subseqüentemente, mediu-se a espessura dos corpos-de-prova em seus respectivos centros, com resolução de 0,01 mm, e novamente foram pesados os corpos-de-prova em balança semi-analítica com resolução de 0,01 g, anotando-se os respectivos dados, bem como a duração do período de imersão utilizado.

Para o cálculo de inchamento da espessura dos corpos-de-prova, utilizou-se a seguinte expressão:

$$I = \frac{E1 - E0}{E0} \times 100 \%$$

Onde:

I = inchamento em espessura do corpo-de-prova em porcentagem;

E1 = espessura do corpo-de-prova após o período de imersão considerado, em milímetros;

E0 = espessura do corpo-de-prova antes da imersão, em milímetros.

Para o cálculo de absorção de água, utilizou-se a seguinte equação:

$$A = \frac{M1 - M0}{M0} \times 100 \%$$

Onde:

A = absorção de água em porcentagem.

M1 = massa do corpo-de-prova após a imersão, em gramas.

M0 = massa do corpo-de-prova antes da imersão, em gramas.

Os resultados são referentes às médias dos valores avaliados, entre corpos-de-prova, expressos em porcentagem, com exatidão de 0,1%.



Figura 36. Pesagem e medição.



Figura 37. Amostras submersas.

4.2.3.3. Determinação da Resistência ao Arrancamento de Parafuso

4.2.3.3.1. Arrancamento de Parafuso da Superfície

Os corpos-de-prova (150 mm x 75 mm) foram perfurados com auxílio de uma broca de 2,8 mm de diâmetro, produzindo-se um orifício com profundidade de 17 mm, centrado na superfície do corpo-de-prova. Com o parafuso já fixado, o corpo-de-prova foi acoplado aos acessórios da máquina universal de ensaios EMIC. O indicador de cargas foi zerado e foi então acionado o sistema de tração com velocidade de 15 mm/min, anotando-se a leitura obtida no indicador de cargas em newtons (**Figura 38**).

4.2.3.3.2. Arrancamento de Parafuso do Topo

Para este ensaio repetiu-se o procedimento descrito no item anterior, mas efetuando as perfurações apenas no topo dos corpos-de-prova (115 mm x 65 mm) destinados para este fim (**Figura 39**).



Figura 38. Localização do parafuso – face.



Figura 39. Localização do parafuso – topo.

4.2.3.4. Determinação da Dureza Janka

O conjunto de acessórios para efetuar o ensaio de dureza Janka foi acoplado na máquina universal de ensaios Sintech 5/G a qual foi regulada para uma velocidade de aplicação de carga de 6 mm/min.

Os corpos-de-prova foram colocados individualmente no equipamento, aplicando-se a carga até que a esfera de 11,3 mm de diâmetro penetrasse a metade de seu diâmetro no corpo-de-prova, ou seja, até alcançar 5,65 mm de profundidade (**Figura 40**).

Foram feitas duas penetrações em cada superfície do corpo-de-prova, com uma distância de 25 mm das laterais, separando-as o suficiente para que uma penetração não tivesse nenhum efeito sobre a outra (**Figura 41**).

Os resultados, segundo a norma, devem ser expressos em megapascals, mas como a norma não possui valores comparativos para este ensaio, os resultados foram expressos em newtons, valores estes que eram lidos diretamente no indicador de cargas da máquina universal de ensaios.



Figura 40. Penetração da esfera.



Figura 41. Distância entre os pontos de carga.

4.2.3.5. Determinação da Resistência à Compressão Longitudinal

Foram medidas as dimensões da seção transversal dos corpos-de-prova, com resolução de 0,01 mm, os quais foram posicionados um a um entre as garras da máquina universal de ensaios. Em seguida, foi acionado o equipamento adotando-se uma velocidade de 0,12 mm/min, até que ocorresse a ruptura (**Figura 42**).

No entanto, foram comparados os valores para corpos-de-prova retirados da mesma chapa, obtidos através de ensaios realizados com velocidade de 0,12 mm/min e 2 mm/min, observando-se uma variação insignificante no resultado. Assim foi adotada a velocidade de 2 mm/min otimizando o tempo de uso do laboratório de ensaios, viabilizando os ensaios com os corpos-de-prova derivados das chapas comerciais.

Foram então registradas as cargas máximas atingidas para romper os corpos-de-prova, expressas em newtons (**Figura 43**).

O cálculo para a compressão axial baseou-se na seguinte equação:

$$F = \frac{f}{A}$$

Sendo:

$$A = l \times e$$

Onde:

F = resistência à compressão axial, em megapascals;

f = carga de ruptura, em newtons;

A = área da seção, em milímetros quadrados;

l = largura do corpo-de-prova, em milímetros;

e = espessura do corpo-de-prova, em milímetros.

Os resultados são expressos em megapascals, com exatidão de 0,01 MPa.

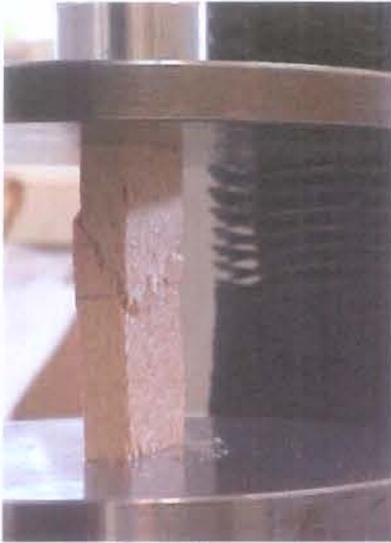


Figura 42. Aplicação da carga.

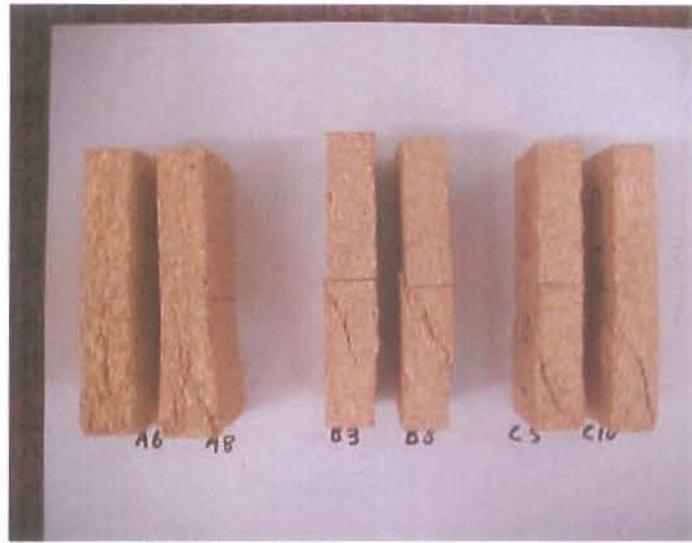


Figura 43. Linhas de ruptura.

4.2.3.6. Determinação da Resistência à Flexão Estática

Os corpos-de-prova foram colocados sobre dois apoios da máquina universal de ensaios Sintech 5/G, adotando-se o comprimento do vão de dez vezes a dimensão da espessura, com comprimento mínimo de 200 mm, de modo que o dispositivo pudesse aplicar a carga coincidindo com o centro geométrico do corpo-de-prova. No caso dos ensaios realizados neste trabalho adotou-se um vão de 150 mm, observando-se as dimensões do corpo-de-prova confeccionados de 250 mm x 50 mm x 15 mm.

Após o posicionamento do corpo-de-prova, o indicador de cargas da máquina universal de ensaios foi zerado, e adotou-se velocidade constante de aplicação de carga de 7 mm/min (Figura 44).

Anotava-se o valor da carga de ruptura em newtons (Figura 45).

O cálculo da resistência à flexão estática do corpo-de-prova foi feito através da seguinte equação:

$$MOR = \frac{1,5 \times (P \times D)}{B \times (E)^2}$$

Onde:

MOR = módulo de ruptura, em megapascals;

P = carga de ruptura lida no indicador de cargas, em newtons;

D = distância entre os apoios do aparelho, em milímetros;

B = largura do corpo-de-prova, em milímetros;

E = espessura média tomada em três pontos do corpo-de-prova, em milímetros.

O resultado é expresso em megapascals, com exatidão de 0,1 MPa.



Figura 44. Aplicação de carga.



Figura 45. Linha de ruptura.

4.2.3.7. Determinação da Resistência à Tração Perpendicular

Após a determinação das dimensões dos corpos-de-prova, com paquímetro com resolução de 0,01 mm, os mesmos foram então colados pelas superfícies nos blocos de tração, aplicando-se uma pressão moderada. Para colar os corpos-de-prova, foram testados os adesivos de PVA, *hot-melt*, uréia formol e adesivo instantâneo acrilato. O adesivo *hot-melt* apresentou melhor comportamento, porém mesmo assim não foi suficiente para garantir a qualidade do ensaio.

Em seguida à formação do conjunto composto pelo corpo-de-prova e pelos blocos de tração, acoplou-se o mesmo ao dispositivo utilizado para prender os blocos de tração na máquina universal de ensaios (**Figura 46**). Regulou-se a máquina universal de

ensaios EMIC para uma velocidade de 4 mm/min. Em seguida, foi acionada a máquina de ensaios até ocorrer a indicação de ruptura do corpo-de-prova, anotando-se o valor lido no indicador de cargas, em newtons.

O cálculo da resistência a tração perpendicular foi feito através da equação:

$$TP = \frac{P}{S}$$

Onde:

TP = resistência à tração perpendicular em megapascals;

P = carga na ruptura, expressa em newtons;

S = área da superfície do corpo-de-prova, em milímetros quadrados.

Os resultados foram a média dos corpos-de-prova ensaiados, expresso em megapascals, com exatidão de 0,01 MPa.



Figura 46. Ensaio de tração perpendicular.

4.2.4. Ensaio não Destrutivo (END) Aplicado aos Corpos-de-Prova

Antes da execução do ensaio de compressão axial, os corpos-de-prova foram submetidos ao ensaio não destrutivo (END) por meio do ultra-som. Utilizou-se o equipamento Ultrasonic Tester BP-7 (Steinkamp), dispondo de sensores eletroacústicos de seção exponencial com 45 kHz de frequência de ressonância (**Figura 47**).

Avaliou-se a velocidade do pulso ultra-sônico (VPU) através dos corpos-de-prova ao longo de suas três dimensões (comprimento, largura e espessura). Para essas duas últimas efetuou-se apenas uma estimativa da VPU, pois a combinação das dimensões dos corpos-de-prova (50 mm em largura, e 16 mm em espessura) com a frequência de ressonância dos sensores (45 kHz) não recomendava a medição, pois os comprimentos de onda eram de, teoricamente, 4 cm e 2 cm, para a largura e espessura, respectivamente. Desse modo, apenas se considerou a VPU obtida ao longo do comprimento. Também, para essa direção, se avaliou a constante elástica dinâmica, por meio de:

$$CLL = \rho \cdot v^2 \cdot 10^{-9}$$

onde:

CLL = constante elástica dinâmica (GPa);

ρ = massa específica aparente (kg/m^3);

v = velocidade de propagação do ultra-som (m/s).

Buscou-se, igualmente, verificar a possível dependência entre a resistência à compressão axial com a VPU na direção do comprimento do corpo-de-prova.



Figura 47. Ensaio de ultra-som.

4.2.5. Análise Estatística

A análise estatística foi efetuada com o auxílio do software Statsgraphics Plus 5.1, obtendo-se a análise de variância (ANOVA); as médias foram comparadas entre si por meio do teste Fisher's Least Significant Difference, LSD (5% de significância).

O delineamento foi inteiramente casualizado em esquema fatorial (corpos-de-prova x dosagem dos produtos); as variáveis dependentes foram as diferentes propriedades das chapas; a variável independente foi o teor de resina em função da massa de partículas de bambu, mantendo-se constantes os parâmetros do processo de produção (temperatura, pressão aplicada, duração da prensagem).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DAS PARTÍCULAS

5.1.1 Teor de umidade e Massa Específica Aparente das Partículas

Um colmo de bambu, aos ser picado, apresentou uma massa de 40 kg, sendo que os ramos, as folhas e as ponteiros apresentaram massa de 12 kg.

O teor de umidade e a massa específica aparente das partículas de bambu foram verificados na condição não compactada das mesmas.

Teor de umidade (base seca):

.Bambu triturado verde - 102%;

.Bambu triturado seco ao ar – 9,48%;

.Partículas classificadas – 11,43%

Massa específica aparente:

.Bambu triturado verde - 0,10 g/cm³

.Bambu triturado seco ao ar – 0,059 g/cm³

.Partículas classificadas – 0,21 g/cm³

5.1.2 Distribuição em Tamanho das Partículas de Bambu

Observando-se as definições das partículas utilizadas para formar painéis de madeira aglomerada, no item 3.6.1 deste trabalho, conclui-se que, para o presente trabalho, pode-se denominar as partículas derivadas dos colmos do bambu utilizadas como sendo “partículas delgadas” ou “fibras”, porém, devem-se evitar enganos quanto à denominação “fibras”, sendo as mesmas obtidas apenas por meio de processos químicos. Desse modo, neste trabalho foi adotado o termo “partículas” de bambu.

A distribuição em tamanho das partículas, por peneiramento, foi realizada com o intuito de se verificar sua adequação conforme a distribuição ótima do tamanho das partículas (0,61 mm a 2,00 mm), indicada por Andrade *et al.* (1999), cujo estudo está citado no item 3.6.1.

De 5 kg de partículas de bambu peneirada, cerca de 10% apresentavam espessura superior a 2,40 mm e cerca de 5% inferior a 0,45 mm.

As partículas utilizadas, de 0,45 mm a 2,40 mm apresentavam estas dimensões em espessura, contendo a faixa ótima de distribuição indicada por Andrade *et al.* (1999). No entanto, seu comprimento variava de 0,45 mm até 15 mm, em função do formato delgado apresentado pelas partículas derivadas de bambu, devido à sua composição anatômica, formada por fibras orientadas.

5.1.3. Razão de Compactação

Os colmos de bambu provenientes da espécie *B. vulgaris* apresentaram massa específica aparente de, em média, $0,75 \text{ g/cm}^3$ (valor este considerado como densidade das partículas), enquanto que as chapas de partículas de bambu confeccionadas apresentaram densidades inferiores a este valor, em média de $0,65 \text{ g/cm}^3$. Desta forma se tornou possível calcular a razão de compactação entre a chapa e as partículas, obtendo-se um valor aproximado de 0,86, inferior àquele recomendado no item 3.6.3.

Optou-se por esta razão de compactação para manter a variável densidade das chapas padronizada com a densidade das chapas de aglomerado cru, podendo desta forma, ter-se uma avaliação melhor da influência do teor de resina analisado.

5.2. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os valores médios de: regularidade em espessura, densidade, absorção de água e inchamento, arrancamento de parafuso (topo e face), dureza Janka, compressão longitudinal, flexão estática e tração perpendicular, para os corpos-de-prova referentes às chapas de partículas de bambu, foram analisados estatisticamente apresentando a ocorrência ou não de efeito significativo e a formação ou não de grupos homogêneos.

Os resultados da análise estatística podem ser verificados nos itens seguintes, representados nas tabelas de análise de variância, onde o valor $P < 0,05$ indica a ocorrência de efeito significativo ao nível de 5% de significância. Nas tabelas se verificam os efeitos causados pelas variáveis, acusando com um asterisco a ocorrência de diferença

significativa e com um X a formação de grupos homogêneos quando não existir diferença significativa.

Os dados são as variáveis dependentes formadas pelas diferentes propriedades das chapas; a variável independente foi o teor de resina X quantidade em massa de partículas.

Nas tabelas, estas variáveis independentes estão representadas sob a indicação cps pelos seguintes códigos:

- . 1 - amostras de chapas de partículas de bambu com 5% de resina;
- . 2 - amostras de chapas de partículas de bambu com 10% de resina;
- . 3 - amostras de chapas de partículas de bambu com 15% de resina.

Após identificar o tipo de chapa de partícula de bambu com melhor desempenho estatístico entre as variáveis analisadas, confrontaram-se pelo mesmo método estatístico, as chapas de partículas de bambu com 10% de resina e as chapas de aglomerado cru comerciais, representadas nas tabelas por “cps” como:

- . 1 – amostras de chapas de aglomerado cru comerciais;
- . 2 – amostras de chapas de partículas de bambu com 10% de resina.

5.2.1 Espessura

A análise estatística aplicada ao efeito do teor de resina em relação à quantidade em massa de partículas sobre a variável espessura, indicou que ao nível de $P < 0,05$ houve a ocorrência de efeito significativo relacionado às variáveis em questão (**Tabela 2**).

A ausência de X em paralelo demonstra que não houve a formação de grupos homogêneos, verificação confirmada pela presença de asteriscos, indicando que houve diferença significativa entre todas as combinações representadas nas tabelas pelos números das amostras (**Tabela 3**).

Tabela 2. Análise de variância referente aos efeitos do teor de resina em função da massa de partículas de bambu, sobre a variável espessura, em mm.

Analysis of Variance for dados - Type III Sums of Squares

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:cps	10,4278	2	5,2139	19,09	0,0000
RESIDUAL	7,37594	27	0,273183		
TOTAL (CORRECTED)	17,8037	29			

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

Tabela 3. Análise do efeito do teor de resina em função da massa de partículas de bambu, nos valores médios de espessura, em mm.

Multiple Range Tests for dados by cps

Method: 95,0 percent LSD

cps	Count	LS Mean	LS Sigma	Homogeneous Groups
2	10	15,337	0,165282	X
3	10	15,951	0,165282	X
1	10	16,776	0,165282	X

Contrast	Difference	+/- Limits
1 - 2	*1,439	0,479606
1 - 3	*0,825	0,479606
2 - 3	*-0,614	0,479606

* denotes a statistically significant difference.

As chapas de partículas de bambu foram prensadas utilizando-se de limitadores de espessura com altura igual a 14,5 mm buscando-se durante acomodação das partículas após a prensagem, alcançar a espessura de 15 mm. Esta acomodação e a posterior “relaxação” das chapas após a prensagem foram observadas em estudos preliminares.

Observando-se os valores referentes às espessuras dos corpos-de-prova proveniente das chapas de partículas de bambu, torna-se possível afirmar que as chapas confeccionadas com 5% de resina acomodaram-se com espessuras maiores e apresentaram maior variabilidade em espessura do que as demais chapas, as chapas com 10% de resina e 15% de resina apresentaram uma uniformidade maior no processo e um menor coeficiente de variação ($cv = (\text{desvpad} / \text{média}) \times 100$), sendo os valores destes iguais a 2,83% para as chapas de 10%, 2,37% para as chapas de 15% de resina e 4,16% para as chapas de 5% de

resina. As chapas com 15% de resina mostraram um menor coeficiente de variação em relação às outras chapas; no entanto, todas as amostras excederam a espessura desejada de 15 mm, enquanto que as amostras das chapas de 10% apresentaram espessura mais próxima dos 15 mm esperados (**Figura 48**).

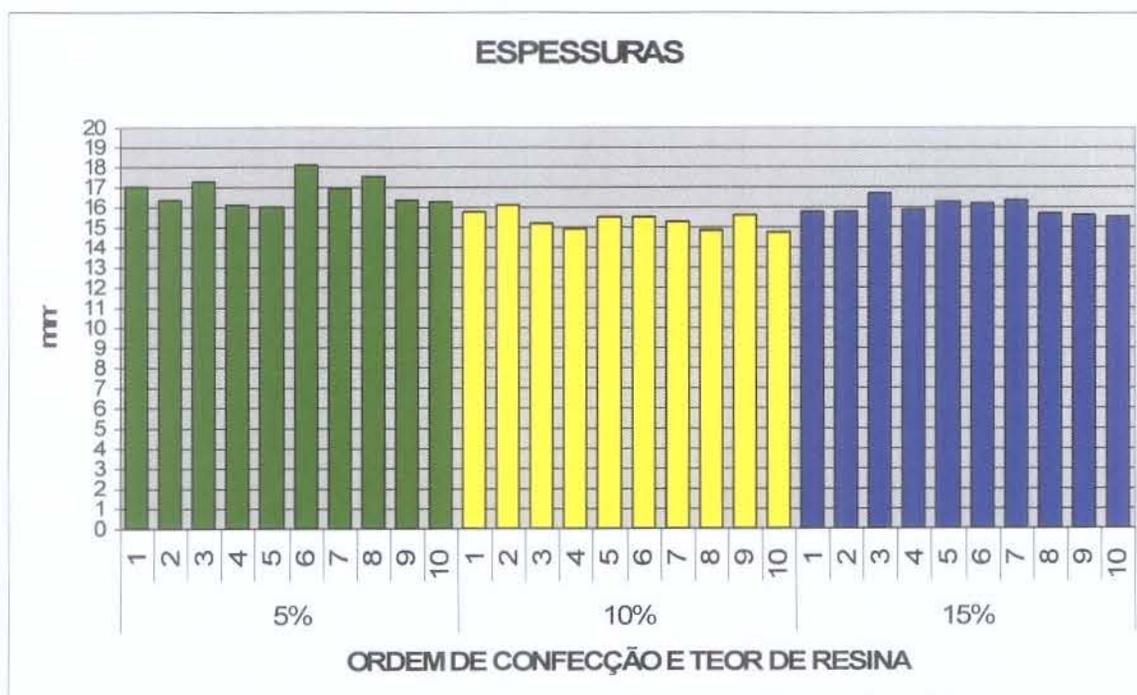


Figura 48. Espessuras das amostras das chapas de partículas de bambu.

As chapas confeccionadas com 10% de resina apresentam valores referentes às médias de espessura, próximos àquelas das chapas de madeira aglomerada cru produzidas comercialmente (**Figura 49**).

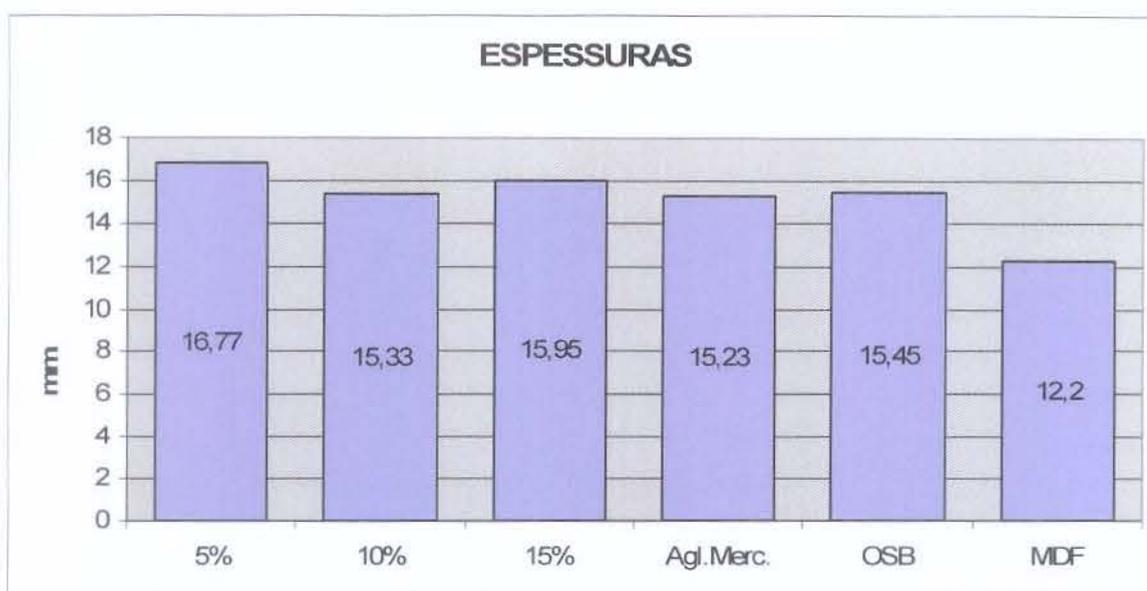


Figura 49. Média das espessuras das amostras das chapas de partículas de bambu e comerciais.

5.2.2 Densidade

A análise estatística sobre o efeito do teor de resina em relação à quantidade em massa de partículas de bambu sobre a variável densidade, indicou $P < 0,05$, acusando a ocorrência de efeito significativo relacionados às variáveis em questão (**Tabela 4**).

A ocorrência de X em paralelo entre 2 e 3 demonstra que houve a formação de grupos homogêneos entre estas amostras. A presença de asteriscos indica que houve diferença significativa entre as combinações 1 e 2 e entre 1 e 3, e não houve diferença significativa entre a combinação 2 e 3, representadas nas tabelas pelos números das amostras (**Tabela 5**).

Tabela 4. Análise de variância referente aos efeitos do teor de resina em função da massa de partículas de bambu, sobre a variável densidade, em kg/m³.

Analysis of Variance for __17 - Type III Sums of Squares

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:cps	65364,1	2	32682,1	12,51	0,0001
RESIDUAL	70545,0	27	2612,78		
TOTAL (CORRECTED)	135909,0	29			

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

Tabela 5. Análise do efeito do teor de resina em função da massa de partículas de bambu, nos valores médios de densidade, em kg/m³.

Multiple Range Tests for __17 by cps

Method: 95,0 percent LSD

cps	Count	LS Mean	LS Sigma	Homogeneous Groups
1	10	590,51	16,1641	X
2	10	688,351	16,1641	X
3	10	690,665	16,1641	X

Contrast	Difference	+/- Limits
1 - 2	*-97,841	46,9039
1 - 3	*-100,155	46,9039
2 - 3	-2,314	46,9039

* denotes a statistically significant difference.

Entre as chapas de partículas de bambu, tornou-se possível observar que, pela variação das espessuras verificadas após a prensagem, não se alcançou a densidade referência de 0,63 g/cm³, salvo em algumas chapas com 10% de resina.

Observaram-se valores inferiores a 0,63 g/cm³ no caso das chapas com 5% de resina e valores superiores a 0,63 g/cm³ nas chapas com 10% de resina e com 15 % de resina (**Figura 50**).

Esta variação pode ter sido causada pela má distribuição das partículas durante o processo de formação do colchão e pelo fato de a prensa não utilizar fôrma e sim limitadores. Na confecção dos corpos-de-prova pôde ser verificado visualmente que as partículas mais próximas do centro encontravam-se mais adensadas do que as partículas

mais próximas às bordas. Este fato foi observado em quase todas as chapas, mesmo desconsiderando os 5 cm retirados das bordas, segundo exigência da norma.

Os valores dos coeficientes de variação referentes aos ensaios de densidade nas amostras das chapas com 5% de resina, 10% de resina e 15% de resina, foram de, respectivamente, 6,21%, 6,60% e 9,62% .

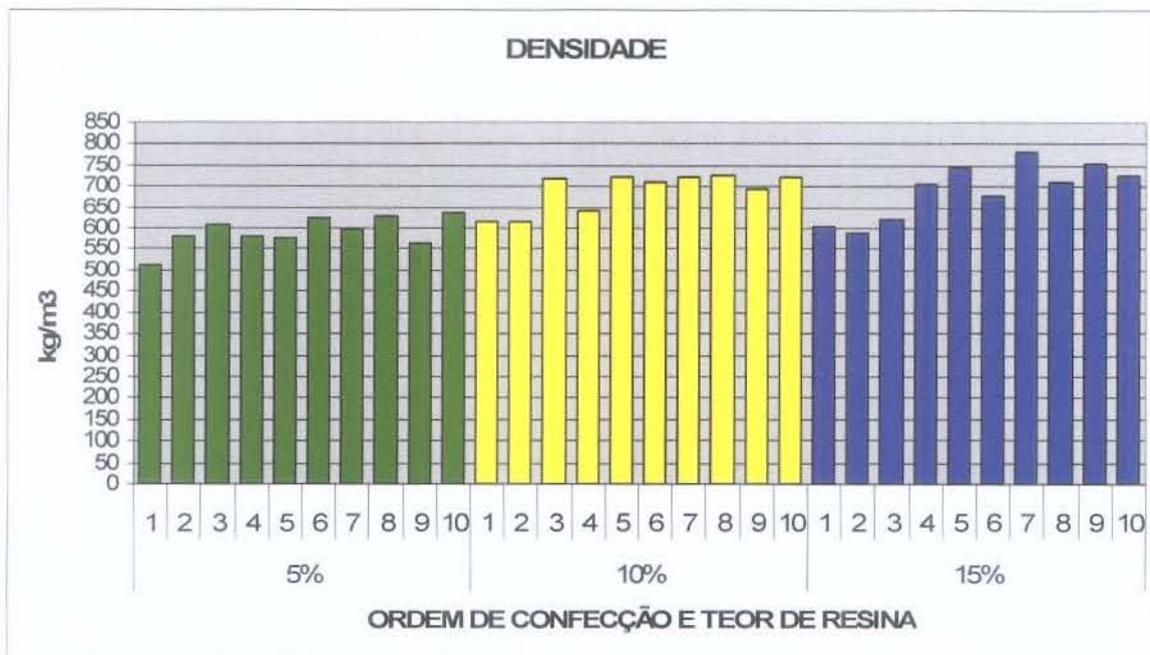


Figura 50. Densidade das amostras das chapas de partículas de bambu.

Pode-se observar, pelas médias das densidades das chapas propostas e pelas chapas comerciais, que as aquelas confeccionadas com 10% de resina e com 15% de resina não apresentaram médias muito diferentes entre si, estando tais valores próximos daqueles referentes às chapas de aglomerados cru e do MDF. Por outro lado, as chapas confeccionadas com 5% de resina e as chapas de OSB apresentaram maior porosidade e valores de densidade inferiores.

As chapas de OSB provavelmente apresentam essa característica por possuírem partículas com distribuição em tamanho maior em sua composição, enquanto que nas chapas com 5% de resina a baixa densidade deve-se ao recobrimento insuficiente de resina nas partículas (**Figura 51**).

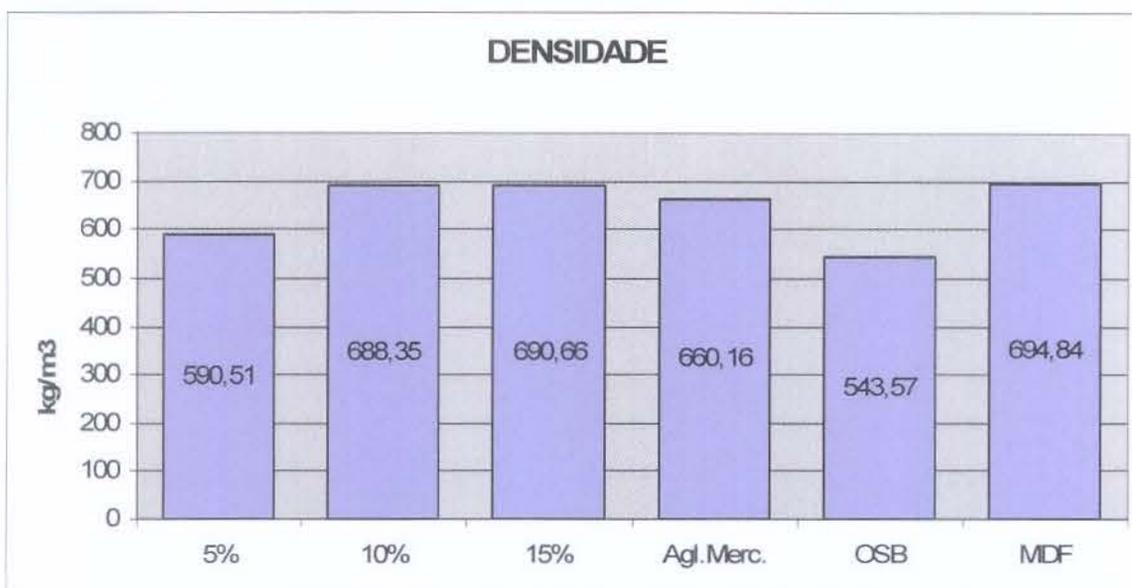


Figura 51. Média de densidade das amostras das chapas de partículas de bambu e comerciais.

5.2.3 Absorção de Água

5.2.3.1 Absorção de Água após 2 h

A análise estatística sobre o efeito da quantidade de resina em relação à quantidade em massa de partículas de bambu sobre a variável absorção de água após 2 h, indica que $P < 0,05$, acusando a ocorrência de efeito significativo relacionado às variáveis em questão (**Tabela 6**).

A ausência de X em paralelo demonstra que não houve a formação de grupos homogêneos verificação confirmada pela presença de asteriscos, indicando que houve diferença significativa entre todas as combinações representadas nas tabelas pelos números das amostras (**Tabela 7**).

Tabela 6. Análise de variância referente aos efeitos do teor de resina em função da massa de partículas de bambu, sobre a variável absorção de água em 2 h, em %.

Analysis of Variance for __17 - Type III Sums of Squares

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:cps	14456,6	2	7228,29	63,99	0,0000
RESIDUAL	3050,01	27	112,963		
TOTAL (CORRECTED)	17506,6	29			

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

Tabela 7. Análise do efeito do teor de resina em função da massa de partículas de bambu, nos valores médios de absorção de água em 2 h, em %.

Multiple Range Tests for __17 by cps

Method: 95,0 percent LSD				
cps	Count	LS Mean	LS Sigma	Homogeneous Groups
3	10	27,694	3,361	X
2	10	39,328	3,361	X
1	10	78,975	3,361	X

Contrast	Difference	+/- Limits
1 - 2	*39,647	9,75273
1 - 3	*51,281	9,75273
2 - 3	*11,634	9,75273

* denotes a statistically significant difference.

5.2.3.2. Absorção de Água após 24 h

A análise estatística sobre o efeito da quantidade de resina em relação à quantidade em massa de partículas de bambu sobre a variável absorção de água após 24 h indica que $P < 0,05$, acusando a ocorrência de efeito significativo relacionado às variáveis em questão (Tabela 8).

A ocorrência de X em paralelo entre 2 e 3 demonstra que houve a formação de grupos homogêneos entre estas amostras. A presença de asteriscos indica que houve diferença significativa entre as combinações 1 e 2 e entre 1 e 3, e não houve diferença significativa entre a combinação 2 e 3, representadas nas tabelas pelos números das amostras (Tabela 9).

Tabela 8. Análise de variância referente aos efeitos do teor de resina em função da massa de partículas, sobre a variável absorção de água após 24 h, em %.

Analysis of Variance for dados - Type III Sums of Squares

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:cps	2720,9	2	1360,45	20,39	0,0000
RESIDUAL	1801,09	27	66,707		
TOTAL (CORRECTED)	4521,99	29			

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

Tabela 9. Análise do efeito do teor de resina em função da massa de partículas de bambu, nos valores médios de absorção de água após 24 h, em %.

Multiple Range Tests for dados by cps

Method: 95,0 percent LSD				
cps	Count	LS Mean	LS Sigma	Homogeneous Groups
3	10	57,577	2,58277	X
2	10	60,455	2,58277	X
1	10	79,064	2,58277	X
Contrast		Difference		+/- Limits
1 - 2		*18,609		7,49451
1 - 3		*21,487		7,49451
2 - 3		2,878		7,49451

* denotes a statistically significant difference.

5.2.3.3. Absorção de Água após 216 h

A análise estatística sobre o efeito da quantidade de resina em relação à quantidade em massa de partículas de bambu sobre a variável absorção de água após 216 h, indicou que $P < 0,05$, acusando a ocorrência de efeito significativo relacionados às variáveis em questão (**Tabela 10**).

A ocorrência de X em paralelo entre 1 e 3 demonstra que houve a formação de grupos homogêneos entre estas amostras. A presença de asteriscos indica que houve diferença significativa entre as combinações 1 e 2 e entre 2 e 3, e não houve diferença

significativa entre a combinação 1 e 3, representadas nas tabelas pelos números das amostras (**Tabela 11**).

Tabela 10. Análise de variância referente aos efeitos do teor de resina, em função da massa de partículas de bambu, sobre a variável absorção de água após 216 h, em %.

Analysis of Variance for dados - Type III Sums of Squares

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:cps	2287,46	2	1143,73	11,28	0,0003
RESIDUAL	2737,73	27	101,397		
TOTAL (CORRECTED)	5025,19	29			

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

Tabela 11. Análise do efeito do teor de resina em função da massa de partículas de bambu, nos valores médios de absorção de água após 216 h, em %.

Multiple Range Tests for dados by cps

Method: 95,0 percent LSD

cps	Count	LS Mean	LS Sigma	Homogeneous Groups
2	10	71,44	3,1843	X
3	10	84,854	3,1843	X
1	10	92,575	3,1843	X
Contrast		Difference		+/- Limits
1 - 2			*21,135	9,23998
1 - 3			7,721	9,23998
2 - 3			*-13,414	9,23998

* denotes a statistically significant difference.

Através dos valores obtidos pelo ensaio de absorção de água, observam-se altas porcentagens de absorção pelas chapas de partículas de bambu, se comparadas com as chapas de aglomerado cru e de MDF, que possuem partículas menores do que as chapas de OSB, apresentando menor quantidade de espaços vazios.

A causa desta alta absorção pelas chapas de partículas de bambu, mesmo aquelas que apresentaram partículas de pequena dimensão, provavelmente esteja relacionada com a razão entre a compactação da chapa e a densidade das partículas. A densidade das

chapas encontra-se com valores inferiores aos valores de densidade das partículas, mantendo os vazios existentes no interior destas. No caso das chapas de MDF e do aglomerado cru, tais chapas possuem densidades maiores do que a das partículas, diminuindo os vazios existentes no seu interior, além de serem produzidas com a adição de parafina, o que contribui para diminuir a absorção de água.

A quantidade de resina também exerceu influência em relação à absorção de água pelas chapas, sendo que, com maiores teores de resina, diminuem-se os vazios existentes entre as partículas, além de ocorrer o preenchimento mais efetivo dos vazios do interior destas partículas (principalmente dos vasos do bambu).

Nota-se também que após 216 h as chapas com 15% de resina absorveram mais água do que as chapas com 10% de resina nas primeiras 24 h, demonstrando neste caso que mesmo um maior teor em resina não impediu a entrada de água, mas apenas retardou esta ocorrência (**Figura 52**).

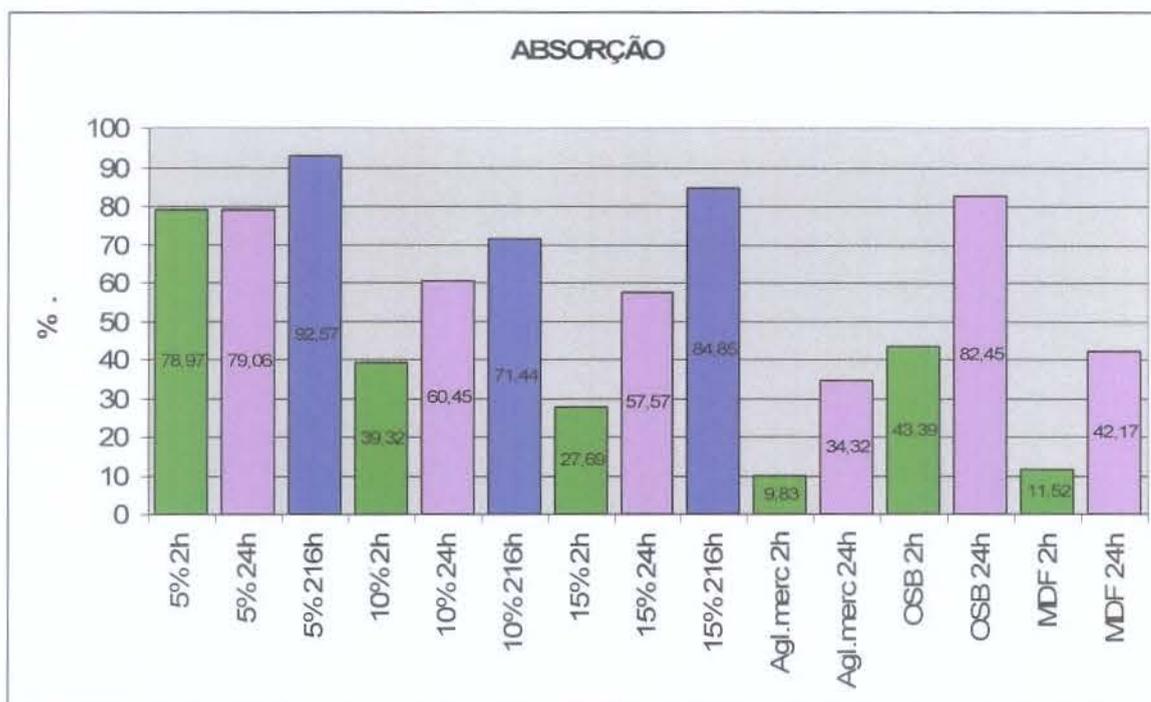


Figura 52. Média de absorção de água das amostras das chapas de partículas de bambu e chapas comerciais em 2 h, 24 h e 216 h.

Os altos valores de absorção de água apresentados pelas chapas de partículas de bambu demonstram a ineficiência da utilização destes materiais em ambientes externos. Uma alternativa seria adicionar um teor ótimo de parafina às partículas de bambu.

No entanto, como painéis de vedação internos ou forros sem funções estruturais (**Figura 53 e 54**), esta propriedade colabora para uma maior vedação acústica e térmica, em função dos vazios que proporcionam uma dissipação destas formas de energia, propriedades estas muito requisitadas para tais funções.

Neste caso, as chapas com 5% de resina seriam as mais indicadas desde que sejam também resistentes ao arrancamento de parafuso e suficientes para resistirem ao próprio peso.



Figura 53. Painéis de vedação.



Figura 54. Forros.

5.2.4. Inchamento

5.2.4.1 Inchamento após 2 h

A análise estatística sobre o efeito do teor de resina em relação à quantidade em massa de partículas de bambu sobre a variável inchamento após 2 h, indicou que $P < 0,05$, acusando a ocorrência de efeito significativo relacionado às variáveis em questão (**Tabela 12**).

A ausência de X em paralelo demonstra que não houve a formação de grupos homogêneos, verificação confirmada pela presença de asteriscos, indicando que houve diferença significativa entre todas as combinações representadas nas tabelas pelos números das amostras (**Tabela 13**).

Tabela 12. Análise de variância referente aos efeitos do teor de resina, em função da massa de partículas de bambu, sobre a variável inchamento após 2 h, em %.

Analysis of Variance for dados - Type III Sums of Squares					
Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:cps	409,859	2	204,929	227,05	0,0000
RESIDUAL	24,3693	27	0,902566		
TOTAL (CORRECTED)	434,228	29			

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

Tabela 13. Análise do efeito do teor de resina em função da massa de partículas de bambu, nos valores médios de inchamento após 2 h, em %.

Multiple Range Tests for dados by cps

Method: 95,0 percent LSD				
cps	Count	LS Mean	LS Sigma	Homogeneous Groups
3	10	5,032	0,300427	X
2	10	7,758	0,300427	X
1	10	13,872	0,300427	X

Contrast	Difference	+/- Limits
1 - 2	*6,114	0,87176
1 - 3	*8,84	0,87176
2 - 3	*2,726	0,87176

* denotes a statistically significant difference.

5.2.4.2 Inchamento após 24 h

A análise estatística sobre o efeito da quantidade de resina em relação à quantidade em massa de partículas de bambu sobre a variável inchamento após 24 h, indicou que $P < 0,05$, acusando a ocorrência de efeito significativo relacionados às variáveis em questão (Tabela 14).

A ausência de X em paralelo demonstra que não houve a formação de grupos homogêneos, verificação confirmada pela presença de asteriscos, indicando que houve diferença significativa entre todas as combinações representadas nas tabelas pelos números das amostras (Tabela 15).

Tabela 14. Análise de variância referente aos efeitos do teor de resina, em função da massa de partículas de bambu, sobre a variável inchamento após 24 h, em %.

Analysis of Variance for dados - Type III Sums of Squares					
Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS 					
A:cps	275,899	2	137,95	97,38	0,0000
RESIDUAL	38,2472	27	1,41656		
TOTAL (CORRECTED)	314,147	29			

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

Tabela 15. Análise do efeito do teor de resina em função da massa de partículas de bambu, nos valores médios de inchamento em 24 h, em %.

Multiple Range Tests for dados by cps				
Method: 95,0 percent LSD				
cps	Count	LS Mean	LS Sigma	Homogeneous Groups
3	10	9,082	0,376373	X
2	10	11,153	0,376373	X
1	10	16,235	0,376373	X
Contrast	Difference		+/- Limits	
1 - 2	*5,082		1,09213	
1 - 3	*7,233		1,09213	
2 - 3	*2,151		1,09213	

* denotes a statistically significant difference.

5.2.4.3 Inchamento após 216 h

A análise estatística sobre o efeito do teor de resina em relação à quantidade em massa de partículas de bambu sobre a variável inchamento em 216 h, indicou que $P <$

0,05, acusando a ocorrência de efeito significativo relacionado às variáveis em questão (Tabela 16).

A ausência de X em paralelo demonstra que não houve a formação de grupos homogêneos, verificação confirmada pela presença de asteriscos, indicando que houve diferença significativa entre todas as combinações representadas nas tabelas pelos números das amostras (Tabela 17).

Tabela 16. Análise de variância referente aos efeitos do teor de resina em função da massa de partículas de bambu, sobre a variável inchamento após 216 h, em %.

Analysis of Variance for dados - Type III Sums of Squares					
Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:cps	242,672	2	121,336	23,75	0,0000
RESIDUAL	122,638	24	5,1099		
TOTAL (CORRECTED)	365,31	26			

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

Tabela 17. Análise do efeito do teor de resina em função da massa de partículas de bambu, nos valores médios de inchamento após 216 h, em %.

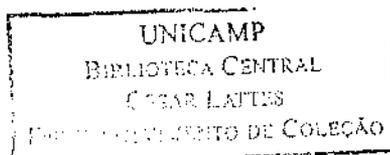
Multiple Range Tests for dados by cps

Method: 95,0 percent LSD				
cps	Count	LS Mean	LS Sigma	Homogeneous Groups
3	9	10,7233	0,753503	X
2	9	13,0144	0,753503	X
1	9	17,9111	0,753503	X

Contrast	Difference	+/- Limits
1 - 2	*4,89667	2,19932
1 - 3	*7,18778	2,19932
2 - 3	*2,29111	2,19932

* denotes a statistically significant difference.

Os resultados obtidos pelo ensaio de inchamento demonstram que, quanto maior foi o teor de resina, menor foi o inchamento em espessura nas chapas de partículas de



bambu, pois existem mais pontos de ligação unindo as partículas limitando a sua movimentação.

Verificou-se também, após 24 h, que todas as chapas comerciais apresentaram valores de inchamento superiores aos valores obtidos para inchamento das chapas de partículas de bambu após 216 h (**Figura 55**).

Tais qualidades podem ter sido influenciadas, assim como as propriedades de absorção, pela razão de compactação entre a densidade da chapa e a densidade das partículas. As partículas de bambu, sendo mais densas do que a chapa, sofreram menor compactação durante a prensagem, mantendo sua dimensão inicial, de modo que pudessem absorver água sem que variassem tanto quanto as chapas comerciais, confeccionadas com partículas menos densas do que a densidade final das chapas.

Os baixos valores de inchamento observados nas chapas de partículas de bambu, em tempos de exposição superiores a 2 h, sugerem a possibilidade de utilização das chapas em ambientes externos, pois, quanto menor for a variação dimensional das chapas, menor será a possibilidade de ocorrer desprendimento das partículas e, conseqüentemente, de ocorrer a desintegração das chapas.

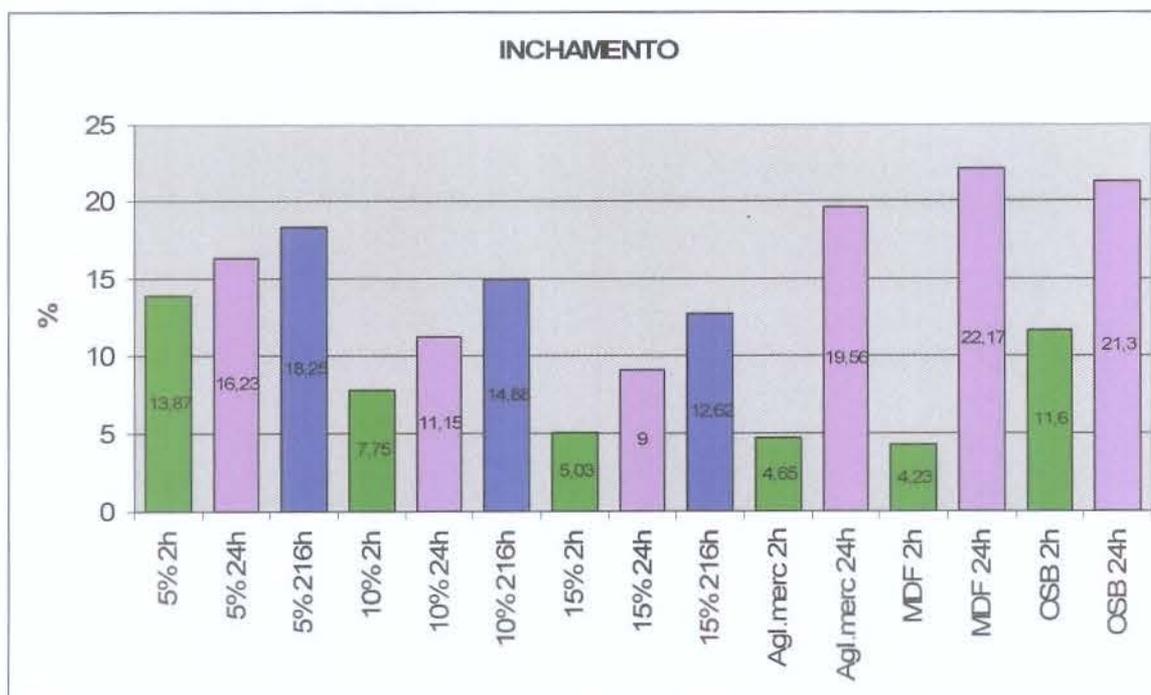


Figura 55. Média de inchamento em espessura das amostras de chapas de partículas de bambu e chapas comerciais após 2 h, 24 h e 216 h de imersão em água.

5.2.5. Resistência ao Arrancamento de Parafuso

5.2.5.1. Resistência ao Arrancamento de Parafuso da Face

A análise estatística sobre o efeito do teor de resina em relação à quantidade em massa de partículas de bambu sobre a variável arrancamento de parafuso da face indicou que $P < 0,05$, acusando a ocorrência de efeito significativo relacionado às variáveis em questão (Tabela 18).

A ocorrência de X em paralelo entre 2 e 3 demonstra que houve a formação de grupos homogêneos entre estas amostras. A presença de asteriscos indica que houve diferença significativa entre as combinações 1 e 2 e entre 1 e 3, e não houve diferença significativa entre a combinação 2 e 3, representadas nas tabelas pelos números das amostras (Tabela 19).

Tabela 18. Análise de variância referente aos efeitos do teor de resina em função da massa de partículas de bambu, sobre a variável arrancamento de parafuso da face, em N.

Analysis of Variance for __17 - Type III Sums of Squares					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:cps	26671,6	2	13335,8	5,71	0,0085
RESIDUAL	63039,0	27	2334,78		
TOTAL (CORRECTED)	89710,6	29			

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

Tabela 19. Análise do efeito do teor de resina em função da massa de partículas de bambu, nos valores médios de arrancamento de parafuso da face, em N.

Multiple Range Tests for __17 by cps

Method: 95,0 percent LSD				
cps	Count	LS Mean	LS Sigma	Homogeneous Groups
1	10	159,404	15,28	X
3	10	217,21	15,28	X
2	10	226,967	15,28	X
Contrast		Difference		+/- Limits
1 - 2		*-67,563		44,3384
1 - 3		*-57,806		44,3384
2 - 3		9,757		44,3384

* denotes a statistically significant difference.

5.2.5.2. Resistência ao Arrancamento de Parafuso do Topo

A análise estatística sobre o efeito do teor de resina em relação à quantidade em massa de partículas de bambu sobre a variável arrancamento de parafuso do topo indicou que $P < 0,05$, acusando a ocorrência de efeito significativo relacionado às variáveis em questão (**Tabela 20**).

A ocorrência de X em paralelo entre 2 e 3 demonstra que houve a formação de grupos homogêneos entre estas amostras. A presença de asteriscos indica que houve diferença significativa entre as combinações 1 e 2 e entre 1 e 3, e não houve diferença significativa entre a combinação 2 e 3, representadas nas tabelas pelos números das amostras (**Tabela 21**).

Tabela 20. Análise de variância referente aos efeitos do teor de resina, em função da massa de partículas de bambu, sobre a variável arrancamento de parafuso do topo, em N.

Analysis of Variance for __17 - Type III Sums of Squares

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:cps	66442,4	2	33221,2	11,24	0,0003
RESIDUAL	79824,8	27	2956,47		
TOTAL (CORRECTED)	146267,0	29			

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

Tabela 21. Análise do efeito dos teores resina em função da massa de partículas de bambu, nos valores médios de arrancamento de parafuso do topo, em N.

Multiple Range Tests for __17 by cps

Method: 95,0 percent LSD				
cps	Count	LS Mean	LS Sigma	Homogeneous Groups
1	10	96,162	17,1944	X
3	10	165,008	17,1944	X
2	10	210,657	17,1944	X
Contrast		Difference		+/- Limits
1 - 2		*-114,495		49,8935
1 - 3		*-68,846		49,8935
2 - 3		45,649		49,8935

* denotes a statistically significant difference.

Os valores médios de arrancamento de parafuso tanto da face quanto do topo mostraram-se muito acima dos valores exigidos pela norma (**Figura 56 e 57**). Provavelmente o formato delgado das partículas de bambu dispostos em orientação aleatória favorece o entrecruzamento entre si, de modo a oferecer boa resistência à tração.

Tornou-se possível observar também que a quantidade de resina apresentou uma influência positiva até 10% de utilização, apresentando valores inferiores com 15%. Provavelmente o excesso de resina sintetizada à razão 2:1 prejudicou o efeito do atrito entre as partículas de bambu e o parafuso, sendo essa característica necessária para elevar a resistência ao arrancamento.

Os altos valores obtidos no ensaio para as chapas com os três teores de resina comprovam a eficiência das mesmas para utilização na confecção de objetos auto-

portantes com a união de placas entre si e como painéis de vedação ou forros, aparafusados em esquadrias.



Figura 56. Média dos valores de tração de parafuso da face nas amostras das chapas de partículas de bambu.



Figura 57. Média dos valores de tração de parafuso do topo nas amostras das chapas de partículas de bambu.

5.2.6. Dureza Janka

A análise estatística sobre o efeito do teor de resina em relação à quantidade em massa de partículas de bambu sobre a variável dureza Janka indicou que $P < 0,05$, acusando a ocorrência de efeito significativo relacionado às variáveis em questão (**Tabela 22**).

A ocorrência de X em paralelo entre 2 e 3 demonstra que houve a formação de grupos homogêneos entre estas amostras. A presença de asteriscos indica que houve diferença significativa entre as combinações 1 e 2 e entre 1 e 3, e não houve diferença significativa entre a combinação 2 e 3, representadas nas tabelas pelos números das amostras (**Tabela 23**).

Tabela 22. Análise de variância referente aos efeitos do teor de resina, em função da massa de partículas de bambu, sobre a variável dureza Janka, em N.

Analysis of Variance for dados - Type III Sums of Squares

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:cps	8,15228E6	2	4,07614E6	15,36	0,0000
RESIDUAL	7,16339E6	27	265311,0		
TOTAL (CORRECTED)	1,53157E7	29			

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

Tabela 23. Análise do efeito do teor de resina em função da massa de partículas de bambu, nos valores médios de dureza Janka, em N.

Multiple Range Tests for dados by cps

Method: 95,0 percent LSD

cps	Count	LS Mean	LS Sigma	Homogeneous Groups
1	10	2440,75	162,884	X
2	10	3540,65	162,884	X
3	10	3552,4	162,884	X

Contrast	Difference	+/- Limits
1 - 2	*-1099,9	472,645
1 - 3	*-1111,65	472,645
2 - 3	-11,75	472,645

* denotes a statistically significant difference.

Os dados obtidos pelo ensaio de dureza Janka (**Figura 58**) demonstraram que as chapas de partículas de bambu, com 5% de resina, apresentaram valores inferiores às demais, sendo que as chapas com 10% de resina e com 15% de resina apresentaram valores próximos aos das chapas de aglomerado cru, e superiores aos de OSB e inferiores aos das chapas de MDF. Provavelmente este fato pode ser atribuído à dimensão das partículas. Como as placas de OSB possuem partículas de grande dimensão, no momento da penetração da esfera torna-se mais fácil que ocorra a propagação da fissura em uma mesma partícula, o que não ocorre nas chapas de partículas de pequena dimensão, os quais vão se acomodando conforme a esfera metálica penetra, oferecendo, assim, uma maior resistência à penetração.

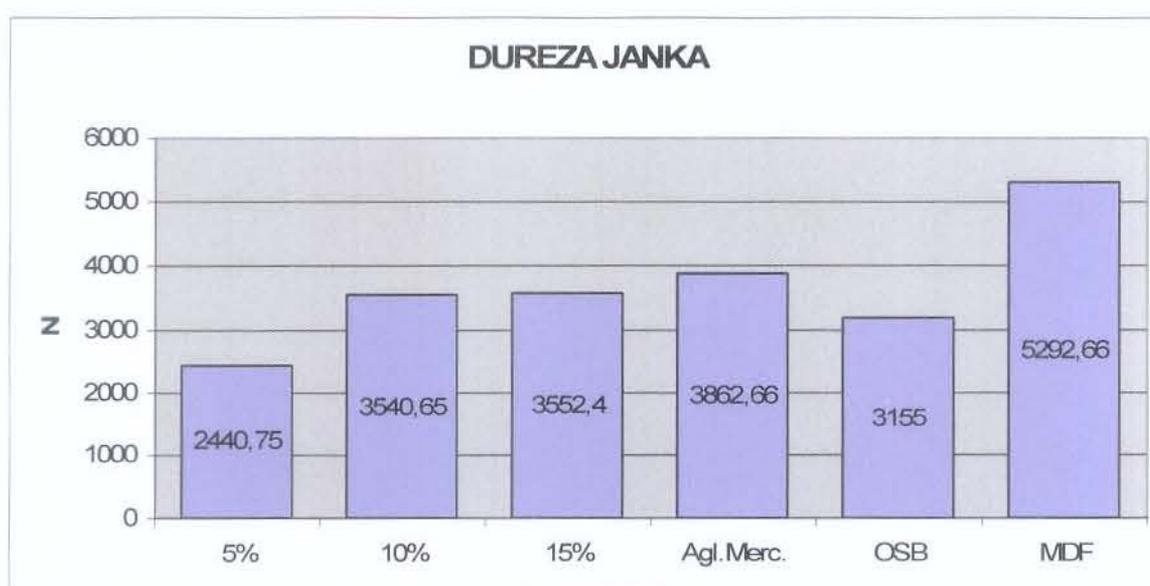


Figura 58. Média dos valores de dureza Janka nas amostras das chapas de partículas de bambu e de chapas comerciais.

5.2.7. Resistência à Compressão Longitudinal

A análise estatística sobre o efeito da quantidade de resina em relação à quantidade em massa de partículas sobre a variável compressão longitudinal indicou que $P < 0,05$, acusando a ocorrência de efeito significativo relacionado às variáveis em questão (**Tabela 24**).

A ocorrência de X em paralelo entre 2 e 3 demonstra que houve a formação de grupos homogêneos entre estas amostras. A presença de asteriscos indica que houve

diferença significativa entre as combinações 1 e 2 e entre 1 e 3, e não houve diferença significativa entre a combinação 2 e 3, representadas nas tabelas pelos números das amostras em (Tabela 25).

Tabela 24. Análise de variância referente aos efeitos do teor de resina, em função da massa de partículas de bambu, sobre a variável compressão longitudinal, em MPa.

Analysis of Variance for dados - Type III Sums of Squares					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:cps	57,7484	2	28,8742	9,92	0,0006
RESIDUAL	78,6261	27	2,91208		
TOTAL (CORRECTED)	136,375	29			

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

Tabela 25. Análise do efeito do teor de resina em função da massa de partículas de bambu, nos valores médios de compressão longitudinal, em MPa.

Multiple Range Tests for dados by cps				
Method: 95,0 percent LSD				
cps	Count	LS Mean	LS Sigma	Homogeneous Groups
1	10	3,35681	0,539637	X
2	10	6,19593	0,539637	X
3	10	6,39403	0,539637	X
Contrast			Difference	+/- Limits
1 - 2			*-2,83912	1,56588
1 - 3			*-3,03722	1,56588
2 - 3			-0,198098	1,56588

* denotes a statistically significant difference.

Os valores obtidos no ensaio de compressão longitudinal demonstram que as chapas de partículas de bambu possuem resistência inferior às chapas comerciais em quase 50%, sendo que as chapas com 5% de resina apresentaram os menores valores (Figura 59).

Para que as chapas sejam utilizadas para fins estruturais ou na produção de móveis, deve-se observar as cargas máximas indicadas pela caracterização das chapas através do ensaio discutido.

Um maior adensamento das chapas e/ou um aumento no teor de pré-polímero na síntese da resina, poderia acarretar em uma melhoria desta propriedade.

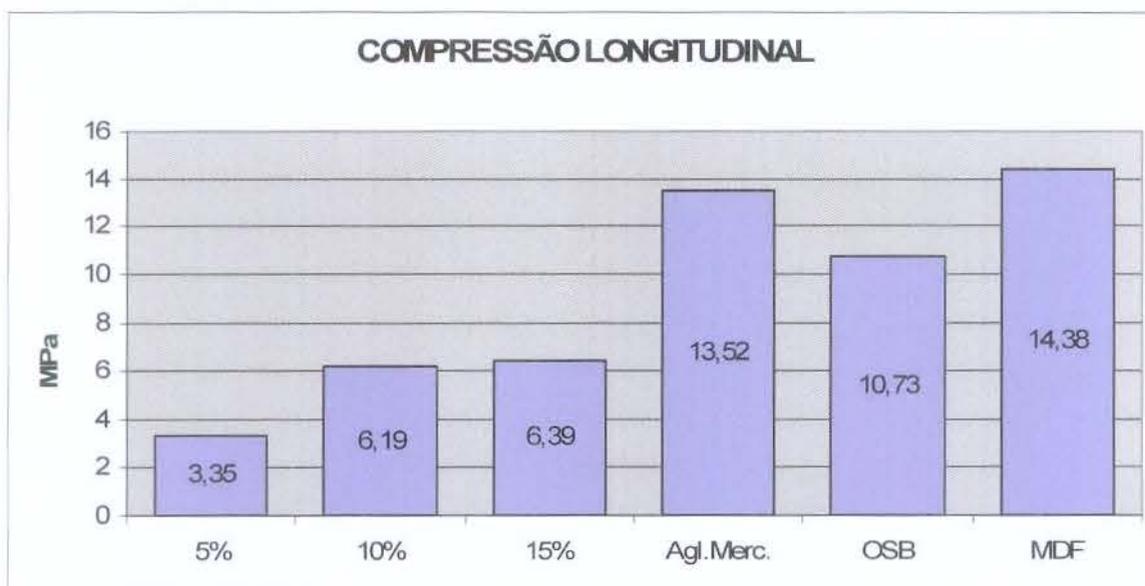


Figura 59. Média dos valores de compressão longitudinal nas amostras das chapas de partículas de bambu e das chapas comerciais.

5.2.8. Resistência em Flexão Estática

A análise estatística sobre o efeito do teor de resina em relação à quantidade em massa de partículas de bambu sobre a variável flexão estática indicou que $P < 0,05$, acusando a ocorrência de efeito significativo relacionado às variáveis em questão (**Tabela 26**).

A ocorrência de X em paralelo entre 2 e 3 demonstra que houve a formação de grupos homogêneos entre estas amostras. A presença de asteriscos indica que houve diferença significativa entre as combinações 1 e 2 e entre 1 e 3, e não houve diferença significativa entre a combinação 2 e 3, representadas nas tabelas pelos números das amostras (**Tabela 27**).

Tabela 26. Análise de variância referente aos efeitos do teor de resina, em função da massa de partículas de bambu, sobre a variável flexão estática, em MPa.

Analysis of Variance for dados - Type III Sums of Squares					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:cps	101,107	2	50,5535	10,51	0,0004
RESIDUAL	129,888	27	4,81066		
TOTAL (CORRECTED)	230,995	29			

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

Tabela 27. Análise do efeito do teor de resina em função da massa de partículas de bambu, nos valores médios de flexão estática, em MPa.

Multiple Range Tests for dados by cps

Method: 95,0 percent LSD				
cps	Count	LS Mean	LS Sigma	Homogeneous Groups
1	10	4,52086	0,693589	X
2	10	8,02739	0,693589	X
3	10	8,71222	0,693589	X

Contrast	Difference	+/- Limits
1 - 2	*-3,50653	2,01261
1 - 3	*-4,19135	2,01261
2 - 3	-0,684825	2,01261

* denotes a statistically significant difference.

Os valores obtidos nos ensaios de flexão estática mostraram-se os mais baixos dentre todos os outros ensaios mecânicos, se comparados com os valores obtidos pelos ensaios das chapas comerciais ou mesmo pela exigência mínima da norma (**Figura 60**).

Durante os ensaios das chapas de partículas de bambu, foi possível observar baixos valores de módulo de ruptura. No entanto, observou-se uma maior deformação até a ocorrência do rompimento em relação às demais chapas comerciais, denotando a maior absorção de energia pela chapa de partículas de bambu.

As amostras das chapas de aglomerado cru apresentaram uma resistência maior à flexão estática do que as chapas de partículas de bambu. No entanto, as chapas comerciais

apresentaram uma deformação muito pequena e sua ruptura ocorreu de maneira abrupta, após ter sua camada externa rompida, camada esta formada por partículas finas (espessura < 0,45 mm).

Esta camada de aproximadamente 2 mm de espessura funciona como se fosse um revestimento e por ser composta por partículas mais finas, possui maior quantidade de resina e menos vazios, o que confere ao material uma maior resistência.

Outros fatores que afetam esta propriedade são: a razão de compactação entre as chapas e as partículas (item 3.6.3) e a proporção entre o poliól e o pré-polímero, para a síntese da resina, que neste trabalho foi utilizada na razão 2:1 em massa.

Quanto maior for a quantidade de poliól utilizada, maior será a flexibilidade do material, mostrando a resina um comportamento elastomérico. Por outro lado, quanto maior for a quantidade de pré-polímero, maior será a dureza e menor será a flexibilidade (item 3.4.3.),

Os baixos valores verificados neste ensaio demonstram a ineficiência das chapas de partículas de bambu nas condições em que foram confeccionadas, visando a produção de móveis com grandes vãos, com a capacidade de suportar cargas mais elevadas do que os indicados pela caracterização das chapas através do ensaio discutido ou com funções estruturais.

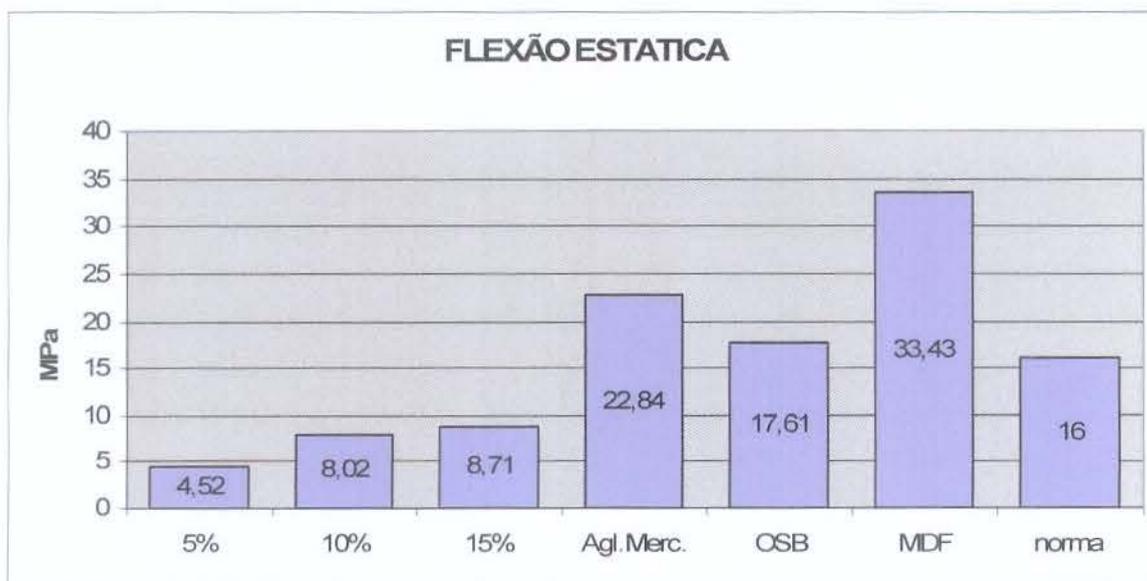


Figura 60. Média dos valores de flexão estática nas amostras das chapas de partículas de bambu, das chapas comerciais e da norma.

5.2.9. Resistência à Tração Perpendicular

A análise estatística sobre o efeito do teor de resina em relação à quantidade em massa de partículas de bambu sobre a variável tração perpendicular indicou que $P > 0,05$, acusando que não houve ocorrência de efeito significativo relacionado às variáveis em questão (**Tabela 28**).

A ocorrência de X em paralelo entre 1 e 3 e 2 e 3, demonstra que houve a formação de grupos homogêneos entre estas amostras. A presença de asteriscos indica que houve diferença significativa entre as combinações 1 e 2, e não houve diferença significativa entre as combinações 1 e 2, e 2 e 3, representadas nas tabelas pelos números das amostras (**Tabela 29**).

Tabela 28. Análise de variância referente aos efeitos do teor de resina em função da massa de partículas de bambu, sobre a variável tração perpendicular, em MPa.

Analysis of Variance for __17 - Type III Sums of Squares					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:cps	0,08138	2	0,04069	3,21	0,0561
RESIDUAL	0,34225	27	0,0126759		

TOTAL (CORRECTED)	0,42363	29			

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

Tabela 29. Análise do efeito do teor de resina em função da massa de partículas de bambu, nos valores médios de tração perpendicular, em MPa.

Multiple Range Tests for __17 by cps				
Method: 95,0 percent LSD				
cps	Count	LS Mean	LS Sigma	Homogeneous Groups
1	10	0,273	0,0356033	X
3	10	0,326	0,0356033	XX
2	10	0,4	0,0356033	X
Contrast			Difference	+/- Limits
1 - 2			*-0,127	0,103311
1 - 3			-0,053	0,103311
2 - 3			0,074	0,103311

* denotes a statistically significant difference.

Apesar de indicar que as amostras das chapas de 10% de resina superaram os valores exigidos pela norma (**Figura 61**), nenhum dos valores representa a resistência real das chapas de partículas, pois todos os corpos-de-prova romperam na linha de cola.

Foram testados diversos adesivos para a execução deste ensaio, e todos falharam; alguns adesivos não chegaram a oferecer mínima resistência na linha de cola, talvez por incompatibilidade química quanto à aderência com as partículas revestidas pela resina.

Para este ensaio, no entanto, foram considerados os valores obtidos utilizando-se do adesivo *hot melt* ou cola quente, que apresentou maior adesão dentre todos os adesivos testados. Utilizando-se deste adesivo, foi possível observar que o rompimento dos corpos-de-prova ocorreu na superfície dos mesmos, junto à linha de cola, sendo possível observar o arrancamento de partículas de bambu.

O fato do rompimento ter ocorrido próximo à superfície dos corpos-de-prova e não no seu interior, pode ser explicada pelo fato de que o adesivo *hot melt*, é aquecida a uma temperatura de 180 °C para ser utilizado, o que pode ter degradado o adesivo poliuretano à base de óleo de mamona, na sua interface, desprendendo assim as partículas desta região.

No caso das chapas com 10% de resina, o valor mínimo observado entre as chapas superou o valor exigido pela norma, o que torna possível afirmar que o valor real de resistência à tração perpendicular para este tipo de chapa seja seguramente superior aos valores exigidos pela norma.

No entanto, a incompatibilidade entre os adesivos testados e as chapas de partículas de bambu, demonstrou não ser possível efetuar o revestimento das chapas por qualquer material após a prensagem, a não ser que seja utilizada a mesma resina poliuretana à base de óleo de mamona.

Não foi testada neste trabalho a utilização de tinturas ou pigmentos diluídos na resina ou aplicados nas superfícies após a prensagem, o que poderia otimizar a execução do ensaio.

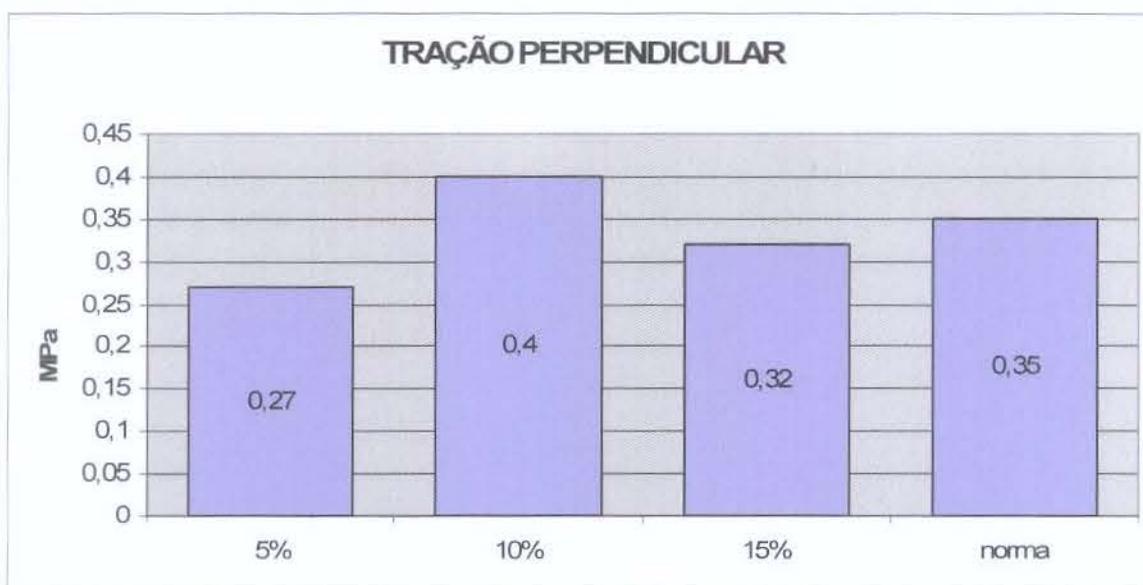


Figura 61. Média dos valores de tração perpendicular nas amostras das chapas de partículas de bambu e da norma.

5.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA REFERENTE ÀS CHAPAS COM 10% DE RESINA E AGLOMERADO CRU

Após analisar estatisticamente as propriedades das chapas de partículas de bambu, pôde-se observar que, em relação aos ensaios de densidade, absorção após 24 h, arrancamento de parafuso da face, arrancamento de parafuso do topo, dureza Janka, compressão longitudinal, flexão estática e tração perpendicular, não houve diferença significativa entre os corpos-de-prova com 10% de resina e os corpos-de-prova com 15% de resina.

Os ensaios de espessura, absorção após 2 h, inchamento após 2 h, inchamento após 24 h, e inchamento após 216 h, apresentaram diferença significativa nos três tipos de chapas não apresentando, portanto, grupos homogêneos.

Apenas nos ensaios de absorção após 216 h, as chapas com 5% de resina e as chapas com 15% de resina não apresentaram diferença significativa.

Pode-se afirmar que a relação custo - benefício, tendo em vista que a resina é o material de maior custo econômico e ambiental na composição da chapa, torna-se mais indicado a produção de chapas com 10% de resina, sendo que na maioria dos ensaios, apesar de as chapas com 15% de resina apresentarem valores superiores aos das chapas com 10% de resina, e estas apresentarem valores superiores aos das chapas com 5% de resina, as chapas com 10% de resina e com 15% de resina não demonstram haver diferença estatística entre si.

5.3.1 Análise Estatística sobre a Variável Absorção Referente às Chapas de 10% e Aglomerado Cru

5.3.1.1 Absorção após 2 h

A análise estatística sobre o efeito teor de resina em relação à quantidade em massa de partículas de bambu sobre a variável absorção após 2 h indicou que $P < 0,05$, acusando a ocorrência de efeito significativo relacionado às variáveis em questão (**Tabela 30**).

A ausência de X em paralelo demonstra que não houve a formação de grupos homogêneos, verificação confirmada pela presença de asteriscos, indicando que houve diferença significativa entre todas as combinações representadas nas tabelas pelos números das amostras (**Tabela 31**).

Tabela 30. Análise de variância referente às chapas de partículas de bambu com 10% de resina e as chapas de aglomerado cru, sobre a variável absorção após 2 h, em %.

Analysis of Variance for dados - Type III Sums of Squares

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:cps	1522,91	1	1522,91	81,98	0,0008
RESIDUAL	74,3091	4	18,5773		
TOTAL (CORRECTED)	1597,22	5			

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

Tabela 31. Análise do efeito entre as chapas de partículas de bambu com 10% (2) de resina e as chapas de aglomerado cru (1), nos valores médios de absorção após 2 h, em %.

Multiple Range Tests for dados by cps

Method: 95,0 percent LSD				
cps	Count	LS Mean	LS Sigma	Homogeneous Groups
1	3	9,86333	2,48846	X
2	3	41,7267	2,48846	X
Contrast		Difference		+/- Limits
1 - 2		*-31,8633		9,77093

* denotes a statistically significant difference.

5.3.1.2. Absorção após 24 h

A análise estatística sobre o efeito do teor de resina em relação à quantidade em massa de partículas sobre a variável absorção após 24 h indicou que $P < 0,05$, acusando a ocorrência de efeito significativo relacionado às variáveis em questão (**Tabela 32**).

A ausência de X em paralelo demonstra que não houve a formação de grupos homogêneos, verificação confirmada pela presença de asteriscos, indicando que houve diferença significativa entre todas as combinações representadas nas tabelas pelos números das amostras (**Tabela 33**).

Tabela 32. Análise de variância referente às chapas de partículas de bambu com 10% de resina e as chapas de aglomerado cru, sobre a variável absorção após 24 h, em %.

Analysis of Variance for dados - Type III Sums of Squares

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS 					
A:cps	1172,08	1	1172,08	42,76	0,0028
RESIDUAL	109,642	4	27,4106		
TOTAL (CORRECTED)	1281,73	5			

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

Tabela 33. Análise do efeito entre as chapas de partículas de bambu com 10% de resina e as chapas de aglomerado cru, nos valores médios de absorção após 24 h, em %.

Multiple Range Tests for dados by cps

Method: 95,0 percent LSD				
cps	Count	LS Mean	LS Sigma	Homogeneous Groups
1	3	34,3867	3,02273	X
2	3	62,34	3,02273	X
Contrast		Difference		+/- Limits
1 - 2		*-27,9533		11,8687

* denotes a statistically significant difference.

5.3.2 Análise Estatística sobre a Variável Inchamento Referente às Chapas de 10% e Aglomerado Cru

5.3.2.1 Inchamento após 2 h

A análise estatística sobre o efeito do teor de resina em relação à quantidade em massa de partículas sobre a variável inchamento após 2 h indicou que $P < 0,05$, acusando a ocorrência de efeito significativo relacionado às variáveis em questão (**Tabela 34**).

A ausência de X em paralelo demonstra que não houve a formação de grupos homogêneos verificação confirmada pela presença de asteriscos, indicando que houve

diferença significativa entre todas as combinações representadas nas tabelas pelos números das amostras(**Tabela 35**).

Tabela 34. Análise de variância referente às chapas de partículas de bambu com 10% de resina e as chapas de aglomerado cru, sobre os dados referentes à variável inchamento após 2 h, em %.

Analysis of Variance for dados - Type III Sums of Squares					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:cps	17,4081	1	17,4081	35,80	0,0039
RESIDUAL	1,94487	4	0,486217		
TOTAL (CORRECTED)	19,3529	5			

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

Tabela 35. Análise do efeito entre as chapas de partículas de bambu com 10% de resina e as chapas de aglomerado cru, nos valores médios de inchamento após 2 h em %.

Multiple Range Tests for dados by cps

Method: 95,0 percent LSD				
cps	Count	LS Mean	LS Sigma	Homogeneous Groups
1	3	4,65333	0,402582	X
2	3	8,06	0,402582	X

Contrast	Difference	+/- Limits
1 - 2	*-3,40667	1,58074

* denotes a statistically significant difference.

5.3.2.2 Inchamento após 24 h

A análise estatística sobre o efeito do teor de resina em relação à quantidade em massa de partículas sobre a variável inchamento após 24 h indicou que $P < 0,05$, acusando a ocorrência de efeito significativo relacionado às variáveis em questão (**Tabela 36**).

A ausência de X em paralelo demonstra que não houve a formação de grupos homogêneos verificação confirmada pela presença de asteriscos, indicando que houve

diferença significativa entre todas as combinações representadas nas tabelas pelos números das amostras (**Tabela 37**).

Tabela 36. Análise de variância referente às chapas de partículas de bambu com 10% de resina e as chapas de aglomerado cru, sobre a variável inchamento após 24 h, em %.

Analysis of Variance for dados - Type III Sums of Squares

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:cps	106,26	1	106,26	176,24	0,0002
RESIDUAL	2,41173	4	0,602933		
TOTAL (CORRECTED)	108,672	5			

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

Tabela 37. Análise do efeito entre as chapas de partículas de bambu com 10% de resina e as chapas de aglomerado cru, nos valores médios de inchamento após 24 h, em %.

Multiple Range Tests For dados by cps

Method: 95,0 percent LSD				
cps	Count	LS Mean	LS Sigma	Homogeneous Groups
2	3	11,1467	0,448305	X
1	3	19,5633	0,448305	X
Contrast		Difference		+/- Limits
1 - 2		*8,41667		1,76027

* denotes a statistically significant difference.

5.3.3. Análise Estatística sobre a Variável Dureza Janka Referente às Chapas de 10% e Aglomerado Cru

A análise estatística sobre o efeito do teor de resina em relação à quantidade em massa de partículas sobre a variável dureza Janka indicou que $P > 0,05$, acusando que não houve ocorrência de efeito significativo relacionado às variáveis em questão (**Tabela 38**).

A ocorrência de X em paralelo entre 1 e 2, demonstra que houve a formação de grupo homogêneo entre estas amostras. A ausência de asteriscos indica que não houve

diferença significativa entre a combinação 1 e 2, representadas nas tabelas pelos números das amostras (Tabela 39).

Tabela 38. Análise de variância referente às chapas de partículas de bambu com 10% de resina e as chapas de aglomerado cru, sobre a variável dureza Janka, em N.

Analysis of Variance for dados - Type III Sums of Squares

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:cps	90160,0	1	90160,0	0,95	0,3857
RESIDUAL	380984,0	4	95246,0		
TOTAL (CORRECTED)	471144,0	5			

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

Tabela 39. Análise do efeito entre as chapas de partículas de bambu com 10% de resina e as chapas de aglomerado cru, nos valores médios de dureza Janka, em N.

Multiple Range Tests for dados by cps

Method: 95,0 percent LSD				
cps	Count	LS Mean	LS Sigma	Homogeneous Groups
2	3	3617,5	178,182	X
1	3	3862,67	178,182	X
Contrast		Difference		+/- Limits
1 - 2		245,167		699,63

* denotes a statistically significant difference.

5.3.4 Análise Estatística sobre a Variável Compressão Longitudinal Referente às Chapas de 10% e Aglomerado Cru

A análise estatística sobre o efeito do teor de resina em relação à quantidade em massa de partículas sobre a variável compressão longitudinal indicou que $P < 0,05$, acusando a ocorrência de efeito significativo relacionado às variáveis em questão (Tabela 40).

A ausência de X em paralelo demonstra que não houve a formação de grupos homogêneos, verificação confirmada pela presença de asteriscos, indicando que houve

diferença significativa entre todas as combinações representadas nas tabelas pelos números das amostras (**Tabela 41**).

Tabela 40. Análise de variância referente às chapas de partículas de bambu com 10% de resina e as chapas de aglomerado cru, sobre a variável compressão longitudinal, em MPa.

Analysis of Variance for dados - Type III Sums of Squares

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:cps	61,504	1	61,504	39,98	0,0032
RESIDUAL	6,15347	4	1,53837		
TOTAL (CORRECTED)	67,6575	5			

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

Tabela 41. Análise do efeito entre as chapas de partículas de bambu com 10% de resina e as chapas de aglomerado cru, nos valores médios de compressão longitudinal, em MPa.

Multiple Range Tests for dados by cps

Method: 95,0 percent LSD

cps	Count	LS Mean	LS Sigma	Homogeneous Groups
2	3	7,11667	0,716093	X
1	3	13,52	0,716093	X
Contrast		Difference		+/- Limits
1 - 2		*6,40333		2,81174

* denotes a statistically significant difference.

5.3.5 Análise Estatística sobre a Variável Flexão Estática Referente às Chapas de 10% e Aglomerado Cru

A análise estatística sobre o teor de resina em relação à quantidade em massa de partículas sobre a variável flexão estática indicou que $P < 0,05$, acusando a ocorrência de efeito significativo relacionado às variáveis em questão (**Tabela 42**).

A ausência de X em paralelo demonstra que não houve a formação de grupos homogêneos, verificação confirmada pela presença de asteriscos, indicando que houve

diferença significativa entre as amostras ensaiadas, representadas nas tabelas pelos números das amostras em (Tabela 43).

Tabela 42. Análise de variância referente às chapas de partículas de bambu com 10% de resina e as chapas de aglomerado cru, sobre a variável flexão estática, em MPa

Analysis of Variance for dados - Type III Sums of Squares					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:cps	238,014	1	238,014	50,24	0,0021
RESIDUAL	18,9489	4	4,73722		
TOTAL (CORRECTED)	256,963	5			

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

Tabela 43. Análise do efeito entre as chapas de partículas de bambu com 10% de resina e as chapas de aglomerado cru, nos valores médios de flexão estática, em MPa

Multiple Range Tests for dados by cps

Method: 95,0 percent LSD				
cps	Count	LS Mean	LS Sigma	Homogeneous Groups
2	3	10,2433	1,25661	X
1	3	22,84	1,25661	X
Contrast			Difference	+/- Limits
1 - 2			*12,5967	4,93408

* denotes a statistically significant difference.

5.4. END Aplicado aos Corpos-de-Prova

Os resultados do ensaio não destrutivo (END) por ultra-som possibilitaram a obtenção da velocidade de propagação do ultra-som (VPU), e permitiram detectar as diferenças aportadas à estrutura dos corpos-de-prova pelos teores em resina poliuretana à base de óleo de mamona (Tabela 44). Os dados obtidos analisados e interpretados estatisticamente (teste de Tukey a 5% de significância estatística) evidenciaram a

superioridade das dosagens 10% e 15% em relação à dosagem de 5%. As duas primeiras dosagens em resina não apresentaram diferenças estatísticas entre si, corroborando os resultados obtidos nas avaliações destrutivas dos corpos-de-prova (**Tabela 45**).

Tabela 44. Análise de variância referente ao teor de resina nas chapas de partículas de bambu, sobre a variável VPU na direção do comprimento.

Analysis of Variance for UScompr - Type III Sums of Squares

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:dose	1,02561	2	0,512803	12,90	0,0001
RESIDUAL	1,07346	27	0,0397578		
TOTAL (CORRECTED)	2,09907	29			

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

Tabela 45. Análise do efeito do teor de resina nas chapas de partículas de bambu, nos valores médios da VPU na direção do comprimento.

Multiple Range Tests for UScompr by dose

Method: 95,0 percent Tukey HSD

dose	Count	LS Mean	LS Sigma	Homogeneous Groups
1	10	1,561	0,0630538	X
2	10	1,897	0,0630538	X
3	10	1,992	0,0630538	X

Contrast	Difference	+/- Limits
1 - 2	*-0,336	0,221153
1 - 3	*-0,431	0,221153
2 - 3	-0,095	0,221153

* denotes a statistically significant difference.

As VPU médias (em km/s) nas três direções foram:

- . 5% - de 1,56 (comprimento), 1,67 (largura) e 0,50 (espessura);
- . 10% - de 1,90 (comprimento), 1,91 (largura) e 0,81 (espessura);
- . 15% - de 1,99 (comprimento), 1,93 (largura) e 0,84 (espessura).

Embora, devido às particularidades existentes no ensaio (dimensões das chapas e frequência de ressonância dos sensores eletroacústicos) não seja possível obter conclusões

a respeito da magnitude das VPU, verificou-se uma tendência de que as chapas analisadas tenham um comportamento similar nas direções do comprimento e da largura, quando comparadas com a VPU correspondente à espessura.

Não foi possível correlacionar a resistência à compressão longitudinal com a VPU, para as chapas de partículas de bambu. Gonçalves e Silva (2002) obtiveram resultados adequados avaliando chapas de fibras de madeira por meio de ultra-som relacionado à densidade e ao módulo de elasticidade das chapas, ao contrário do que se observa para outros materiais (compósitos cimentícios prensados, por exemplo), como já havia sido relatado por Zucco (1999), quando avaliou compósitos de cimento e casca de arroz prensados. Aparentemente, o adensamento inerente à fabricação das chapas não é uma garantia suficiente para que seja possível propiciar a formação de percursos mais favoráveis à propagação da onda ultra-sônica. No entanto, essa avaliação mereceria um melhor aprofundamento, aplicando-se o END por meio de sensores eletroacústicos de maior frequência de ressonância, o que possibilitaria adequar-se o procedimento experimental às chapas de pequena espessura.

A constante elástica dinâmica obtida para a direção do comprimento foi de 1,48 GPa, 2,34 GPa e 2,59 GPa para as dosagens em resina de 5%, 10% e 15% respectivamente. Gonçalves e Silva (2002) haviam obtido valores na faixa de 1,69 GPa a 4,59 GPa, porém adotando procedimento experimental diferente daquele adotado no presente trabalho.

5.5. DISCUSSÕES GERAIS

Após observar os resultados estatísticos entre as características das chapas de partículas de bambu com 10% de resina e as chapas de aglomerado cru, verificou-se que houve diferença significativa referente aos ensaios de absorção em 2 h, e em 24 h, inchamento após 2 h e após 24 h, em compressão longitudinal e na resistência à flexão estática. Apenas os resultados de inchamento após 24 h se mostraram superiores nas chapas de 10% quando comparadas às chapas de aglomerado cru.

A análise estatística referente ao ensaio de dureza Janka não apresentou diferença significativa entre as chapas.

Observando-se o comportamento de ruptura no ensaio de flexão estática entre as chapas de partículas de bambu e as chapas de aglomerado cru, tornou-se possível verificar nestas últimas, a influência positiva do revestimento externo formado por partículas mais finas e com maior adensamento, conforme foi discutido no item 5.2.8. Provavelmente a confecção de chapas de partículas de bambu com revestimento similar, seja capaz de melhorar as características das chapas, devido a um efeito de contenção.

6. CONCLUSÕES

De acordo com as condições em que a pesquisa foi conduzida, e após efetuar a análise e a discussão dos dados experimentais obtidos e interpretados estatisticamente, tornou-se possível concluir que:

. Os valores do coeficiente de variação referentes à regularidade de espessura e à densidade apresentados pelas amostras dos três tipos de chapa, foram inferiores a 10%, demonstrando uma boa uniformidade no processo de confecção das mesmas e fornecendo assim maior confiança nos dados estatísticos referentes aos ensaios realizados.

. O teor de resina em função da massa das partículas utilizadas na produção de chapas de partículas homogêneas de bambu apresentou um efeito significativo em todas as propriedades analisadas estatisticamente, com exceção dos valores de tração perpendicular, cujo ensaio foi prejudicado devido à inadequada aderência entre as chapas confeccionadas com os adesivos utilizados no ensaio.

. Por meio da análise estatística foi possível concluir que não houve diferença significativa entre as chapas de partículas de bambu com 10% de resina e com 15% de resina na maioria dos ensaios realizados, sendo que as chapas de 5% de resina apresentaram desempenho inferior na maioria dos ensaios.

. Em relação à análise estatística entre chapas de aglomerado cru comerciais e as chapas com 10% de resina, pode-se afirmar que não houve diferença significativa entre as mesmas quanto aos valores apresentados no ensaio de dureza Janka. Para os demais ensaios, referentes à absorção de água em 2 h e 24 h, inchamento em 2 h e 24 h, compressão longitudinal e resistência à flexão, houve diferença significativa sendo que as chapas de aglomerado cru demonstraram resultados superiores, apresentando resultados inferiores apenas às chapas de 10% referente ao ensaio de inchamento em 24 h.

KEHL. Ind. e Comércio. <www.kehl.ind.br> acessado em 21/04/2004.

KOLLMANN, F.P. ; KUENZI, E.W. ; STAMM, J. Principles of wood science and technology. Wood based materials. Properties of Particleboard. Nail-Holding and Screw-Holding Ability. New York, 1975. p.523-529.

MALONEY, T.M. Modern Particleboard & Dry-Process Fiberboard Manufacturing. San Francisco, 1977. 672p.

MALONEY, T.M. The family of wood composite materials. Forest Products Journal, 1996, V.46, n.2, p.19 – 26,

MOSLEMI, A. A. Particleboard. Illinois, Southern Illinois University Press. 1974.

NASCIMENTO, M.F. CPH-Chapas de Partículas Homogêneas - Madeiras do Nordeste do Brasil. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. São Carlos- SP, 2003. 117p.

OLIVEIRA, J.T.S. ; FREITAS, A.R. DE. Painéis à Base de Madeira. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. Departamento de Construção Civil. São Paulo, 1995. p.19-25.

OLMOS, M.A.C. Equipamento e Processo de Fabricação de Chapas de Madeira Aglomeradas a partir de Resíduos de Madeira. Dissertação de Mestrado. São Carlos. SP, 1992. 110p.

PETERSON, R.W. Wood adhesives. Ottawa, Forest Products Research Branch, 1964, n.1055.

PIZZI A. Advanced wood adhesives technology. Marcel Dekker, New York. 1994. 297p.

PLEPIS A. M. G. Caracterização térmica e viscoelétrica de resinas poliuretanas derivadas de óleo de mamona. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. São Carlos – SP, 1991.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA (SBS). (2004). <sbs@sbs.org.br> webmail acessado em 01/07/2004.

TAFISA BRASIL S. A. <www.tafisa.com.br> acessado em 13/03/2005.

TONISSI, J. L. Madeira e seus Derivados na Construção Civil. Dissertação de Mestrado. São Carlos – SP, 1985. 137p.

VALENÇA, A.C.V.; ROQUE, C.A.; SOUZA, P.Z. Painéis de madeira Aglomerada. Revista da Madeira. Ano 8, n. 48. Curitiba. PR., 2000. p.14-19.

VITAL, B. R. *et al.*, How species and board densities affect properties of exotic hardwood particleboard In: Annual Meeting of the Forest Products Research Society, 28, Proceedings. Chicago. 1974.

VITAL, B. R. Effects of species and panel densities on properties of hardwood particleboard. Thesis, Master of Science – Forestry. University of Wisconsin. Madison, 1973.111p.

VITAL, B.R. *et al.*, Parameters affecting dimensional stability of flakeboard and particleboard. Forest Prod. J. 1980, 30 (12): p. 23-29.

VITAL, B.R. *et a.*, Efeitos da geometria das partículas nas propriedades das chapas de madeira aglomerada de *Eucalyptus gradis* (Hill ex- maiden). Revista *Árvore*, Viçosa, 1992, v.16, n., p. 88-96.

ZUCCO L.L. Estudo da viabilidade de fabricação de placas de compósitos à base de cimento e casca de arroz. Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 1999. 118 pp.