

Serviço de Pós-Graduação EESC/USP

EXEMPLAR REVISADO

Data de entrada no Serviço: 11 / 12 / 00

Ass: 

PAINÉIS PORTANTES DE MADEIRA E DERIVADOS

DEDALUS - Acervo - EESC



31100017100

Cristiane Inácio de Campos

Dissertação apresentada à Área de Tecnologia do Ambiente Construído, SAP / EESC da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Arquitetura.



Orientadores: Prof^a. Dr^a. Akemi Ino

Prof. Dr. João Cesar Hellmeister (*in memorian*)

São Carlos

2000

Class.	TESE
Curr.	1116
Tombo	035/01

31100017100

st 1128787

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

C198p Campos, Cristiane Inácio de
Painéis portantes de madeira e derivados /
Cristiane Inácio de Campos. -- São Carlos, 2000.


Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia de
São Carlos-Universidade de São Paulo, 2000.
Área: Tecnologia do Ambiente Construído.
Orientador: Prof^a. Dr^a. Akemi Ino.
Co-orientador: Prof. Dr. João Cesar Hellmeister.

1. Madeira. 2. Painéis estruturais. 3. Chapas.
4. Durabilidade. I. Título.

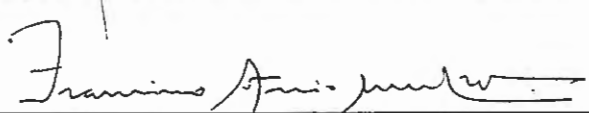
FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidata: Engenheira **CRISTIANE INÁCIO DE CAMPOS**

Dissertação defendida e aprovada em 23.10.2000
pela Comissão Julgadora:



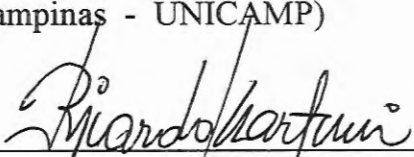
Prof. Doutora **AKEMI INO (Orientadora)**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)



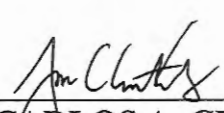
Prof. Titular **FRANCISCO ANTÔNIO ROCCO LAHR**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)



Prof. Doutor **ANTÔNIO LUDOVICO BERALDO**
(Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP)



Prof. Assoc. **CARLOS ALBERTO FERREIRA MARTINS**
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em
Tecnologia do Ambiente Construído



JOSÉ CARLOS A. CINTRA
Presidente da Comissão de Pós-Graduação da EESC

*Aos meus pais, pela dedicação, apoio e
Incentivo, e à minha irmã Cláudia,
Sempre disposta a me ajudar.*

AGRADECIMENTOS

Ao sempre mestre e orientador, Prof. Dr. João César Hellmeister, in memoriam, pela orientação, incentivo, legado e sobretudo amizade, conquistados durante este trabalho, colaboração esta, de vital importância, para que este, viesse a se tornar realidade.

À minha orientadora, Prof^a. Dr^a. Akemi Ino, pela disponibilidade e apoio dados em momento difícil e crucial deste trabalho, até que este chegasse à sua finalização.

Ao Prof. Dr. Francisco Antonio Rocco Lahr, pelo constante apoio, incentivo e colaboração, de suma importância, para que este trabalho fosse concluído.

Ao Prof. Dr. Antonio Ludovico Beraldo por sua intensa colaboração, inclusive na realização e conclusão da etapa final de experimentação, dispondo de equipamentos e laboratório para a conclusão deste trabalho.

Ao José Francisco do Nascimento, pela realização dos ensaios essenciais a este trabalho de pesquisa.

À minha companheira e sempre amiga, Ms. Maria Fátima do Nascimento, pela constante presença em momentos difíceis, apoiando com incentivo e força em todo tempo.

Aos amigos mestrandos, doutorandos, professores e funcionários do Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira da EESC/USP, pelo auxílio, destreza, prontidão e cooperação, deixando um excelente ambiente de trabalho.

À minha família por todo incentivo, auxílio, positivismo, compreensão e amor dedicados.

À FAPESP, órgão idôneo e de suma importância ao pesquisador, que acreditou em meu potencial, sem a qual, este trabalho não teria sido concluído.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – TEMA DA PESQUISA	1
1.1 - INTRODUÇÃO	1
1.2 – PROBLEMÁTICA	3
1.2.1 – Déficit habitacional	4
1.2.2 – Habitação popular	5
1.3 – DEFINIÇÃO DO OBJETO	5
1.4 – ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	7
CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
2.1 – MADEIRA E SEUS DERIVADOS	9
2.1.1 - Madeira Serrada	10
2.1.2 – Madeira Aglomerada (Partículas de Madeira)	14
2.1.3 – Madeira Compensada	15
2.1.4 – Fibra de Madeira	16
2.1.5 –MDF	17
2.1.6 – Compósito Madeira-Cimento	18
2.2 – TIPOLOGIAS E COMPOSIÇÕES DE PAINÉIS PORTANTES	19
2.3 – MÉTODOS DE ENSAIOS ESTRUTURAIS DE PAINÉIS	24
2.4 – DURABILIDADE DAS CHAPAS	28
2.5 – APLICAÇÃO DA BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	31
CAPÍTULO 3 – CONCEPÇÃO DAS TIPOLOGIAS DE PAINÉIS PORTANTES	32
3.1 – CRITÉRIO PARA DEFINIÇÃO DAS TIPOLOGIAS	32
3.2 – PROPOSTA DE TIPOLOGIAS DE PAINÉIS PORTANTES	34
3.3 – VERIFICAÇÃO ESTRUTURAL DAS TIPOLOGIAS PROPOSTAS	41
3.3.1 – Determinação da Resistência da Madeira e dos Painéis	41
CAPÍTULO 4 – DESEMPENHO ESTRUTURAL – EXPERIMENTAÇÃO	45
4.1 – MÉTODO DE ENSAIO E EQUIPAMENTO UTILIZADO PARA PAINÉIS VERTICAIS.....	48
4.2 – MÉTODO DE ENSAIO E EQUIPAMENTO UTILIZADO PARA PAINÉIS HORIZONTAIS.....	51

4.3 – ENSAIO DOS ENSAIOS DE CHAPAS E PAINÉIS VERTICAIS	53
4.3.1 - Madeira Aglomerada	56
4.3.2 - Madeira Compensada	76
4.4 – ENSAIO DE PAINÉIS HORIZONTAIS	94
4.4.1 – Madeira Aglomerada	94
4.4.2 – Madeira Compensada	101
4.5 – ANÁLISE DOS RESULTADOS	103
CAPÍTULO 5 – DURABILIDADE DO MATERIAL – EXPERIMENTAÇÃO	105
5.1 - MÉTODOS DE ENSAIO E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS	105
5.2 – PREPARAÇÃO DOS MATERIAIS	107
5.3 – REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS E RESULTADOS OBTIDOS	109
5.3.1 – Análise Visual	109
5.3.2 - Ensaio de ultra-som	114
5.3.3 – Ensaio de Flexão	124
5.4 – ANÁLISE DOS RESULTADOS	130
CAPÍTULO 6 – CONCLUSÃO	131
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	133

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01 – Consumo Aparente de Painéis à Base de Madeira	6
FIGURA 02 – Sistema construtivo composto por painéis portantes de pequena dimensão	20
FIGURA 03 – Composição de painéis portantes de madeira, espaçamento entre montantes, formas de contraventos e ângulos	21
FIGURA 04 – Diferentes composições de revestimentos para painéis portantes	22
FIGURA 05 – Painel estrutural com contraventamento diagonal, para paredes estruturais, com contraventamento permanente após a montagem	23
FIGURA 06 – Painel estrutural com abertura, reforçado uma por viga (verga)	24
FIGURA 07 (a), (b) e (c) – Ensaio de Painéis submetidos à Flexão – FOREST PRODUCTS LABORATORY	26
FIGURA 08 – Esquema de ensaio padrão para painéis a partir da ASTM E-72	26
FIGURA 09 – Aplicação de carga concentrada em uma placa	27
FIGURA 10 – Esquema da ação dos ventos de acordo com a ASTM E-72	27
FIGURA 11 – Aplicação do esquema apresentado na figura 15, simplificando ASTM E-72 ..	28
FIGURA 12 – Detalhe de ligação entre montantes para a montagem do painel	34
FIGURA 13 – Tipologia 1 de painel vertical	35
FIGURA 14 – Tipologia 2 de painel vertical	36
FIGURA 15 – Tipologia 3 de painel vertical	37
FIGURA 16 – Tipologia 4 de painel horizontal	38
FIGURA 17 – Tipologia 5 de painel horizontal	39
FIGURA 18 – Tipologia 6 de painel horizontal	40
FIGURA 19 – Resumo dos ensaios verticais para chapas e painéis de madeira aglomerada ..	46
FIGURA 20 – Resumo dos ensaios verticais para chapas e painéis de madeira compensada ..	46
FIGURA 21 – Resumo dos ensaios para painéis horizontais de madeira aglomerada	47
FIGURA 22 – Resumo dos ensaios para painéis horizontais de madeira compensada	47
FIGURA 23 – Forma de carregamento vertical para chapas e painéis	49
FIGURA 24 - Equipamento utilizado para o ensaio de chapas e/ou painéis. Equipamento disponível no LaMEM-EESC/USP	50
FIGURA 25 – (a) Esquema lateral do equipamento utilizado e (b) esquema frontal do equipamento de ensaio	50
FIGURA 26 (a) e (b) – Detalhe do relógio comparador e do extensômetro de 30 cm	51

FIGURA 27 – Equipamento utilizado para o ensaio de painéis horizontais. Equipamento disponível no LaMEM-EESC/USP	52
FIGURA 28 – Sistema de carregamento para painéis horizontais	52
FIGURA 29 – Relógio colocado na parte inferior do painel, onde são feitas as leituras das deformações	53
FIGURA 30 – Primeiro carregamento – CHAPA 1 A	55
FIGURA 31 – Segundo carregamento – CHAPA 1 A	55
FIGURA 32 – Terceiro carregamento – CHAPA 1 A	55
FIGURA 33 – CHAPA 1 A de madeira aglomerada sendo ensaiada	57
FIGURA 34 – PAINEL 1 A de madeira aglomerada sendo ensaiado e apresenta-se sofrendo flambagem	57
FIGURA 35 – Gráfico Carga x Deformação, referente à média dos carregamentos para a CHAPA 1 A	58
FIGURA 36 – Gráfico Carga x Deformação, referente à média dos carregamentos para o PAINEL 1 A	60
FIGURA 37 – CHAPA 2 A de madeira aglomerada em atingir a flambagem	62
FIGURA 38 – PAINEL 2 A de madeira aglomerada sem atingir a flambagem	62
FIGURA 39 – Gráfico Carga x Deformação, referente a média dos carregamentos para o CHAPA 2 A	63
FIGURA 40 – Gráfico Carga x Deformação, referente à média dos carregamentos para o PAINEL 2 A	65
FIGURA 41 – Detalhe do rompimento do montante de pinus no nó	66
FIGURA 42 – CHAPA 3 A de madeira aglomerada atingindo a flambagem	67
FIGURA 43 – PAINEL 3 A de madeira aglomerada podendo-se observar o painel rompido no nó, indicado pela seta	67
FIGURA 44 – Gráfico Carga x Deformação, referente à média dos carregamentos para o CHAPA 3 A	68
FIGURA 45 – FIGURA 38 – Gráfico Carga x Deformação, referente à média dos carregamentos para o PAINEL 3 A	70
FIGURA 46 – FIGURA 38 – Gráfico Carga x Deformação, referente à média dos carregamentos para o PAINEL 4 A	73
FIGURA 47 – FIGURA 38 – Gráfico Carga x Deformação, referente à média dos carregamentos para o PAINEL 5 A	75
FIGURA 48 – CHAPA 1 C de madeira compensada atingindo a flambagem	77
FIGURA 49 – PAINEL 1 C de madeira compensada atingindo a flambagem	77
FIGURA 50 – FIGURA 38 – Gráfico Carga x Deformação, referente à média dos carregamentos para o CHAPA 1 C	78

FIGURA 51 – FIGURA 38 – Gráfico Carga x Deformação, referente à média dos carregamentos para o PAINEL 1 C	80
FIGURA 52 – CHAPA 2 C de madeira compensada sofrendo flambagem	82
FIGURA 53 – PAINEL 2 C de madeira compensada em flambagem	82
FIGURA 54 – Gráfico Carga x Deformação, referente à média dos carregamentos para o CHAPA 2 C	83
FIGURA 55 – Gráfico Carga x Deformação, referente à média dos carregamentos para o PAINEL 2 C	85
FIGURA 56 – CHAPA 3 A de madeira compensada em flambagem	87
FIGURA 57 – PAINEL 3 A de madeira compensada em flambagem	87
FIGURA 58 – – Gráfico Carga x Deformação, referente à média dos carregamentos para o CHAPA 3 C	88
FIGURA 59 – Gráfico Carga x Deformação, referente à média dos carregamentos para o PAINEL 3 C	90
FIGURA 60 – Gráfico Carga x Deformação, referente à média dos carregamentos para o PAINEL 4 C	93
FIGURA 61 – PAINEL 6 A sendo ensaiado, observando-se o deslocamento vertical sofrido .	94
FIGURA 62 – Vista lateral do PAINEL 6 A, podendo-se observar a linha elástica após carregamento e a ruptura do montante externo com defeito	95
FIGURA 63 – Gráfico Carga x Deformação, referente à média dos carregamentos para o PAINEL 6 A	96
FIGURA 64 – Vista superior da montagem do ensaio de painel vertical	97
FIGURA 65 – Detalhe da célula de carga e viga para distribuição da carga aplicada	97
FIGURA 66 – Vista frontal do painel a ser ensaiado	98
FIGURA 67 – Vista lateral do painel a ser ensaiado	98
FIGURA 68 – Gráfico Carga x Deformação, referente a média dos carregamentos para o PAINEL 7 A	99
FIGURA 69 – Gráfico Carga x Deformação, referente a média dos carregamentos para o PAINEL 8 A	100
FIGURA 70 – PAINEL 5 C preparado para ser ensaiado	101
FIGURA 71 – Gráfico Carga x Deformação, referente a média dos carregamentos para o PAINEL 5 C	102
FIGURA 72 – Resumo dos resultados teóricos e experimentais para chapas e painéis verticais e horizontais	104
FIGURA 73 – Programação de Ensaio de Intemperismo com 4 tratamentos e 1 testemunha, com 3 formas de avaliação – visual, ultra-som e flexão	106

FIGURA 74 (a) e (b) – Equipamento de ultra-som utilizado nos ensaios realizados no Laboratório de Construções Rurais, Faculdade de Engenharia Agrícola – UNICAMP – Campinas e máquina de Ensaio Universal – AMSLER – Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira (LaMEM) – EESC – USP – São Carlos	107
FIGURA 75 – Preparação dos corpos-de-prova para exposição ao intemperismo	107
FIGURA 76 – Secagem dos corpos-de-prova para exposição ao intemperismo	108
FIGURA 77 – Corpos-de-prova preparados para o estudo de durabilidade	108
FIGURA 78 - Colocação dos corpos-de-prova no campo de experimentação	109
FIGURA 79 – Parte (a) mostra a leitura da propagação na superfície da amostra e a parte (b) mostra a leitura da propagação ao longo da espessura da amostra	114
FIGURA 80 – Divisão do corpo-de-prova para a leitura na superfície	115
FIGURA 81 – Divisão do corpo-de-prova para a leitura na espessura	115
FIGURA 82 – Seqüência do ensaio de flexão, início do carregamento até a ruptura	125

LISTA DE TABELAS

TABELA 01 - Consumo de madeira serrada em alguns países	1
TABELA 02 – Dados apresentados pelo IBGE / PNAD – 1990	4
TABELA 03 – Chapas à base de madeira – Consumo Aparente (mil m ³)	6
TABELA 04 – Capacidade de Carga Admissível para diversos tipos de painéis portantes	21
TABELA 05 – Espécies e valores característicos das madeiras constituintes dos montantes ..	43
TABELA 06 – Valores de resistência para as seis tipologias propostas	44
TABELA 07 – Média das leituras dos três carregamentos para a CHAPA 1 A	58
TABELA 08 – Média das leituras dos três carregamentos para a PAINEL 1 A	59
TABELA 09 – Média das leituras dos três carregamentos para a CHAPA 2 A	63
TABELA 10 – Média das leituras dos três carregamentos para a PAINEL 2 A	64
TABELA 11 – Média das leituras dos três carregamentos para a CHAPA 3 A	68
TABELA 12 – Média das leituras dos três carregamentos para a PAINEL 3 A	69
TABELA 13 – Leitura referente aos carregamentos para o PAINEL 4 A	72
TABELA 14 – Leitura referente aos carregamentos para o PAINEL 5 A	74
TABELA 15 – Média das leituras dos três carregamentos para a CHAPA 1 C	78
TABELA 16 – Média das leituras dos três carregamentos para a PAINEL 1 C	79
TABELA 17 – Média das leituras dos três carregamentos para a CHAPA 2 C	83
TABELA 18 – Média das leituras dos três carregamentos para a PAINEL 2 C	84
TABELA 19 – Média das leituras dos três carregamentos para a CHAPA 3 C	88
TABELA 20 – Média das leituras dos três carregamentos para a PAINEL 3 C	89
TABELA 21 – Média das leituras dos três carregamentos para a PAINEL 4 C	92
TABELA 22 – Média das leituras dos três carregamentos para a PAINEL 6 A	96
TABELA 23 – Média das leituras dos três carregamentos para a PAINEL 7 A	99
TABELA 24 – Média das leituras dos três carregamentos para a PAINEL 8 A	100
TABELA 25 – Média das leituras dos três carregamentos para a PAINEL 5 C	102
TABELA 26 – Classificação visual para corpos-de-prova de madeira aglomerada tratados com epoxi	110
TABELA 27 – Classificação visual para corpos-de-prova de madeira compensada tratados com esmalte	110
TABELA 28 – Classificação visual para corpos-de-prova de madeira compensada tratados com pentox	111
TABELA 29 – Classificação visual para corpos-de-prova de madeira compensada tratados com CCA	111

TABELA 30 – Classificação visual para corpos-de-prova de madeira compensada tratados com epoxi	112
TABELA 31 – Classificação visual para corpos-de-prova de madeira compensada tratados com esmalte	112
TABELA 32 – Classificação visual para corpos-de-prova de madeira compensada tratados com Pentox	113
TABELA 33– Classificação visual para corpos-de-prova de madeira compensada tratados com CCA	113
TABELA 34 – Chapa de madeira aglomerada tratada com epoxi	116
TABELA 35 – Chapa de madeira aglomerada tratada com esmalte	117
TABELA 36 – Chapa de madeira aglomerada tratada com Pentox	118
TABELA 37 – Chapa de madeira aglomerada tratada com CCA	119
TABELA 38 – Chapa de madeira compensada tratada com epoxi	120
TABELA 39 – Chapa de madeira compensada tratada com esmalte	121
TABELA 40 – Chapa de madeira compensada tratada com Pentox	122
TABELA 41 – Chapa de madeira compensada tratada com CCA	123
TABELA 42– Carga de ruptura e tensão de ruptura para corpos-de-prova de madeira aglomerada tratados com epoxi	126
TABELA 43 – Carga de ruptura e tensão de ruptura para corpos-de-prova de madeira compensada tratados com esmalte	126
TABELA 44 – Carga de ruptura e tensão de ruptura para corpos-de-prova de madeira compensada tratados com Pentox	127
TABELA 45 – Carga de ruptura e tensão de ruptura para corpos-de-prova de madeira compensada tratados com CCA	127
TABELA 46 – Carga de ruptura e tensão de ruptura para corpos-de-prova de madeira compensada tratados com epoxi	128
TABELA 47 – Carga de ruptura e tensão de ruptura para corpos-de-prova de madeira compensada tratados com esmalte	128
TABELA 48 – Carga de ruptura e tensão de ruptura para corpos-de-prova de madeira compensada tratados com Pentox	129
TABELA 49 – Carga de ruptura e tensão de ruptura para corpos-de-prova de madeira compensada tratados com CCA	129

LISTA DE ABREVIATURAS

- ABIPA** – Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Aglomerado
- ASTM** – American Society for Testing and Materials
- FLP** – Forest Products Laboratory
- IPT** – Instituto de Pesquisas Tecnológicas
- LaMEM** – Laboratório de Madeira e de Estruturas de Madeira
- MA** – Madeira Aglomerada
- MDF** – Medium Density Fiberboard
- NBR** – Norma Brasileira Registrada
- PNAD** – Pesquisa Nacional de Amostras de Domicílios
- PVC** – Policloreto de vinila
- TRADA** – Timber Research & Development Association

LISTA DE SÍMBOLOS

L [mm]	–	distância entre os pontos de leitura
N [mm/ μ s]	–	velocidade de ensaio
R_d [daN]	–	resistência de cálculo
S_d [daN]	–	solicitações de projeto
d [mm]	–	espessura do corpo-de-prova
$f_{co,k}$ [MPa]	–	resistência à compressão
$f_{co,k}$ [MPa]	–	resistência à compressão
$k_{mod,i}$	–	coeficiente de modificação
$k_{mod,1}$	–	classe de carregamento
$k_{mod,2}$	–	classe de umidade
$k_{mod,3}$	–	categoria da madeira
z [mm/mm]	–	taxa de umidade de tensão na fibra
γ_w	–	coeficiente de minoração

RESUMO

Este trabalho apresenta o estudo da força de compressão em painéis portantes verticais e horizontais, constituídos por chapas de madeira e peças verticais e horizontais de pinus e cedrinho, capazes de suportar as solicitações de uma edificação (telhado ou pavimento superior). Apresenta ainda o estudo de durabilidade das chapas de madeira compensada e aglomerada, tratadas com produtos químicos, os quais visam melhorar o desempenho das chapas expostas às intempéries. Os resultados, obtidos na experimentação, mostraram-se muito satisfatórios, comprovando a possibilidade de uso dos painéis em habitações, ou em outras formas de construções. Como foi comprovado experimentalmente, os painéis suportaram as solicitações exigidas nas construções, nos quais podem ser empregados. Os resultados, obtidos nos ensaios de durabilidade, também mostraram-se satisfatórios, comprovando a viabilidade de uso das chapas tratadas na construção da edificação.

Palavras-chave: Madeira, estruturas de madeira, durabilidade, painéis estruturados.

ABSTRACT

This work presents a study of the strength of the compression in vertical and horizontal shearwalls, made by wood plates and vertical and horizontal timber which are able to support to the solicitation of a edification (roof ant top floors). It still contains the study of the durability of the wood plates which are treated with chemical products in the search of a better performance of the plates exposed to the bad weather. The results, got from the experimentation, seems to be very good, showing us the possibility of the use of plates in habitations, or other ways of construction. As experimentally proved, the plates support the demand in the constructions, where they can be employed. The results got from the analysis of durability, are also satisfactory, proving the viability of the utilization of the plates treated in the edification construction.

Keywords: Wood, timber structures, durability, shearwalls.

CAPÍTULO 1 – TEMA DA PESQUISA

1.1 - INTRODUÇÃO

A madeira, apesar de sua aparente abundância e pronta disponibilidade no mercado, ainda não é um dos materiais mais utilizados na indústria da construção no Brasil.

As habitações, em particular, nos Estados Unidos da América, são construídas utilizando a madeira e seus derivados como elemento estruturais e de vedação em cerca de 90% das residências unifamiliares, enquanto que no Brasil esta cifra é muito inferior, chegando aproximadamente a 2% das moradias (tabela 01). O Sistema Financeiro de Habitação até recentemente, não contemplava o financiamento de casas de madeira, exceto casos excepcionais. Como pode ser observado na tabela 01, o consumo de madeira serrada *per capita* no Brasil, a partir das reservas florestais existentes.

TABELA 01 - Consumo de madeira serrada em alguns países.

PAÍS	População (x 10 ⁶)	CONSUMO APARENTE	
		Total (x 10 ³ m ³)	Per Capita (m ³ /hab.ano)
BRASIL	135	15.665	0,116
CANADÁ	25	13.691	0,548
FRANÇA	55	10.349	0,188
ESTADOS UNIDOS	230	114.274	0,497
JAPÃO	120	33.062	0,276
SUÉCIA	8.5	4.104	0,483

* FONTE: Revista da Madeira - ANO 4 / n° 24 (1996).

A madeira é um material renovável e seu suprimento pode ser planejado de forma adequada. A sua conversão em produtos acabados exige apenas recursos modestos, se comparada, por exemplo, ao aço, alumínio ou cimento. Devido à sua estrutura celular, a madeira apresenta alto índice resistência/massa específica aparente, sendo de duas a quatro vezes mais resistente à tração que uma barra de aço comum de construção, de mesma massa. Além disso, MÖHLER (1994) destacou que a madeira apresenta boas características de isolamento térmico, acústico e elétrico, aliadas a uma baixa reatividade química.

A madeira pode ser trabalhada com facilidade. Entretanto, muitas vezes é utilizada sem se considerar algumas de suas propriedades fundamentais, resultando em desempenho insatisfatório. Várias razões são consideradas para explicar o pequeno grau de utilização da madeira na construção civil no Brasil. Dentre essas razões pode-se destacar:

A **falta de tradição**, no Brasil, do uso da madeira na construção pode ser justificada pela forma de colonização, realizada basicamente por povos europeus, como portugueses, italianos e espanhóis, que trouxeram técnicas de alvenaria, mas não possuíam grande experiência em trabalhar a madeira. Convém observar que, nos Estados do Sul do Brasil, onde houve fluxo significativo de imigrantes alemães e poloneses, habituados a construir com madeira, o uso desse material de construção foi muito mais difundido.

No Brasil, a madeira quando destinada à construção civil, não é objeto de uma abordagem aprofundada na maior parte dos currículos dos cursos de engenharia civil e arquitetura. Por esta razão, engenheiros e arquitetos que se formam em nossas escolas não estão aptos a usar a madeira em seus projetos de modo tão eficiente quanto outros materiais estruturais, sobre os quais receberam conhecimentos mais completos durante a graduação, comprovando a **desconhecimento das tecnologias existentes** para o devido uso deste material. Como consequência, mesmo em situações em que a madeira poderia oferecer grandes vantagens, tanto do ponto de vista estrutural, como estético e econômico, ela não é utilizada, optando-se por outros sistemas construtivos usando concreto ou aço, geralmente. Por outro lado, algumas poucas aplicações inadequadas da madeira têm conduzido a desempenhos insatisfatórios, muitas vezes reduzindo consideravelmente a vida útil da estrutura. Fatos como estes se constituem em exemplos negativos que vêm reforçar o preconceito existente em relação à madeira, normalmente considerada como um material aceitável apenas para obras transitórias.

A **falta de infra-estrutura adequada** que permita o processamento eficiente de uma ampla gama de espécies, até a obtenção de um produto final com características técnicas dentro de padrões aceitáveis, tem restringido a comercialização e a utilização de madeiras amazônicas.

Ao contrário do que aconteceu em outros países, no Brasil usualmente uma peça de madeira não tinha qualidade definida por normas técnicas, nas quais são especificados os defeitos e tolerâncias aceitáveis.

Observando a necessidade de documentos normativos especificando condições de uso do material, pôde-se verificar um melhor desempenho e maior confiabilidade no uso da madeira e derivados na construção civil. Apesar das vantagens proporcionadas pela madeira, e a abundante disponibilidade da mesma em nosso país, esse material poderia ser amplamente empregado na construção de moradias.

1.2 – PROBLEMÁTICA

A habitação, em seu sentido restrito, tem o significado de abrigo. A habitação é um espaço ocupado pela população, onde são desempenhadas tarefas primárias como a alimentação, o descanso, atividades fisiológicas e o convívio social. Para que a habitação cumpra suas funções é necessário que, além de conter um espaço confortável, seguro e salubre, esteja integrada de forma adequada ao entorno, ao ambiente que a cerca. Isto significa que o conceito de habitação não se restringe apenas à unidade habitacional, mas necessariamente deve ser considerado de forma abrangente, envolvendo também seu entorno. No Brasil, as habitações urbanas abrigam 76% da população, como apresentado por BOLLE (1994) e, portanto, este conceito de habitação deve abranger:

- Infra-estrutura urbana, incluindo as redes de distribuição de água e rede de esgotos, as redes de drenagem, as redes de distribuição de energia elétrica, comunicações, sistema viário e serviços urbanos;
- Equipamentos sociais, incluindo os edifícios e instalações destinados às atividades relacionadas com educação, lazer, saúde, etc.

Observa-se que a questão habitacional é um dos principais problemas urbanos, afetando principalmente a população de baixa renda. [BOLLE (1994)]. A problemática que envolve a questão habitacional é de difícil solução, tendo em vista suas principais causas:

- Renda insuficiente da população, para enfrentar os gastos com habitação;
- Processo de urbanização, elevando os custos do solo urbano.

Estas causas estão relacionadas com um conjunto de fatores que dificultam ainda mais o acesso da família de baixa renda para a aquisição da habitação:

- Pequena oferta de terrenos convenientes;
- Crise econômica e social, com desemprego e diminuição da renda;
- Políticas públicas deficitárias voltadas para a habitação social;
- Custo e qualidade dos materiais de construção.

A seguir, estão apresentados alguns dos principais fatores envolvidos com a questão da habitação.

1.2.1 – Déficit habitacional

Observa-se que as cidades têm crescido e, com este crescimento, aparece uma parcela da população com grande dificuldade em conseguir uma habitação. SOUZA (1996) apresentou dados das Nações Unidas, para o qual mais de 1 bilhão de pessoas moram em habitações inadequadas, que não atendem aos requisitos mínimos de habitabilidade, representando aproximadamente, 22% dos 4,5 bilhões da população mundial. Por volta de 100 milhões de pessoas não têm onde morar, vivendo nas ruas. Com relação aos serviços urbanos, cerca de 1 bilhão de habitantes dos países em desenvolvimento não têm acesso à água tratada e 1,7 bilhão não dispõem de sistemas adequados de água e esgotamento sanitário.

No Brasil, as estimativas de falta de moradia não são exatas, pois além das dificuldades técnicas e conceituais em se estabelecer uma quantificação correta, existem interesses diversos envolvendo estas estatísticas. A Secretaria Especial de Habitação e Ação Comunitária do Governo Federal apresentou resultados que revelaram que 70% da população com renda na faixa de até 3 salários mínimos não possui moradia. A partir de dados do PNAD/1990, Pesquisa Nacional por Amostras de Domicílios, do IBGE, pôde-se montar a tabela 02, com porcentagem de carência arbitrada.

TABELA 02 – Dados apresentados pelo IBGE / PNAD – 1990.

TIPO DE DOMICÍLIO	NÚMERO DE DOMICÍLIOS	CARÊNCIA (%)	CARÊNCIA · DOMICÍLIOS ESTIMADA
Casa própria	20.208.290	10	2.020.829
Casa alugada	4.771.132	25	1.192.783
Casa cedida / outra	4.585.649	100	4.585.649
Apartamento. próprio	2.134.394	0	0
Apartamento alugado	1.143.180	0	0
Apartamento cedido / outro	314.710	0	0
Quarto ou cômodo próprio	83.787	100	83.787
Quarto ou cômodo alugado	311.749	100	311.749
Quarto ou cômodo cedido	106.873	100	106.873
Rústico *	1.903.659	100	1.903.659
TOTAL	35.563.423	----	10.205.329

* O IBGE entende por domicílio rústico aquele que tem, na construção de suas paredes externas, predominância de material não durável.

Supondo um crescimento urbano médio anual de 2%, estima-se que a carência habitacional no Brasil, para o ano 2000, esteja em torno de 12,4 milhões de domicílios.

1.2.2 – Habitação popular

Habitação popular é um termo genérico que define uma determinada solução de moradia voltada à população de baixa renda. A habitação popular não deve ser entendida como um produto e sim como um processo, com uma dimensão física, mas também como resultado de um processo complexo de produção com determinantes políticos, sociais, econômicos, jurídicos, ecológicos, tecnológicos. Este entendimento é fundamental se o objetivo for o de perseguir a solução habitacional com todas as suas dificuldades e condições de contorno. (SOUZA, 1992).

A habitação popular se manifesta através de três tipologias básicas: favelas, casas precárias de periferia e cortiços. A promoção pública na solução habitacional também é uma manifestação de habitação popular.

Para a cidade de São Paulo, em 1991, verificou-se que 1 milhão de pessoas moravam em favelas, representando 9,1% da população; 2,4 milhões de pessoas moravam em 500 mil casas precárias de periferia, correspondendo a 20,9% da população e 2,3 milhões moravam em cortiços, correspondendo a 20% da população. Somando estes números, obtém-se que 6,7 milhões de pessoas, ou seja, 55% da população de São Paulo, moram em habitação popular. A Política Setorial do Governo do Município de São Paulo para a Habitação, publicada em janeiro de 1995, mostrou que 19,4% da população de São Paulo ocupam favelas, 6,1% ocupam cortiços e 25,5% ocupam loteamentos irregulares, perfazendo 51% da população ocupando habitações precárias, (MITIDIARI, 1992).

1.3 – DEFINIÇÃO DO OBJETO

Tendo em vista as necessidades atuais da maior parte da população, conciliadas ao desejo do pesquisador em estudar a questão habitacional, a partir de novas tecnologias usando a madeira e materiais derivados da madeira, foi possível construir o objeto de pesquisa deste trabalho. A madeira é um material renovável e abundante no Brasil. Seu suprimento pode ser planejado de forma adequada e a sua conversão em produtos acabados exige apenas recursos modestos, se comparada, por exemplo, ao aço, alumínio ou cimento. A madeira apresenta boas características de isolamento térmico, acústico e elétrico, aliadas à baixa reatividade química. Mostra-se, portanto, um excelente material a ser empregado na construção da habitação, proporcionando a construção de uma edificação com qualidade, desde que a mesma seja empregada corretamente.

A partir de pesquisa prévia em construções em madeira, o objeto pôde ser definido. Inicialmente, foi consultada a bibliografia relacionada ao uso da madeira, a partir da madeira natural e também de seus derivados. Em consulta à literatura, observou-se que as chapas de madeira aglomerada e as chapas de madeira compensada são indicadas para composição de painéis, sendo pregadas à estrutura do mesmo, sempre composta por madeira maciça. A espécie utilizada será definida a partir da solicitação do conjunto. Em geral, a ligação entre a estrutura e as chapas é efetuada com pregos ou grampos.

Segundo dados da ABIPA (Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Aglomerado), publicado na Revista Madeira Número 48 – Ano 8 (1999), chapas de madeira aglomerada e chapas de madeira compensada, foram as mais consumidas na década de 90. A tabela 03 apresenta o consumo de algumas chapas de materiais derivados da madeira nos anos de 1990 e 1998. A figura 01 ilustra os números apresentados na tabela 03.

TABELA 03 – Chapas à base de madeira – Consumo (mil m³).

PRODUTOS	1990	1998	% crescimento durante período
MDF	5	184	57%
Chapa de fibra	320	313	-0.3%
Chapa de compensado	1.048	1.000	-1%
Chapa de aglomerado	486	1.322	13%

FONTE: ABIPA

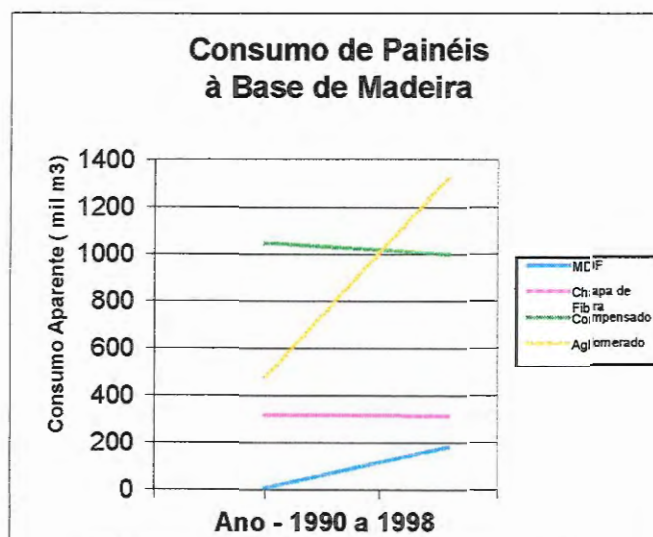


FIGURA 01 – Consumo de Painéis à Base de Madeira.

Após esta pesquisa inicial o objeto da pesquisa foi definido, ou seja, direcionado para o uso de painéis portantes compostos por madeira serrada formando a estrutura, chapas de madeira aglomerada e compensada, pregadas à estrutura, e a ligação sendo feita com pregos. Neste projeto de pesquisa foram apresentados materiais derivados da madeira, além da própria madeira natural, sendo empregados na construção da habitação, compondo os painéis. O objetivo foi mostrar a capacidade portante, ou seja, capacidade em suportar além do peso próprio, a carga de outro pavimento e/ou cobertura da edificação.

No estudo destes painéis tem-se como objetivos: obter subsídios para avaliar o desempenho estrutural, em ensaios de resistência mecânica, e durabilidade, a partir da exposição do material às intempéries. Pretendeu-se associar ao estudo alguns requisitos do painel: ser portante, proporcionar conforto, ter baixo custo e, ainda, permitir montagem simplificada.

A proposta previu ensaios de resistência aos principais esforços que possam agir nos painéis, e assim, poder determinar a capacidade portante dos mesmos. Diversos pontos de igual importância também devem ser estudados, podendo ser objeto de outros trabalhos, que procurem estudar conforto higrotérmico, acústico, custo do material, interface painel/esquadrias e detalhes de encaixe entre painéis.

Neste trabalho, os ensaios foram baseados na ASTM (American Society for Testing and Materials), tanto nos ensaios de aplicação de cargas nos painéis já montados (ASTM E-72), como no estudo de durabilidade, onde os materiais, após serem tratados e expostos ao intemperismo, foram ensaiados para a avaliação de seu comportamento na flexão (ASTM D-1037).

1.4 – ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Definido o objeto da pesquisa, o ponto inicial do trabalho consistiu em consultar a literatura, nacional e internacional, para consolidar as informações relativas à composição dos painéis e, respectivos desempenhos estruturais.

O Capítulo 2 constitui a Revisão Bibliográfica realizada. Inicialmente, são apresentadas a madeira e seus derivados, descrevendo o material, principais características e o modo de produção. Em seguida, são apresentadas as tipologias de painéis portantes encontradas na literatura, principalmente para emprego na construção da habitação. Posteriormente, discute-se a composição destas tipologias, onde são descritos os materiais empregados, formas de ligação, detalhes construtivos e, quando possível, o desempenho estrutural destes painéis.

Finalmente, procurando definir a metodologia desenvolvida neste estudo, foram verificados ensaios de painéis já realizados em diversos países, com a finalidade de estabelecer e especificar a fase experimental deste trabalho.

O Capítulo 3 apresenta a concepção das tipologias de painéis portantes de madeira para este estudo. São apresentados critérios para definição das tipologias e, posteriormente, descritas as tipologias de painéis portantes, tema deste trabalho. Neste capítulo, são definidas as chapas utilizadas, dimensões dos painéis, a madeira usada em cada composição, as formas de ligação e espaçamento entre os elementos, montagem do entramado, a dimensão das peças e o espaçamento entre as mesmas. Após a definição do objeto, verifica-se o desempenho estrutural das tipologias.

O Capítulo 4 apresenta a experimentação, mostrando o desempenho estrutural do painel. São descritos métodos e equipamentos de ensaio e, então, realizada a caracterização das chapas e painéis. Posteriormente aos ensaios, os painéis são analisados quanto ao desempenho estrutural conseguido experimentalmente.

No Capítulo 5 é apresentada a experimentação para verificação da durabilidade da chapa, onde são descritos métodos e equipamentos de ensaio, e é realizada a caracterização do material e, posteriormente, os ensaios com o material são realizados e analisados os resultados obtidos.

O Capítulo 6 apresenta conclusões obtidas, para as composições estudadas. São descritos os resultados positivos conseguidos, as dificuldades encontradas, as considerações verificadas durante o trabalho e que se mostraram importantes na apresentação dos resultados.

Por fim, são registradas as Referências Bibliográficas consultadas durante este estudo.

CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo está apresentada a revisão bibliográfica, tanto em literatura nacional como internacional. Inicialmente apresentam-se a madeira e seus derivados. A seguir, são mencionados os trabalhos de autores que já desenvolveram estudos a respeito de painéis portantes, tipologias já existentes, desempenho e composição dos painéis estruturais. Em seguida, estão descritos métodos para ensaio estrutural de painéis portantes, com base em documentos normativos. Ao final, é feita uma revisão a respeito da durabilidade dos painéis, tratamentos químicos utilizados e ensaios realizados para verificação da durabilidade.

2.1 – MADEIRA E SEUS DERIVADOS

No Brasil, a madeira e seus derivados não tem utilização satisfatória se comparados a outros materiais de construção, como a alvenaria, o concreto, os metais, etc. Já em outros países a madeira e seus derivados são amplamente explorados.

TONISSI (1985) registrou o conhecimento e a utilização da madeira e seus derivados na construção, considerando a proteção, separação, adequação de ambientes, estruturas auxiliares, estruturas portantes, etc.

Neste trabalho optou-se por trabalhar com a madeira por diversos motivos. Algumas das principais considerações que levaram à escolha do uso da madeira foram:

- Abundância em algumas regiões;
- Propriedades físicas e mecânicas adequadas;
- Versatilidade de utilização;
- Custo compatível com outros materiais;
- Possibilidade de utilização em diversas formas: madeira natural, chapas de madeira compensada, chapas de partículas, chapas de fibras de madeira, etc.

A madeira sempre esteve presente na construção de edificações. Mas o seu uso aumentou a partir do aparecimento das chapas de madeira compensada, chapas de fibra de madeira, chapas de partículas de madeira e, do MDF (Medium Density Fiberboard). O reconhecimento do valor da madeira para a construção, com tecnologia atualizada, além de promover seu maior aproveitamento e maior rendimento, ampliaria a comercialização nacional de madeira nativa, incentivaria a indústria e o comércio de chapas de madeira industrializada. O uso de madeiras atualmente desprezadas seria uma opção amplamente viável para a construção em grande escala.

Embora a madeira não seja muito utilizada no Brasil, como elemento de vedação na construção da habitação, mostra-se um material muito conveniente para ser aplicado na construção civil, principalmente por suas características mecânicas e térmicas, podendo ser usada em climas frios ou quentes, além de proporcionar condições higiênicas e confortáveis, tendo custo acessível e boa durabilidade. O mercado nacional conta, atualmente, com grande variedade em madeira e derivados, destinados à construção civil, que em geral são:

- Madeira serrada;
- Madeira Aglomerada (Partículas de madeira);
- Madeira Compensada;
- Fibra de Madeira;
- MDF;
- Compósitos Madeira-Cimento.

Detalhes destes produtos são apresentados a partir do item 2.1.2.

2.1.1 - Madeira Serrada

Segundo VARGAS (1996), o Brasil, embora tenha o maior potencial de fornecimento de madeiras tropicais de todo o mundo, participa com apenas 1% no comércio internacional, devido a uma série de razões, podendo se destacar:

- Pequeno número de espécies utilizadas;
- Baixo volume de madeira comercializável por unidade de área;
- Ausência de estrutura para uma comercialização eficiente;
- Falta de atendimento às especificações e exigências dos importadores.

O pequeno volume comercializado no exterior é composto principalmente por Mogno, Virola, Sucupira, Cedro, Ipê, Cerejeira, Andiroba, Louro e Angelim. Segundo TONISSI (1985) a madeira natural não passa por processos sofisticados de industrialização. Ela é serrada e, após alguns beneficiamentos, torna-se possível melhorar suas características dimensionais, aparência e resistência contra fungos e fogo.

Um dos grandes problemas na utilização eficiente da madeira serrada, no Brasil, é o excesso de umidade. A umidade natural da madeira recém cortada é geralmente elevada. O uso da madeira com umidade elevada pode provocar resultados danosos ocasionados pela retração não controlada. Para se evitar problemas, deve-se adequar a madeira ao ambiente onde será utilizada. Quando a madeira é usada em contato com o solo ou em condições de umidade elevada, deve-se optar por espécies conhecidas pela maior resistência ao apodrecimento, ou, então, aquelas que sejam tratadas com preservativos.

2.1.1.1 – Características e Aplicações

A madeira serrada perde em desempenho para outros materiais de revestimento, principalmente, por estar exposta às intempéries e à umidade. Entretanto, o desempenho da madeira é significativamente influenciado pela escolha das espécies, orientação das fibras, compatibilidade dos sistemas de acabamento, práticas de construção e manutenção, etc. As espécies de densidades menores têm como característica notável a facilidade de montagem em elementos de vedação, por uma série de processos utilizando adesivos, pregos, grampos. Quando se usam madeiras mais duras, muitas vezes elas são montadas ainda verdes, isto é, com alto teor de umidade, mas, ao perder umidade, ocorre retração e fendilhamento dos componentes, abertura de juntas, com conseqüente perda de algumas importantes características do conjunto. No caso de espécies de maior densidade é possível promover a furação prévia, ou a fixação com pregos finos de aço de alta resistência, facilitando a montagem após a secagem.

A seguir, estão apresentadas algumas características importantes apresentadas pela madeira serrada.

Variação de densidade - com esta propriedade pode-se optar pela(s) espécie(s) mais adequada(s) para cada solicitação na construção, influenciando principalmente no peso e na resistência;

Variação da cor - pode-se selecionar a(s) espécie(s) mais adequada(s) para cada aplicação, sob o aspecto decorativo;

Resistência mecânica - as espécies de alta densidade têm acentuada resistência à solicitações mecânicas, sendo indicadas para o uso estrutural;

Isolamento térmico e acústico - importante no uso da madeira em revestimentos e fechamentos, possibilitando controle de temperatura e ruídos.

Isolamento elétrico - a madeira, quando seca, apresenta elevado isolamento, isto é, diminuta condução de eletricidade;

Trabalhabilidade - é um material fácil de se trabalhar com ferramentas simples.

Em geral, devem ser evitada a utilização de peças de madeira que apresentem os seguintes defeitos:

Ardidura - início da deterioração, a qual pode ser observada pela variação da cor da madeira. Este defeito não provoca grandes alterações nas propriedades mecânicas;

Apodrecimento - resultado da ação de fungos, pode ser observado pela desintegração da madeira;

Bolsa de resina - verificada pela concentração de material resinoso;

Desbitolamento - irregularidades nas dimensões da peça, na usinagem;

Empenamento - deformação da peça devida à retração da madeira, pela variação da umidade. São quatro as formas de empenamento: arqueamento, encurvamento, encanoamento, torcimento;

Furo de inseto - orifícios feitos por insetos na madeira;

Estrondo - rachadura transversal na direção das fibras da madeira, normalmente provocada na queda da árvore;

Manchas - mudanças na coloração da madeira, provocadas por agentes físicos e biológicos;

Mofa ou bolor - formação de colônias de fungos de várias colorações na superfície das peças em presença de calor e umidade, sem alterar significativamente as características da madeira;

Nó - parte remanescente de galhos ou ramos cortados, de coloração mais escura, com forma arredondada ou alongada;

Quina morta - falta de madeira em alguma das extremidades da peça;

Rachadura - separação das fibras da madeira ao longo da direção das fibras;

Trinca superficial ou rendilhado - separação superficial das fibras da madeira, tendo desenvolvimento superficial.

Com relação ao ataque de fungos e insetos as melhores condições para o desenvolvimento de fungos na madeira ocorrem quando a sua umidade é superior a 20% e a temperatura acima de 20 °C. O preservativo aplicado deve ser eficaz, no sentido de se obter o máximo de sua penetração na madeira, ter suficiente retenção, sem alterar as características do material. Os compostos hidrossolúveis de boro, flúor, zinco, cobre e arsênico, são os componentes básicos das substâncias preservativas. Adicionando-se compostos de cromo, consegue-se uma maior resistência à água.

Estes preservativos não prejudicam a pintura, mas podem ser corrosivos para peças metálicas. Substâncias como o creosoto (de óleo de alcatrão), apesar do forte odor, são muito eficientes e seu uso é indicado para elementos externos. Estes preservativos prejudicam a pintura, mas não provocam corrosão no metal das ligações.

O pentaclorofenol é um fungicida orgânico de elevada eficiência, mas tem sido evitado por ser poluente. Em geral, para a escolha dos preservativos, é preciso identificar os ataques mais prováveis que a madeira poderia sofrer.

A madeira natural pode ser amplamente utilizada na construção civil, sendo usada desde serviços preliminares até o acabamento final. TONISSI (1985) apresentou algumas das principais aplicações da madeira serrada, nos seguintes casos:

*** Serviços preliminares**

Tapumes - são colocados para proteger a obra e o canteiro de serviços. São constituídos por estrutura portante de pontaletes, sarrafos e de tábuas, fixadas com pregos;

Barracões, alongamentos, depósitos - são construções auxiliares que dão suporte à obra nos quais são guardados os materiais e ferramentas;

*** Estruturas auxiliares**

Gabaritos - servem para fazer a marcação da obra e são montados com pontaletes, sarrafos e tábuas;

Cimbramento - estrutura de madeira (serrada ou roliça) usada para dar apoio às fôrmas de concreto;

Fôrmas de concreto - feitas com chapas, tábuas e sarrafos. São usadas para a concretagem de vigas, baldrame, blocos de fundação, pilares, vigas, lajes, etc.;

Estruturas auxiliares - são usadas para andaimes, rampas, elevadores, escoras, bandejas de proteção, balancins, etc.

*** Estruturas permanentes**

Estruturas portantes - feitas com madeira selecionada, com cálculo elaborado. As estruturas mais importantes são: estacas, pilares, treliças, pórticos, vigas, etc.;

Estruturas para cobertura - suportam as telhas e são constituídas por peças longas de seções pequenas como vigotas, caibros e ripas.

2.1.2 – Madeira Aglomerada (Partículas de Madeira)

Segundo MALONEY (1977) as chapas de partículas podem ser definidas como materiais ligno-celulósicos (geralmente à base de madeira), inicialmente na forma de peças discretas de partículas, combinados com uma resina sintética ou outro adesivo adequado, e solidarizados sob ação do calor e pressão em uma prensa aquecida. A matéria-prima pode ter origens variadas, e ser proveniente de desbastes, resíduos de madeira bruta, costaneiras, ou ainda de outros materiais ligno-celulósicos, tais como bagaço de cana, palha de arroz e outros resíduos agrícolas quer utilizados puros ou misturados com partículas de madeira.

A matéria-prima para produção de chapas de madeira aglomerada pode ser obtida a partir de:

- Material florestal proveniente de desbaste e poda;
- Resíduos industriais grosseiros, tais como costaneiras, sobras de destopo, miolos de toras laminadas, etc.;
- Resíduos industriais finos, tais como pó de serra e cavacos de plaina;
- Cavacos e pó de serra do beneficiamento de madeira seca (indústria de móveis e carpintaria).

Como características mais importantes das chapas de partículas tem-se o módulo de elasticidade em flexão, módulo de ruptura, expansão linear, inchamento em espessura, ligação interna ou tração perpendicular à superfície e a resistência à fixação por pregos ou parafusos.

Chapas compostas por partículas mais finas e longas, como os flocos, fornecem produtos com alta flexão e rigidez, e em tais produtos é desejável ter mais partículas finas nas superfícies. Partículas curtas e lascadas são excelentes para melhorar as propriedades de adesão no centro das chapas.

As chapas de partículas de madeira (madeira aglomerada) são fabricadas a partir da madeira seca (15%), aglomerada com adesivo orgânico, estabilizadores, por ação de calor e pressão.

A fabricação de Chapas de Madeira Aglomerada (MA) é feita tendo em vista a aplicação em vários setores úteis na habitação:

1. Chapas de MA com características acústicas e térmicas, de acordo com o ambiente desejado;
2. Divisórias em geral;
3. Portas com revestimento adequado;
4. Forros com características acústicas e térmicas, de acordo com ambientação em uso;
5. Pisos com revestimento endurecedor;

6. Móveis para dormitórios;
7. Armários de cozinha;
8. Armários para banheiro;
9. Móveis para escritórios;
10. Móveis para salas de jantar e estar.

Estas aplicações tornam-se decorrentes, em primeira aproximação, da disponibilidade das chapas de madeira aglomerada, de suas características e de sua durabilidade.

2.1.3 – Madeira Compensada

A chapa de madeira compensada pode ser compreendida como sendo a sobreposição de lâminas finas de madeira unidas por adesivos. O material é prensado de forma que duas lâminas contínuas com as fibras sejam dispostas em direções ortogonais. A chapa é sempre formada por número ímpar de lâminas, o que fornece ao produto a sua principal característica, que é a sua elevada estabilidade dimensional.

Atualmente, a madeira compensada apresenta grande utilização em diversas áreas. Dentre elas, pode-se destacar a construção civil. O grande emprego deste material se deve à sua estabilidade dimensional, às suas próprias dimensões, uniformidade de propriedades e de resistência mecânica. Existem dois tipos básicos de compensado laminado: o multilaminado, que resulta da montagem de lâminas de madeira dispostas perpendicularmente uma às outras (sempre em número ímpar) unidas por adesivo; e o sarrafeado, uma chapa cujo miolo é formado por sarrafos, tendo suas faces externas compostas por lâminas de madeira unidas por adesivo.

Apesar do mercado mundial ser comprador e, a qualidade do material brasileiro ser boa, os principais entraves são o grande número de pequenos produtores carentes de condições técnicas e gerenciais, além da falta de equipamentos modernos para um acabamento que atenda às exigências das especificações do mercado internacional. Existem diversos trabalhos voltados para a habitação, que propõem o uso da madeira compensada.

9 - X SZÜCS (1979), em sua dissertação de mestrado, apresentou um trabalho dividido em duas partes, sendo a Parte I um Texto Técnico dirigido aos profissionais da construção e a Parte II um Texto de Aplicação, sendo um roteiro descritivo de fases de construção de uma casa em madeira, onde o autor procurou-se destacar o uso da chapa de madeira compensada na habitação. Seu trabalho enfocou o uso da madeira na construção habitacional.

X - Mostrou-se uma nova opção do uso da madeira e seus derivados, como materiais de construção, procurando obter uma habitação confortável, duradoura, de custo reduzido, minimizando os gastos com conservação e manutenção.

Segundo o autor, para se conseguir uma construção econômica e uma vida útil mais longa, deve-se dar maior atenção a detalhes construtivos adequados, o projeto deve ser racional e os materiais utilizados devem ser bem selecionados. O trabalho mostrou o uso da madeira na construção habitacional, sendo o material empregado em diversas partes da construção.

2.1.4 – Fibra de Madeira *UEN, f. 62*

A chapa dura de fibra é fabricada com madeira e outros materiais ligno-celulósicos, com ligações primárias derivadas do arranjo das fibras e de suas propriedades adesivas inerentes. Agentes colantes e outros materiais podem ser adicionados durante a fabricação para melhorar a resistência mecânica e aumentar a resistência à umidade, ao fogo, aos insetos ou ao apodrecimento, ou para dar qualquer outra propriedade ao produto.

Esta chapa apresenta algumas vantagens, quando comparada à chapa de madeira maciça. Nas chapas duras de fibras há possibilidade de obtenção de uma chapa com maior área e ocorre um maior aproveitamento da madeira bruta, no produto final.

Existem dois tipos de chapas de fibra: a de fibra altamente comprimida (chapa dura) e a de fibra menos comprimida (chapa mole isolante). Estas se subdividem em 5 faixas de densidade.

As chapas isolantes de fibra madeira têm densidade não inferior a 400 kg/m^3 . São aplicadas na construção em isolamento térmico e acústico. As chapas rígidas tem densidade e rigidez superiores às chapas isolantes. Existem dois tipos principais: a chapa normal de densidade de 950 kg/m^3 , que é a mais utilizada na construção, e a chapa rígida, de densidade de 1000 kg/m^3 , que recebe tratamento especial à base de óleos para diminuir a absorção de água.

As chapas de fibra de madeira são muito utilizadas na construção na forma de isolantes (chapas moles) ou como peças rígidas.

As chapas moles são muito usadas em câmaras frigoríficas, como isolante térmico. São fixadas com pregos em uma estrutura de madeira pré-fixada à alvenaria e devidamente impermeabilizada para não ocorrer a formação de vapor entre a chapa e a alvenaria. Outros processos de fixação podem ser usados: grampeamento, perfis metálicos, colas, etc.

As chapas rígidas são mais utilizadas do que as anteriores. Apresentam aplicação como divisórias isolantes e boa resistência aos esforços mecânicos. São utilizadas ainda em lambris, em peças estreitas e na vertical, com encaixe macho/fêmea. A fixação é feita através de pregos, grampos ou encaixes.

As chapas de fibra podem receber tratamentos especiais, buscando-se aumentar a resistência à umidade. Outro aperfeiçoamento importante, na sua fabricação foi a adição de partículas de mica às chapas de fibra, procurando torná-la um material praticamente incombustível.

* Segundo CORDEIRO (1990), a chapa dura tradicional, de alta densidade (800 a 1200 kg/m³) e de 3 a 13 mm de espessura, é empregada na construção civil, em função do seu baixo custo. É empregada como painéis divisórios, forros, portas e, quando bem impermeabilizada, pode ser utilizada até em paredes externas. Atualmente, tem-se pretendido definir suas características de resistência, para que o material possa ser utilizado em lugar da chapa de compensado.

As chapas duras de fibra podem ainda ser empregadas como bases de pisos cerâmicos, lâminas plásticas, tacos e carpetes. Também podem ser utilizados como painéis encaixados, podendo ser instalados sobre chapas isolantes ou sobre concreto. As chapas duras de fibra de madeira podem ser empregadas como elemento estrutural.

2.1.5 –MDF

A chapa de fibra de média densidade (MDF) é feita com fibras de madeira, resinadas ou parcialmente refinadas, ligadas com adesivo sintético, e sofrendo processo de aquecimento e pressão. Ao contrário do aglomerado, o MDF é fabricado por processo de polpa termo-mecânica, que refina a matéria-prima, como maravalhas e cavacos para fibras. A chapa de fibra de média densidade é formada e prensada a seco, da mesma maneira que o aglomerado. O MDF pode ser processado como madeira maciça. O aglomerado necessita ser lixado e colado às bordas, ou ser encabeçado e, então, moldado. O MDF não é uma chapa rígida, tendendo a sofrer flambagem; contudo é dura e resistente ao impacto e outras propriedades mecânicas. As propriedades do MDF para uma espessura nominal menores ou iguais a 20 mm, incluem módulo de ruptura de, aproximadamente, 210 daN/cm², expansão linear de 30% e poder de sustentação de parafuso de 147 daN nas faces e de 125 daN para os topos.

Também uma característica própria do material é a superfície isenta de espaços, lisa e mais compacta que a própria madeira. Pode ser acabada com sucesso, utilizando-se uma variedade de métodos, incluindo curas com U.V. (Ultra Violeta), vínculos, laminados de baixa e alta pressão e lâminas de madeira natural. Cada vez mais observa-se que o uso do MDF vem se expandindo, pois é um produto atrativo devido à sua praticidade e funcionalidade, sendo empregado para os mais variados fins.

2.1.6 – Compósito Madeira-Cimento

O estudo do uso de materiais aglomerados com materiais fibrosos lignocelulósicos impregnados com cimento, teve início por volta de 1920. O material mostrou-se interessante por apresentar baixo custo, facilidade de colocação, bom desempenho de suas capacidade isolantes (térmica e acústica), excelente resistência a fungos, boa aderência a estuques, argamassas, pinturas, papéis de parede.

Na Alemanha, SANDERMANN, PREUSSER E SCHIENS (1960), supuseram que "o retardamento do cimento, ocasionado pelos constituintes da madeira, era provocado pela existência de uma membrana que envolvia as partículas de cimento." Foram desenvolvidos ensaios que confirmaram esta hipótese. Segundo os autores, a hidratação é rapidamente interrompida pelos retardadores do cimento, e tal fato pode ser explicado apenas pela ocorrência de um filme de barragem. Ainda, segundo os autores, através da medida da temperatura de hidratação da mistura madeira-cimento, pode ser rapidamente determinada a adequação de cada espécie para a produção de chapas de madeira-cimento.

Dentre os fatores negativos pode-se destacar: a madeira atacada, em especial o cerne da madeira, se a época de corte é a primavera. Segundo os autores, alguns fatores são mais inibitórios à pega do cimento. Entre estes fatores, pode-se destacar o amido, taninos, açúcares e certos fenóis. Segundo estudos, a madeira cortada na primavera pode ser altamente inibitória. A ação dos ataques fúngicos pode ser altamente inibitória também, porque os fungos aumentam a permeabilidade na estrutura da madeira, além do fato que os fungos diminuem o grau de polimerização dos constituintes da madeira. No decorrer do tempo, pesquisadores de diversos países passaram a estudar a mistura madeira-cimento.

Os compósitos possuem relevante importância devido ao seu baixo custo e simplicidade de confecção, além da possibilidade de utilização em larga escala na construção civil. São constituídos por cimento, madeira e água. A dosagem do conjunto depende da espécie empregada, do tratamento químico dado à madeira, e do tipo de cimento utilizado. Apresentam grandes vantagens, por serem bons isolantes termo-acústicos, terem baixo inchamento e absorção de água, e serem o produto da associação vantajosa da madeira (leveza, elasticidade, fácil tratamento) com as do cimento (incombustibilidade, resistência ao ataque de xilófagos, etc). Seu uso é amplo, destacando-se a utilização em forros, pisos, telhas, painéis, em construções de casas pré-fabricadas, construções rurais, escolas, hospitais, etc. Estes compósitos de madeira-cimento são amplamente utilizados na Europa, em casas pré-fabricadas.

Esse material é uma alternativa viável para países em desenvolvimento, onde se enquadra o Brasil. Os compósitos, em geral, tem apresentado um bom desempenho quando submetidos a esforços mecânicos. Assim, podem ser empregados estruturalmente. Podem ser empregados em áreas molhadas, ou externamente como blocos, pisos, painéis e telhas. Os compósitos de madeira-cimento são materiais de construção que possuem grande resistência ao fogo, à podridão e aos insetos.

2.2 – TIPOLOGIAS E COMPOSIÇÕES DE PAINÉIS PORTANTES

Procurando solidarizar as idéias propostas para este trabalho, a busca de tipologias de painéis portantes, ou seja, com função estrutural e suas composições, possibilitou a definição do objeto desta pesquisa. A seguir, serão apresentadas tipologias encontradas em literatura internacional e nacional, ilustrando suas composições e materiais utilizados em tais sistemas construtivos.

HOOR (1994) apresentou diversos tipos de painéis utilizados como elementos de construção.

O autor apresentou em seu trabalho uma classificação destes elementos, em:

- 1 – Painéis portantes de pequenas largura;
- 2 – Painéis portantes de grandes dimensões, ventilados ou não ventilados;
- 3 – Painéis portantes de grandes dimensões, unidos e passando a compor grande elementos;
- 4 – Painéis de pequenas dimensões, não portantes, com preenchimento, e usados como elementos internos;
- 5 – Painéis de grandes dimensões, não portantes, com preenchimento e utilizados como elementos internos.

Como o objeto de estudo desta pesquisa são os painéis portantes de pequenas dimensões, utilizados para a habitação, o trabalho de HOOR, tornou-se de interesse quanto ao estudo dos painéis portantes de pequenas dimensões. Em seu trabalho, propôs o uso dos painéis portantes de pequenas dimensões, tanto para uso em paredes internas como para uso em paredes externas.

Estes painéis são compostos a partir de sistema modular. A estrutura portante é composta por vigas de madeira maciça, tirantes, revestimento em ambos os lados com material, geralmente, isolante. Os painéis são unidos uns aos outros, compondo este sistema construtivo. Nestes painéis, as cargas verticais são transmitidas para os pilares que se apoiam nas fundações. Nestes painéis, geralmente, o revestimento é colado ou pregado à estrutura portante. A figura 02 ilustra este sistema construtivo composto por painéis portantes de pequenas dimensões.

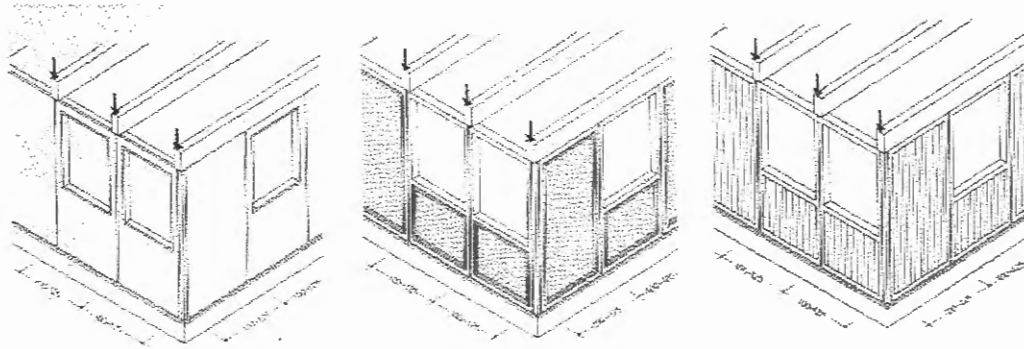


FIGURA 02 – Sistema construtivo composto por painéis portantes de pequena dimensão.
Fonte: HOOR (1994).

DEL POZO (1994) apresentou diversos painéis em madeira utilizados como paredes, tanto externas como internas. O autor, além de mostrar a composição dos painéis a partir de materiais, dimensões e montagem, apresentou o desempenho estrutural dos mesmos. Na figura 03, pode-se verificar as nove composições estudadas pelo autor e suas respectivas características, como por exemplo, espaçamento entre os montantes, existência ou não de contraventamentos. Na tabela 04 consta a carga admissível para cada uma das composições apresentadas. Nesta tabela observam-se diversas composições de painéis, onde são apresentadas composições estruturais, constituídas por entramados e revestimentos diversos, onde cada uma das tipologias possui uma capacidade portante admissível, como pode ser observado. Alternativas construtivas são apresentadas a partir da mudança no revestimento, espaçamento entre montantes e a presença ou não de contraventamento.

A partir de alguns resultados apresentados na tabela 04, pode-se definir a composição mais conveniente para cada situação pretendida, considerando-se a carga solicitada, custo do material e facilidades de montagem.

TABELA 04 – Capacidade de Carga Admissível para diversos tipos de painéis portantes.

ENTRAMADO		TIPO DE REVESTIMENTO	C. ADMISSÍVEL (kg/m)
Tipo	Espaçamento (s)		
01	60 cm	Chapa de madeira compensada – espessura 6 mm	265
01	60 cm	Chapa de madeira aglomerada – espessura 6 mm	380
01	60 cm	Malha de metal expandido, revestida com argamassa de cimento-areia com 10 mm de espessura	100
02	40 cm		145
03	40 cm		145
01	60 cm	Chapas lâ de madeira aglomerada com cimento colocado ao entramado com esp. de 1 cm	700
02	40 cm		545
04	40 cm e contraventamento	Esteira pregada ao entramado, revestida c/ barro	225
04	40 cm e contraventamento	Entramados com diversos tipos de contraventamentos e espaçamento, conforme a altura do pé-direito da edificação.	96
05	60 cm e contraventamento		64
06	60 cm e contrav. a 45°		90
07	40 cm e contrav. a 45°		170
08	60 cm e contrav. a 45°		90
09	40 cm e contrav. a 45°		97

A figura 03, apresentam as nove tipologias de composições de painéis estruturais citadas na tabela 04, na figura 04 estão apresentadas diferentes composições de revestimento.

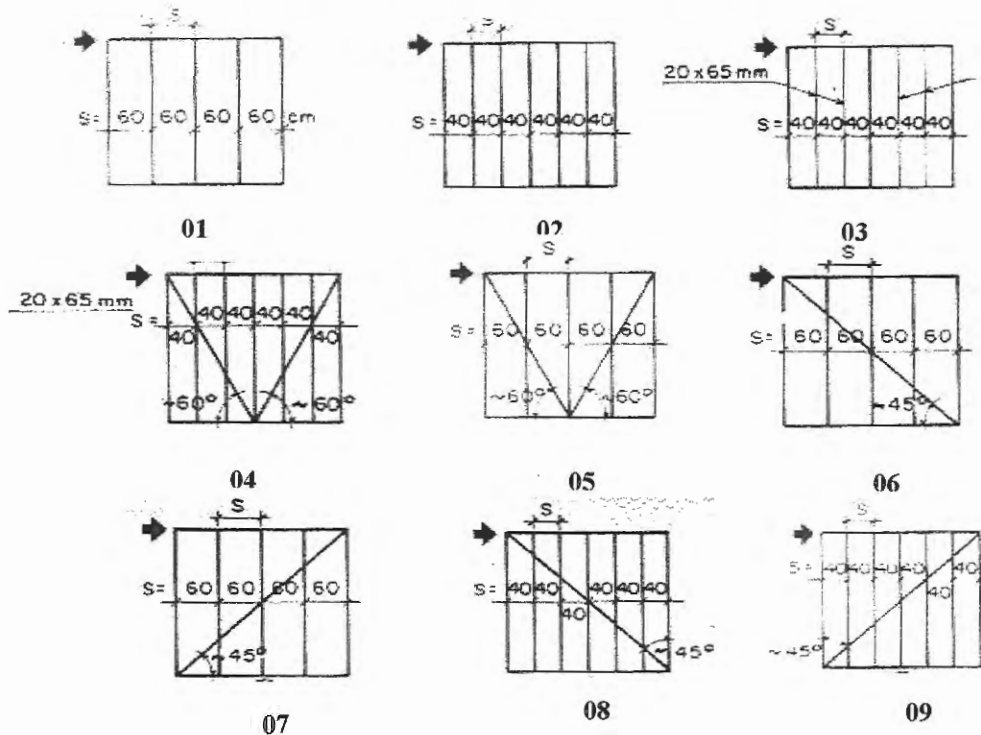


FIGURA 03 – Composição de painéis portantes de madeira, espaçamento entre montantes, formas de contraventos e ângulos.
 Fonte: DEL POZO (1994).

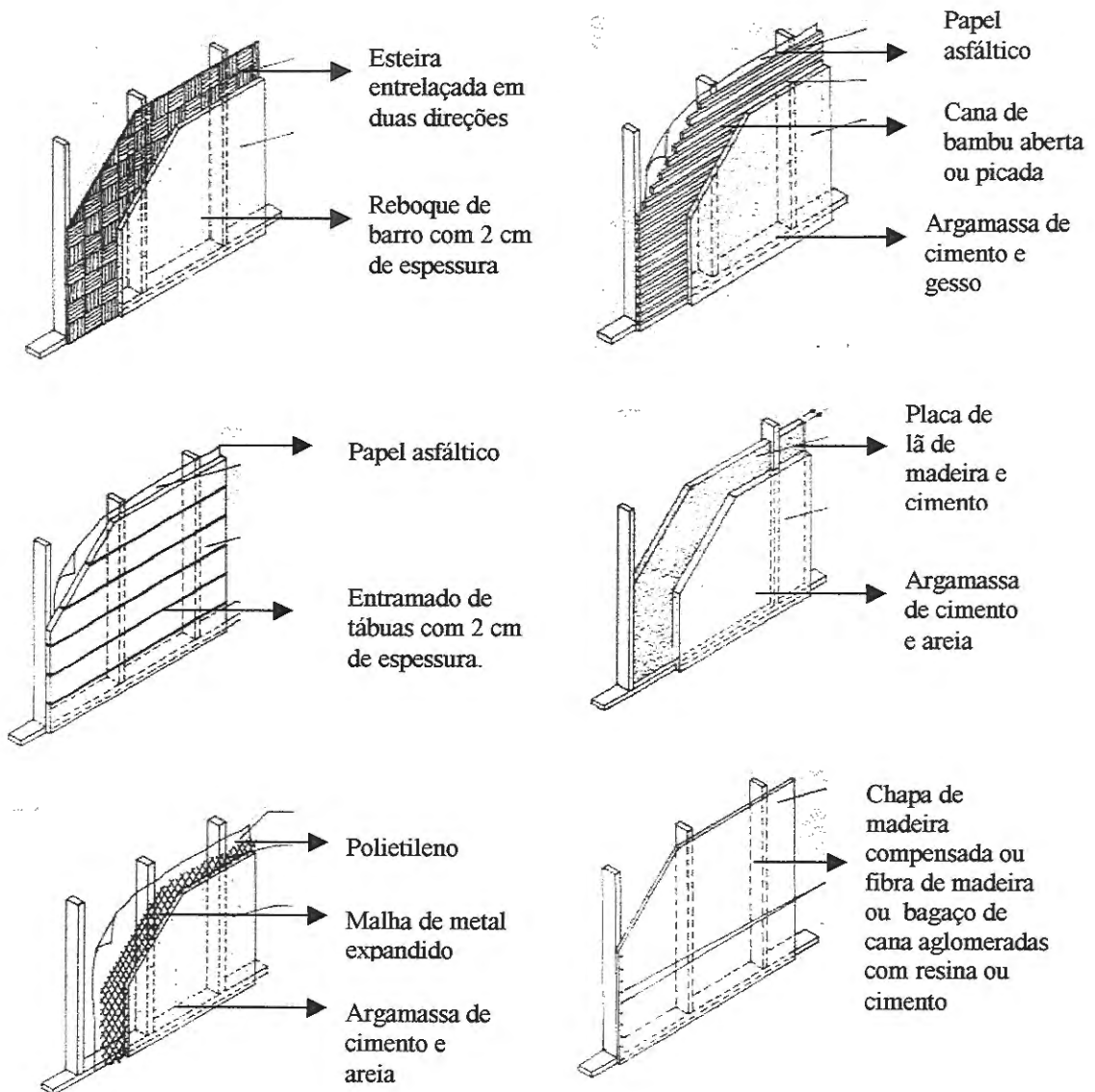


FIGURA 04 – Diferentes composições de revestimentos para painéis portantes.
 Fonte: DEL POZO (1994).

A publicação feita pela TRADA – Timber Research & Development Association - (1994), apresenta painéis estruturais de madeira usados como paredes externas, paredes divisórias e painéis utilizados como piso de separação entre pavimentos. Em geral, esses painéis são utilizados de diversas formas, como por exemplo, painéis estruturais com aberturas, painéis estruturais com revestimentos em ambas as faces, associação de diversos painéis, compondo um grande elemento.

Em geral, os painéis estruturais apresentados são modulares, sempre que possível em múltiplos de 600 mm. Procura-se evitar que estes painéis tenham comprimento maior que 3360 mm para facilitar o transporte e montagem dos mesmos.

Os painéis estruturais de grandes dimensões, em geral, apresentam contraventamentos diagonais que servem para aumentar a rigidez do conjunto, como se observa na figura 05. Os painéis estruturais com aberturas apresentam uma viga de sustentação na base superior a abertura (verga), observada na figura 06.

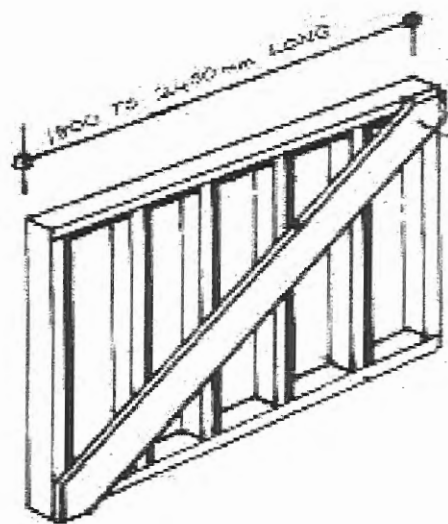


FIGURA 05 – Painel estrutural com contraventamento diagonal, para paredes estruturais, com contraventamento permanente após a montagem
Fonte: NBA/TRADA (1991).

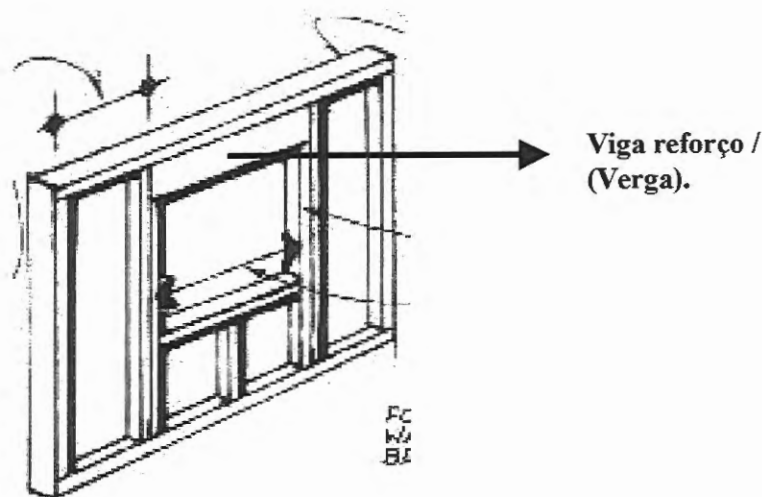


FIGURA 06 – Painel estrutural com abertura, reforçado por uma viga (verga).
Fonte: NBA/TRADA (1991).

2.3 – MÉTODOS DE ENSAIOS ESTRUTURAIS DE PAINÉIS

A seguir, estão apresentados alguns estudos de painéis de materiais derivados da madeira, tanto nacionais como internacionais. Serão apresentados métodos de ensaios adotados, servindo de parâmetro para a definição deste estudo.

Um exemplo de ensaio de painel pode ser verificado no trabalho de BORCHERDET & TRAUB (1962), com painéis de muros portantes, tendo altura de até 10 m. Estes painéis tipo sanduíche eram compostos por chapas de compensado de 7,9 mm de espessura e camada de poliestireno expandido de 5,0 cm. Este painel resistiu à uma carga vertical de até 9 toneladas por metro linear. Um dos revestimentos interiores usados foi a placa de gesso. As coberturas também eram feitas com painéis.

Outros tipos de painéis já estudados são os de partículas de madeira, protegidos por uma dupla camada ventilada, com variados revestimentos, como o reboco projetado sobre os painéis, camadas de cimento-amianto, frisos, lâminas superpostas, etc. Estes painéis de partículas se mostraram resistentes ao fogo, após a aplicação de resina fenólica, que impediu a ação do fogo durante quinze minutos ou até mais.

PEREZ (1978) apresentou um sistema construtivo usando chapas portantes de derivados da madeira, tendo sido feitos painéis industrializados no Chile, com chapas de madeira compensada e também com madeira laminada colada. Os primeiros exemplos com chapas de madeira compensada se caracterizaram por apresentar elementos estruturais (vigas, pilares), sendo unidos ao compensado através de adesivos. São usados elementos muito resistentes que permitem alcançar grande destaque e atingir alturas superiores àquelas usadas com madeira serrada.

Este sistema construtivo tem características de pré-fabricação, pois o uso de chapas de compensado permite construir moradias em partes distintas como fundação, estrutura, vedação, cobertura, etc.

Nos Estados Unidos da América, onde quase a totalidade das casas unifamiliares são construídas em madeira, observa-se uma mescla de diversas culturas nas tendências da construção, como por exemplo, a cultura japonesa, alemã, espanhola (trazido para a Califórnia pelos mexicanos) e o classicismo inglês. Em geral, as construções em madeira estão separadas do solo, colocadas sobre paredes de alvenaria. As estruturas são feitas de madeira, através de uma armação, colocando-se, em seguida, chapas de madeira horizontal, vertical e diagonalmente.

As paredes são feitas com placas de materiais derivados da madeira, com diversos tipos de revestimentos. Mas, nestes sistemas os painéis não são elementos estruturais. No entanto, existem construções onde os painéis são estruturais, sendo formados por montantes verticais e horizontais, constituindo o mesmo.

Há décadas o emprego dos painéis em diversos países tem ganho credibilidade, a partir de ensaios e dos resultados obtidos. Entretanto, no Brasil este tema ainda se restringe à pesquisa.

Um dos mais importantes laboratórios dos Estados Unidos, que estuda produtos florestais, o FOREST PRODUCTS LABORATORY – Madison, desenvolve, há mais de 3 décadas, painéis estruturais derivados da madeira. Um boletim do laboratório, publicado em dezembro de 1964, com o tema STRESSED-SKIN PANEL PERFORMANCE AFTER TWENTY-FIVE YEARS OF SERVICE, apresenta ensaios de painéis.

A figura 07 ilustra os ensaios destes painéis submetidos à flexão. Estes ensaios são baseados na ASTM. Observando estes ensaios, optou-se pela realização de ensaios similares neste projeto de pesquisa, porém, não com as mesmas dimensões adotadas no trabalho desenvolvido pelo FOREST PRODUCTS LABORATORY.

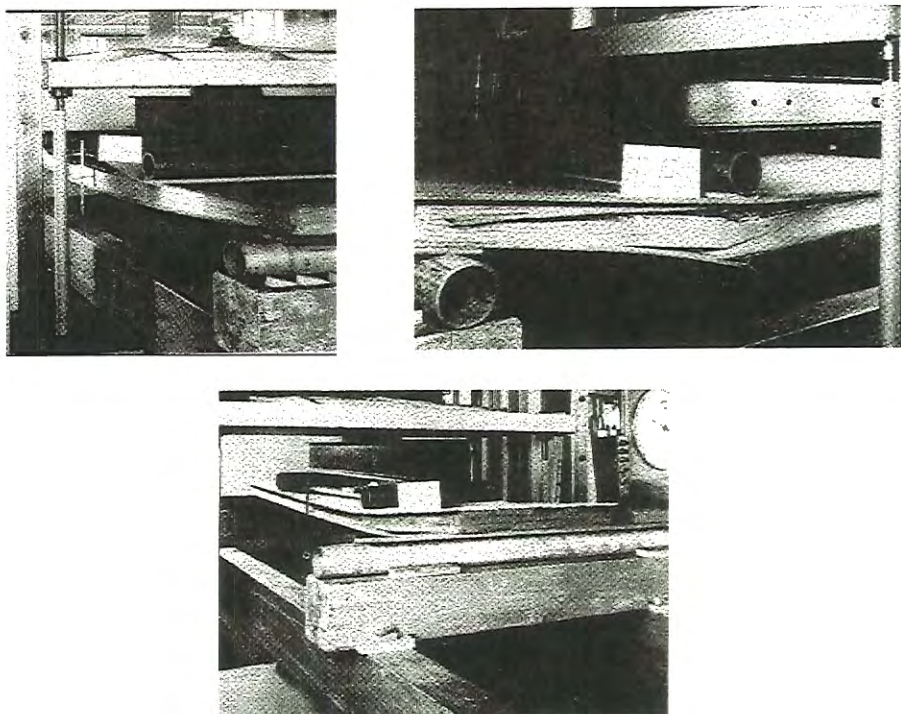


FIGURA 07 (a), (b) e (c) – Ensaio de Painéis submetidos à Flexão – FOREST PRODUCTS LABORATORY

Fonte: U. S. FOREST SERVICE RESEARCH PAPER – DECEMBER 1964.

Dentre outros trabalhos desenvolvidos pelo FOREST PRODUCTS LABORATORY – Madison, pode ser citado CONTRIBUTION OF GYPSUM WALLBOARD TO RACKING OF LIGHT-FRAME WALLS. Os ensaios desenvolvidos neste estudo foram baseados na ASTM E-72. Procurando também seguir uma norma para a realização dos ensaios, neste trabalho foram previstos ensaios baseados na ASTM E-72. A figura 08 ilustra a montagem do ensaio a ser desenvolvido, considerando-se principalmente a ação da carga lateral, simulando a ação dos ventos agindo nos painéis, atuantes também como contraventamento no futuro.

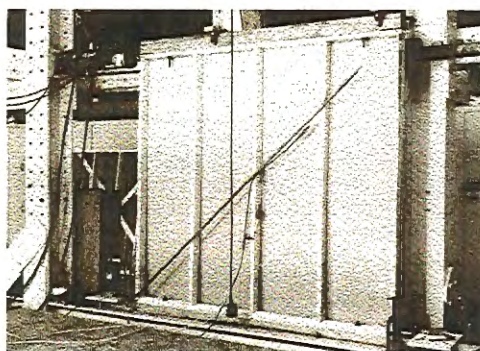


FIGURA 08 – Esquema de ensaio padrão para painéis a partir da ASTM E-72.

Fonte: U. S. FOREST SERVICE RESEARCH PAPER – DECEMBER 1964.

No Brasil, os painéis portantes de madeira são ainda apenas assunto de pesquisa, podendo-se citar o trabalho de SZÜCS (1979), onde a autora propôs a construção de paredes constituídas por grelhas, de armadura sólida e chapas de madeira compensada, podendo ser usada interna ou externamente. As grelhas formadas por sarrafos verticais, de acordo com o pé direito da construção, e sarrafos horizontais, utilizados como reforço da estrutura e de comprimento determinado, tendo em vista o afastamento entre os montantes.

Outro trabalho de pesquisa foi desenvolvido por HELLMEISTER (1995), com o intuito de calcular e ensaiar elementos constituintes da habitação. Foram realizados ensaios de Viga Caixa, ensaio do Protótipo Transportável, ensaio de Placas e ensaio de Painéis para a verificação da rigidez do mesmo.

A figura 09 ilustra o ensaio de placa com aplicação de carga concentrada.

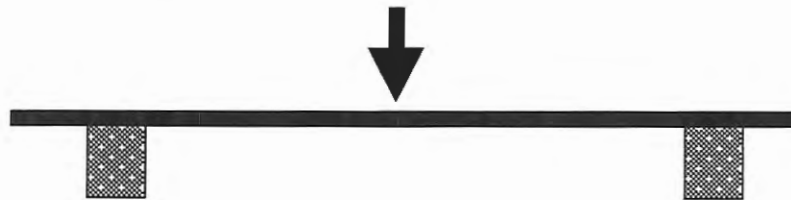


FIGURA 09 – Aplicação de carga concentrada em uma placa.
FONTE: HELLMEISTER (1995).

Outro ensaio importante realizado no trabalho de HELLMEISTER foi o ensaio de Rigidez de Painel. Devido às dificuldades encontradas para a realização do Ensaio de Rigidez de acordo com a ASTM E-72, mostrada na figura 10, o autor optou pela realização destes ensaios como ilustra a figura 11, para a verificar a capacidade de absorção de esforços provenientes pela ação dos ventos e/ou esforços de içamento e transporte. Analisando os tipos de esforços e reações, verificados no ensaio conforme a figura 10, fez a opção por um quadro metálico indeformável de grandes dimensões, para a realização do Ensaio de Rigidez de Painel.

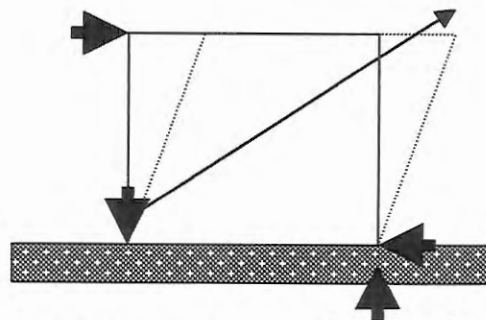


FIGURA 10 – Esquema da ação dos ventos de acordo com a ASTM E-72.
FONTE: HELLMEISTER (1995).

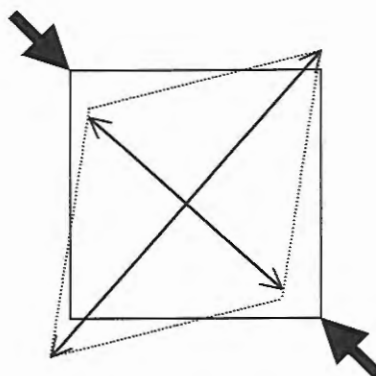


FIGURA 11 – Aplicação do esquema apresentado na figura 10, simplificando a ASTM E-72. FONTE: HELLMEISTER (1995).

2.4 – DURABILIDADE DAS CHAPAS

Como a finalidade de uso das chapas é a composição do painel, podendo ser empregado tanto externa como internamente, a durabilidade é uma questão importante considerando alguns pontos fundamentais como: uso, conservação e ação das intempéries. Diversos autores abordaram a questão da durabilidade, a partir dos pontos apresentados anteriormente. Em consulta à literatura pôde-se observar, em diversos trabalhos, que o uso da madeira e seus derivados requer cuidados especiais para que se consiga um melhor desempenho, maior durabilidade do material e atendimento às exigências para as quais o mesmo é solicitado.

Atualmente, diversos materiais estão sendo utilizados na construção civil, procurando baratear o respectivo custo. Entretanto, muitos destes novos materiais têm sido empregados sem uma prévia avaliação de seu comportamento. Isso acontece devido à ausência de normas que estabeleçam procedimentos ideais de uso e também pela falta de estudos sistemáticos que determinem a durabilidade de um produto e, conseqüentemente, a previsão de seu comportamento ao longo do tempo.

É preciso que existam especificações que permitam a previsão do comportamento do material ao longo do tempo. Para isso, é preciso que se conheçam os mecanismos de deterioração que podem afetar a durabilidade do material, considerando a sua interação com os agentes agressivos do meio ambiente.

Diversas formas de preservação do material permitem um melhor desempenho e maior durabilidade dos mesmos ao longo do tempo. Além disso, alguns estudos podem ser desenvolvidos para a verificação do contato do material com as intempéries como, por exemplo, ensaios de envelhecimento acelerado ou ensaios de intemperismo artificial, onde há uma simulação das situações reais.

Entretanto, em processo acelerado, os quais induzem o processo de deterioração semelhante ao que ocorre nas condições reais de uso e também, os ensaios de durabilidade do material exposto ao intemperismo natural, onde os mesmos são colocados diretamente em contato com as intempéries. Além dos ensaios de intemperismo, deve-se observar estudos onde são realizados tratamentos dos materiais empregados na habitação, utilizando esmaltes, vernizes e materiais impermeabilizantes.

A seguir, estão apresentados trabalhos onde foram realizados ensaios de envelhecimento natural e artificial, tratamentos químicos dados aos materiais e normas referentes à durabilidade dos mesmos.

Posteriormente, estão apresentados alguns autores que estudaram tratamentos ideais e métodos de ensaios para a verificação da durabilidade do material, exposto às intempéries e situações diversas, ao longo do tempo.

MÖHLER (1994), apresentou em seu trabalho, diversas formas de proteção para a madeira e seus derivados quando submetidos às influências climáticas. Este trabalho está baseado na norma alemã (DIN 50010). O autor apresentou cuidados e situações para aplicações como: medidas preventivas para materiais utilizados na montagem das estruturas; detalhes construtivos para evitar o contato com a água; uso de revestimentos decorativos ou não para proteger ao ataque de fungos, insetos, como por exemplo: vernizes coloridos e incolores, solventes e produtos para impregnação.

RICHARDSON (1993) apresentou diversos sistemas de preservação da madeira e derivados, tais como: projeto estrutural, revestimentos decorativos, preservação por isolamento, durabilidade natural do material, preservação tóxica, preservação por fixação, preservação por destoxicação e compostos orgânicos. Neste trabalho são apresentados, de modo bem sucinto, métodos de preservação química da madeira a partir de diversos produtos, como: creosoto, boro, petróleo, mercúrio, flúor, CCA, arsênico, entre outros tratamentos.

Com relação aos ensaios, pode-se dividi-los em dois modos, ou seja, o intemperismo natural e o intemperismo acelerado.

No envelhecimento natural, as condições de deterioração do material dependem dos fatores climáticos, ou seja, das condições apresentadas ao longo do tempo. Nos ensaios de intemperismo natural, o ideal é que se consiga realizar o ensaio com maior duração possível, possibilitando que as diversas situações climáticas ao longo do ano, possam agir sobre o material exposto. Nos ensaios de envelhecimento acelerado, pretende-se acelerar a ação dos principais agentes deterioradores do meio ambiente que, em geral, são: oxigênio, água e radiações solares.

A deterioração dos materiais através do intemperismo artificial corresponde ao envelhecimento acelerado dos materiais, simulando as principais situações de deterioração das amostras, quanto expostas às intempéries. Nos ensaios de intemperismo natural, alguns métodos podem ser empregados, a partir do que se deseja estudar. Os corpos-de-prova expostos às intempéries colocados em contato direto com o solo, podem ser expostos sobre uma superfície que permita a incidência dos raios solares, da água e o contato direto com o ar. Nos ensaios de intemperismo artificial procura-se acelerar a exposição das amostras, quando colocadas diretamente em contato com as intempéries. Existem diversos tipos de equipamentos que permitem simular as condições naturais. Assim, pode-se escolher o equipamento ideal para cada ensaio desejado, além das condições e resultados pretendidos nos ensaios.

Para os ensaios de intemperismo natural e intemperismo acelerado, métodos de verificação visual devem ser adotados para classificar as amostras ensaiadas. O método Browne, adotado no Laboratório de Produtos Florestais dos Estados Unidos, analisa as amostras através de observações e as classificando a partir de uma escala de condições apresentadas no decorrer do período do ensaio.

Em geral, a maioria dos trabalhos de intemperismo, adota metodologia de verificação semelhante àquela adotada no Laboratório de Produtos Florestais.

Alguns trabalhos apresentam experimentações de intemperismo natural e intemperismo artificial, como mostrados a seguir.

INO (1984) estudou o uso do papelão multifolheado, empregado na construção da habitação. Foram realizados ensaios de intemperismo natural e artificial. No ensaio de intemperismo natural as amostras foram tratadas e, posteriormente, expostas às intempéries sobre a cobertura das dependências do LaMEM, onde os ensaios foram conduzidos. O ensaio de intemperismo artificial foi realizado através da construção de um equipamento baseado em equipamentos já existentes, os quais eram entretanto, muito sofisticados e caros. A montagem utilizada nestes ensaios procurou simular a realidade, onde as amostras foram submetidas a ciclos periódicos passando pela ação do calor, ação e radiação ultra-violeta e a ação das chuvas. Neste trabalho, o ciclo de ensaio correspondeu à ação completa de três agentes de deterioração, com um tempo determinado de ação para cada agente.

2.5 – APLICAÇÃO DA BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

A consulta bibliográfica realizada possibilitou uma definição mais específica do trabalho, o qual verificou a inexistência de estudo(s) igual(is) já desenvolvidos. Observou-se a existência de trabalhos relacionados ao assunto, mas, não diretamente ao que se refere esta pesquisa, o que mostra a carência de informações a respeito deste tema.

A partir dos trabalhos consultados, pôde-se definir os métodos de ensaio, documentos normativos a serem utilizados, enfoques a serem dados. Um ponto observado, foi a existência de trabalhos científicos no Brasil apenas, com relação ao tema de painéis à base de madeira e derivados.

CAPÍTULO 3 – CONCEPÇÃO DAS TIPOLOGIAS DE PAINÉIS PORTANTES

Neste capítulo estão apresentadas as principais considerações na definição do objeto, ou seja, os painéis portantes. Primeiramente, apresenta-se a concepção do objeto deste trabalho. Posteriormente, são apresentadas as tipologias já definidas, com as propostas dos painéis portantes estudados neste trabalho, a partir das especificações e desenhos. Em seguida, é feita uma verificação estrutural das tipologias, a partir de dimensionamento.

3.1 – CRITÉRIO PARA DEFINIÇÃO DAS TIPOLOGIAS

Na concepção das tipologias de painéis portantes foram consideradas algumas variáveis importantes, que foram decisivas no desenvolvimento do objeto. Procurando atender às necessidades atuais, a edificação deve apresentar como pontos fundamentais um desempenho eficaz, racionalização quanto ao uso de materiais, o tempo de execução, uso de mão-de-obra, etc. Hoje, um sistema construtivo para ter sucesso em seu desenvolvimento, deve apresentar determinada liberdade e flexibilidade na organização do espaço construído, ser modulado, procurando simplificar ao máximo ampliações, reformas, etc. A partir dos aspectos apresentados, as principais considerações na concepção do objeto foram:

- Painéis devem ser portantes, ou seja, possuir função estrutural para suportar, além do peso próprio, a carga advinda de outros pisos e/ou cobertura;
- Apresentar em sua composição a madeira e seus derivados, tendo em vista a abundância do material no Brasil, além das vantagens citadas anteriormente;
- Possibilidade de tipologias com qualidade, facilidade de montagem e custo reduzido, tornando-se acessível à população de baixa renda.

O entramado, que constitui a parte estrutural do painel, deve estar apto a receber solicitações diversas. Essas solicitações podem ser advindas de ações diretas ou indiretas. As ações diretas são as cargas ou esforços impostos pela estrutura. As ações indiretas são provenientes das deformações dos componentes. Uma definição mais clara pode ser dada às ações diretas, ou seja, pode-se incluir nessas ações as cargas permanentes, que correspondem ao peso próprio dos componentes, e as acidentais, que podem ser cargas verticais de utilização, ação dos ventos e carga proveniente da cobertura.

Para dar a mesma forma de definição às ações indiretas, pode-se atribuí-las à variação da temperatura, à variação da umidade, aos recalques diferenciais na fundação, às variações nas condições gerais do material (retração). Procurando minimizar ao máximo as dificuldades construtivas na montagem dos painéis, a idéia consiste em propor tipologias construtivas a partir de painéis portantes, com o mínimo de peças possível, menor consumo de material, maior desempenho e maior agilidade e simplicidade de montagem.

Observando diversas tipologias existentes na literatura internacional, pode-se verificar que muitos autores apresentam os painéis estruturais e diversas formas de montagem para a estrutura do conjunto. Verifica-se que diversos autores adotam o uso de contraventamentos, geralmente colocados a 45° em relação aos montantes. Entretanto, verificando os resultados conseguidos com este recurso, nota-se que os mesmos não são plenamente satisfatórios, sendo assim, não apresentam uma justificativa real para o emprego deste recurso, procurando aumentar o desempenho estrutural, minimizar o uso de materiais e agilizar a montagem do conjunto.

A opção pelo uso da madeira e derivados surgiu a partir do desejo por trabalhar com um material abundante e facilmente encontrado, e mostrar suas inúmeras vantagens quando devidamente empregado, sendo necessário apenas conhecer o material com que se está trabalhando. A partir deste conhecimento preliminar, pode-se tranquilamente empregá-lo e, é certo, que os resultados a serem obtidos serão plenamente satisfatórios aos usuários, que terão uma edificação de qualidade, custo reduzido e fácil execução/manutenção. Depois de ter definido o material, a preocupação seguinte foi quanto às dimensões dos painéis. Para atender a todos os usuários de modo simples e eficaz, procurou-se trabalhar com as dimensões comerciais dos materiais, facilmente encontrados em qualquer casa do ramo da construção.

A seguir, serão apresentadas as tipologias propostas, onde foram consideradas sempre as dimensões dos materiais existentes no mercado. A idéia de trabalhar com o material, a partir de suas dimensões tradicionais, foi justamente simplificar a construção e minimizar ao máximo a necessidade de ajustes, cortes, dos materiais utilizados na composição do painel.

3.2 – PROPOSTA DE TIPOLOGIAS DE PAINÉIS PORTANTES

A partir das considerações apresentadas anteriormente, foram definidas as propostas de painéis verticais e horizontais a serem estudadas neste trabalho. A seguir, estão apresentados os esquemas dos painéis propostos para este estudo.

Na definição das propostas, onde foram definidos os materiais a serem utilizados, dimensões, formas, etc., alguns aspectos foram decisivos. Como, por exemplo, a escolha da composição do painel por chapas de madeira aglomerada e madeira compensada decorreu da maior produção nacional desses dois derivados, como observado no Capítulo 1, do custo do material, que é acessível à população menos favorecida, e da disponibilidade do material do mercado, o que facilita eventuais reparos, consertos.

A forma de ligação escolhida foi através de pregos. O espaçamento entre os pregos sempre atendeu as especificações de documento normativo, a partir de cálculos estimativos. A figura 12 apresenta o detalhe da ligação na montagem de um painel, ilustrando como foram desenvolvidas as montagens para as tipologias propostas a seguir.

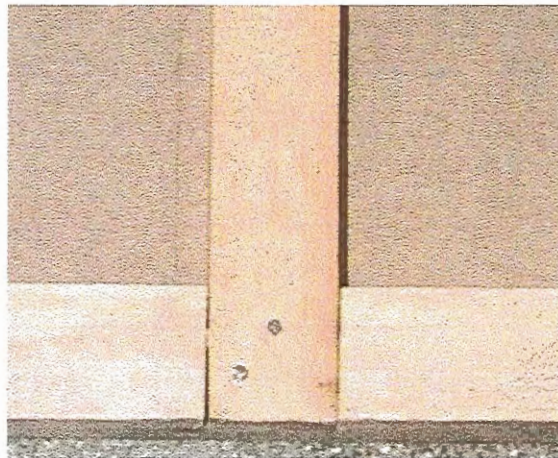


FIGURA 12 – Detalhe de ligação entre montantes para a montagem do painel.

Estão apresentados, a seguir, esquemas compostos por uma vista frontal e uma vista superior, ilustrando as propostas apresentadas. Primeiramente, são apresentadas tipologias verticais e, em seguida, tipologias horizontais, designadas por figuras 13, 14, 15, 16, 17 e 18.

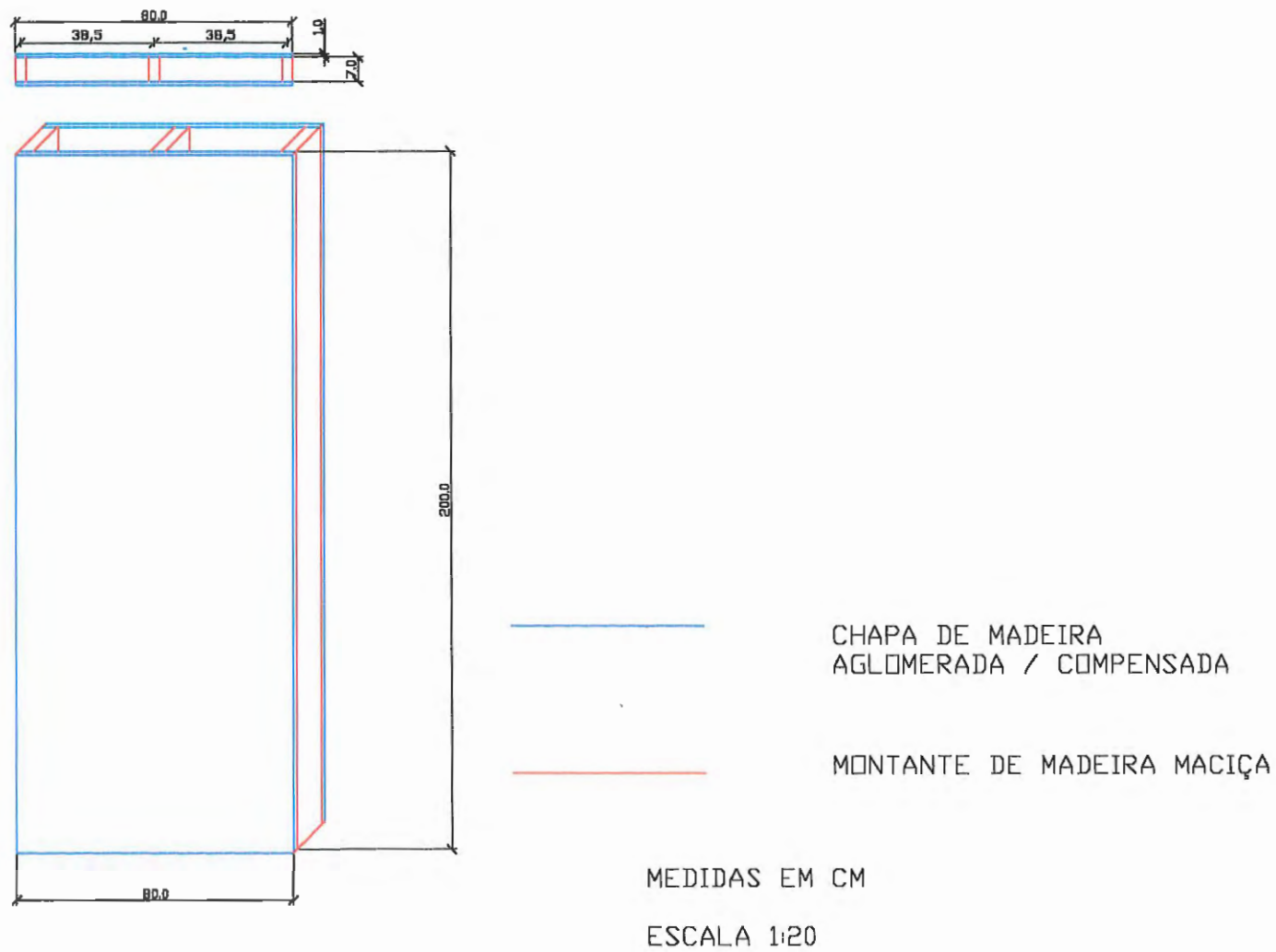
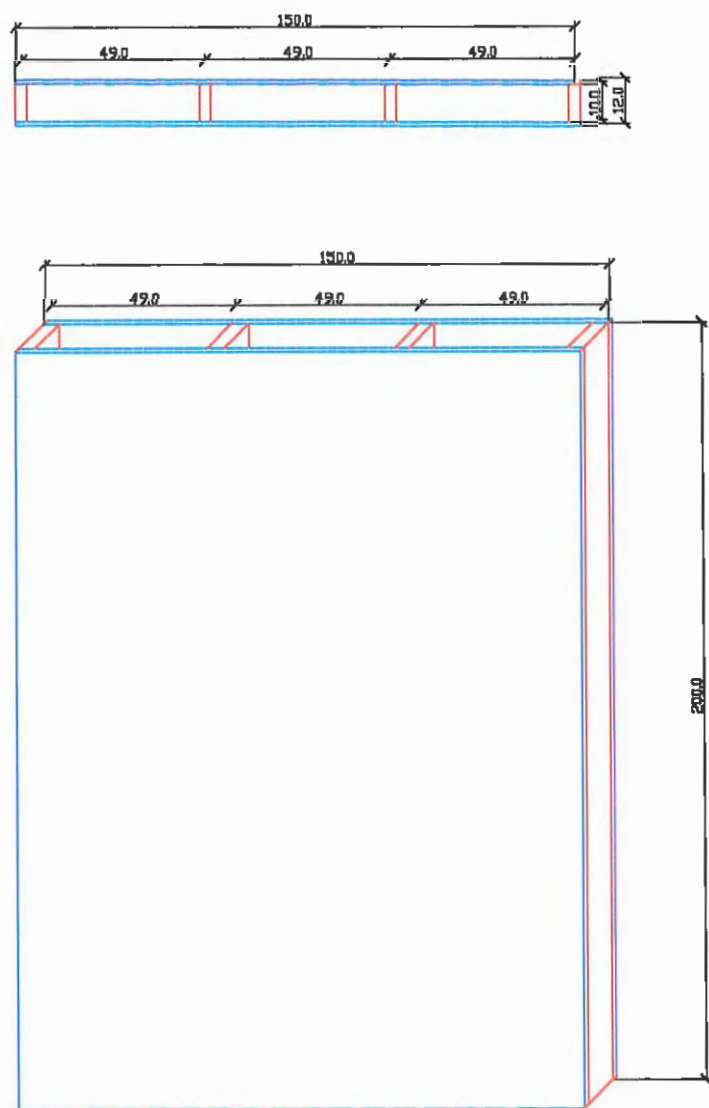


FIGURA 13 - TIPOLOGIA 1 - PAINEL VERTICAL



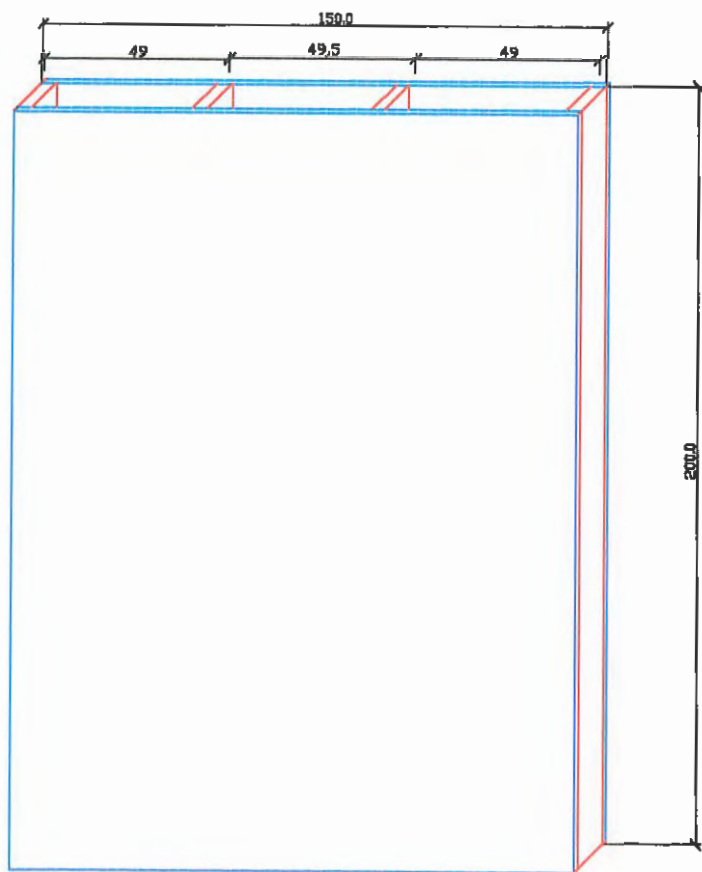
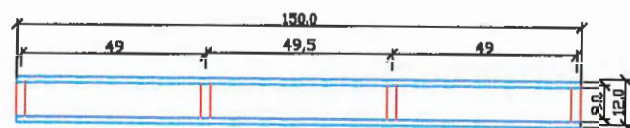
CHAPA DE MADEIRA
AGLOMERADA / COMPENSADA

MONTANTE DE MADEIRA MACIÇA

FIGURA 14 - TIPOLOGIA 2 DE PAINEL VERTICAL

MEDIDAS EM CM

ESCALA 1:20



CHAPA DE MADEIRA
AGLOMERADA / COMPENSADA



MONTANTE DE MADEIRA MACIÇA

MEDIDAS EM CM

ESCALA 1:20

FIGURA 15 - TIPOLOGIA 3 DE PAINEL VERTICAL

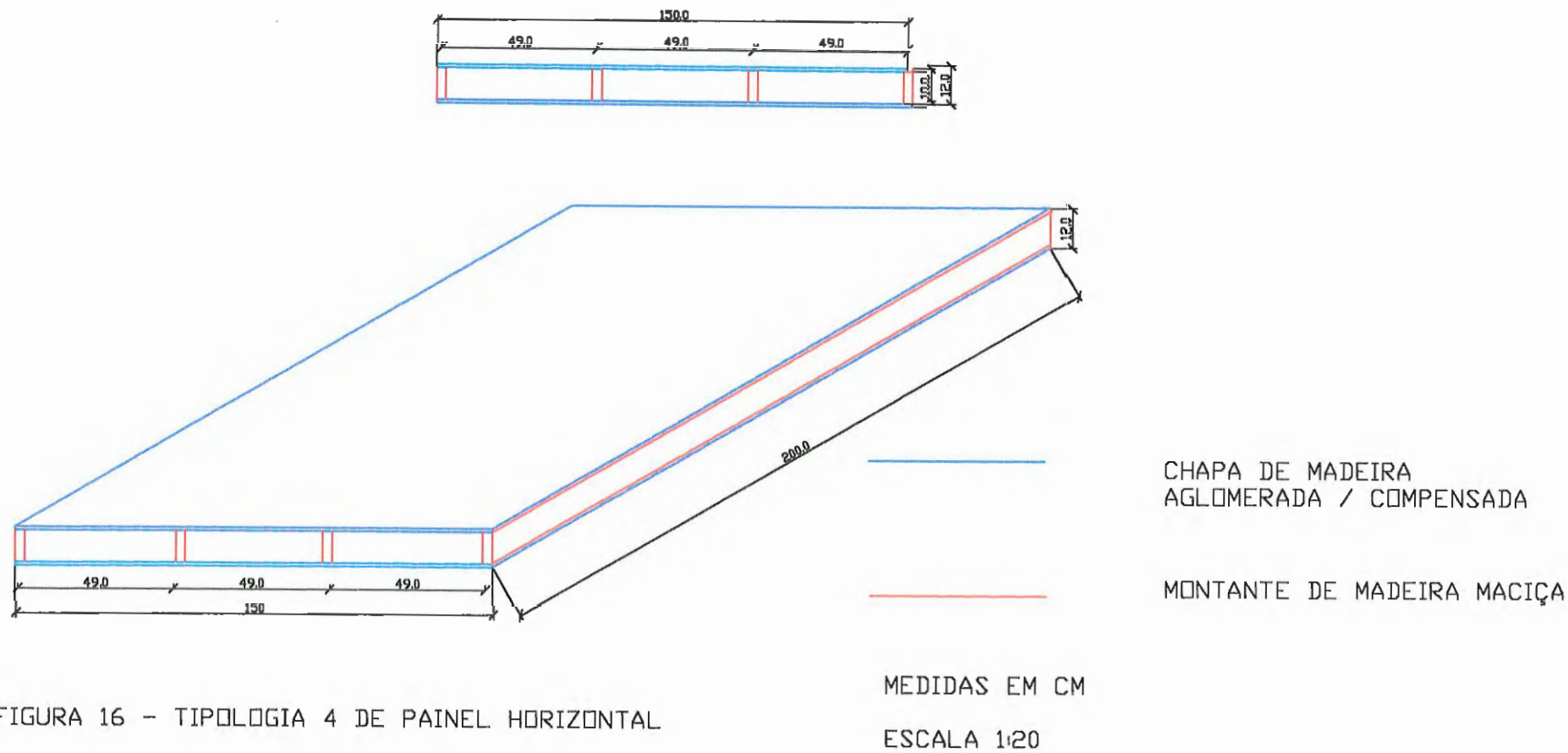


FIGURA 16 - TIPOLOGIA 4 DE PAINEL HORIZONTAL

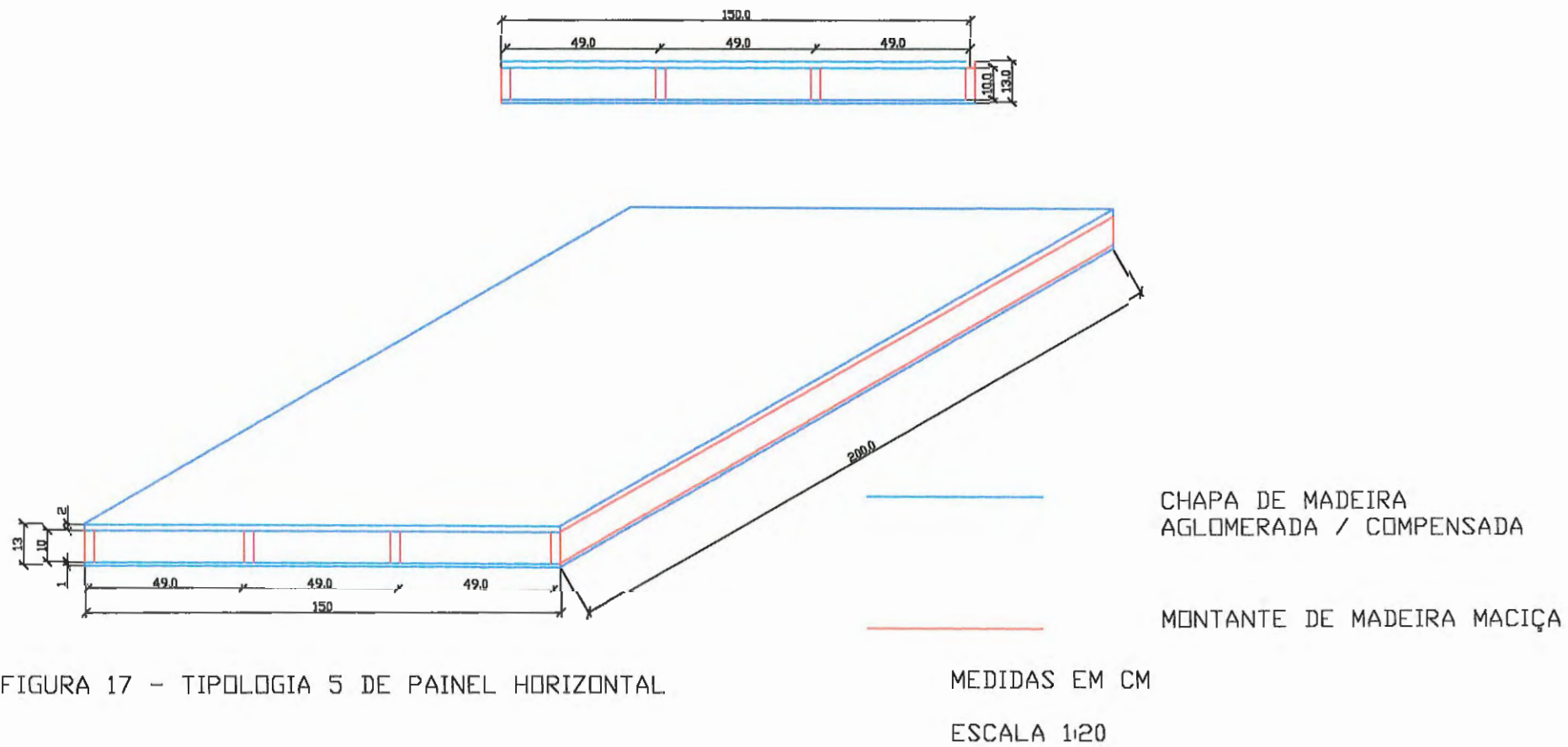


FIGURA 17 - TIPOLOGIA 5 DE PAINEL HORIZONTAL

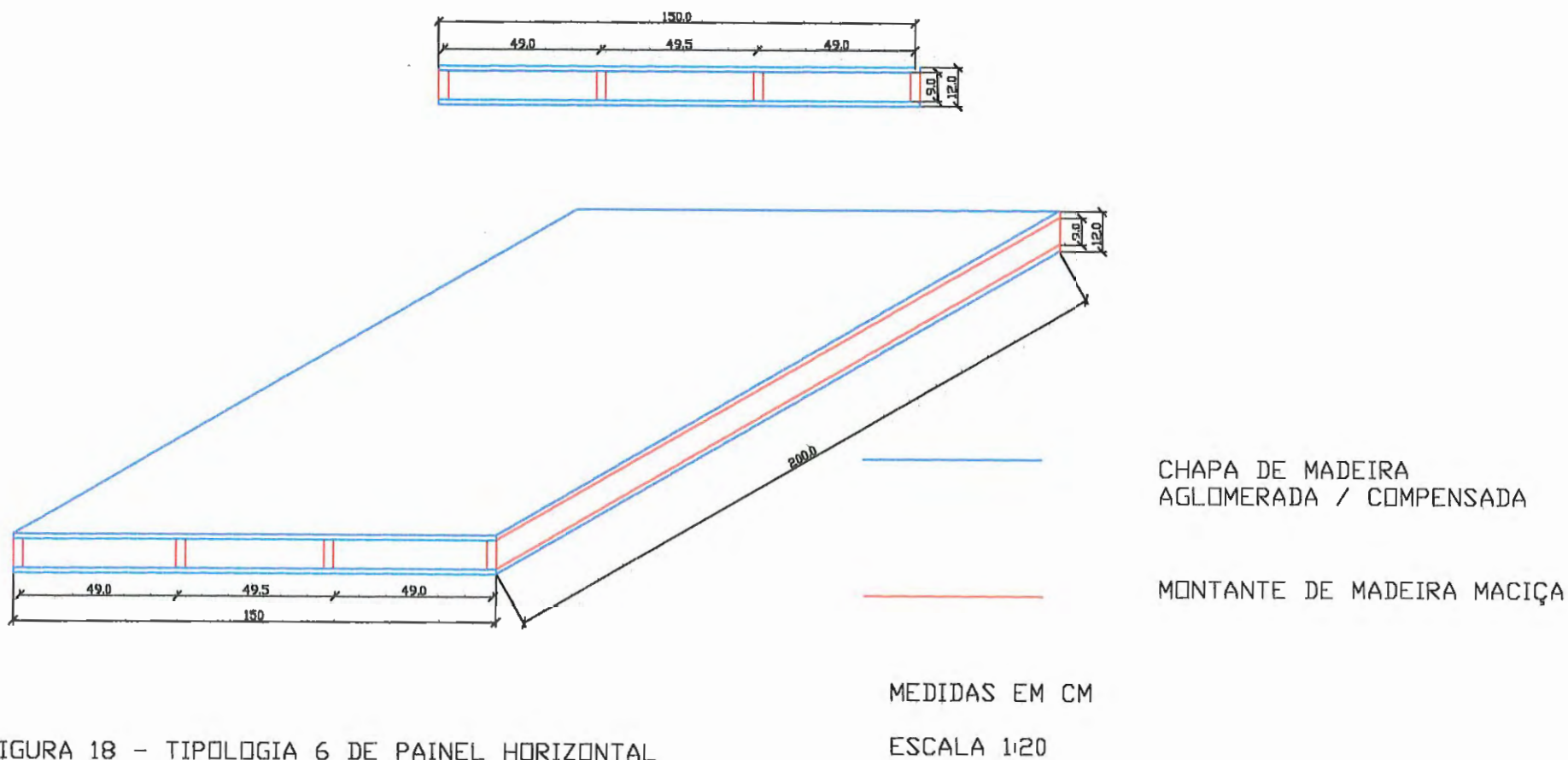


FIGURA 18 - TIPOLOGIA 6 DE PAINEL HORIZONTAL

3.3 – VERIFICAÇÃO ESTRUTURAL DAS TIPOLOGIAS PROPOSTAS

Os painéis apresentados referem-se a um conjunto de colunas bi-articuladas (pés-direitos). Os pés direitos estão contraventados no plano do entramado pela cobertura do parede, ou por contraventamentos horizontais, que fazem com que a esbeltez dos pés-direitos, fora do plano do entramado, seja maior e controle a resistência.

A carga considerada é dividida por unidade de longitude do entramado. A carga de projeto para cada pé-direito é calculada a partir das expressões para colunas, sem considerar a contribuição do revestimento. Em alguns casos, o revestimento pode contribuir significativamente para a resistência do painel. Cabe ao projetista avaliar se deverá ou não considerar alguma contribuição. Nos cálculos apresentados a seguir, foram considerados somente os montantes, tendo em vista que o valor da resistência apresentada pelas chapas é de ordem de grandeza desprezível, comparada aos montantes.

O conjunto dos painéis verticais e horizontais de uma edificação deve resistir a 100% das ações laterais aplicadas, ações essas provenientes de ventos, empuxo do solo ou ainda de materiais livres. Os painéis verticais e horizontais devem ser suficientemente rígidos para:

a) evitar deslocamentos laterais, evitando causar danos aos demais elementos do sistema construtivo, especialmente os elementos não estruturais, com a relação alta de rigidez x resistência;

b) reduzir a amplitude de vibrações em painéis verticais e horizontais até valores limites;

c) proporcionar contraventamento com os outros elementos.

Em um sistema construtivo composto por painéis, os elementos horizontais atuam como transmissores das forças horizontais para os elementos verticais. Neste caso, os elementos horizontais também estão submetidos a forças cortantes, ainda que não sejam paredes propriamente. Os painéis horizontais junto com os verticais são importantes para garantir a estabilidade total da edificação.

3.3.1 – Determinação da Resistência da Madeira e dos Painéis

A resistência aos esforços cortantes totais de uma edificação pode ser determinada somando-se a contribuição de cada um dos painéis capazes de suportar tais esforços.

A resistência de cada painel é calculada multiplicando-se a resistência por unidade longitudinal de cada montante que compõe o conjunto. Em qualquer cálculo estrutural em madeira, como é apresentado na NBR 7190/1997, os valores de projeto para as **solicitações** S_d , a partir de valores representativos de ações consideradas, é necessário determinar os valores de projeto para as **propriedades da madeira** R_d , especialmente aquelas referentes à resistência e à rigidez, uma vez que as condições gerais a serem obedecidas no dimensionamento dos elementos estruturais são dadas pela eq. (1).

$$S_d \leq R_d \quad (1)$$

As resistências de cálculo R_d são determinadas pela eq. (2).

$$R_d = k_{mod,i} \cdot \frac{R_k}{\gamma_w} \quad (2)$$

onde $K_{mod,i}$ = coeficiente de modificação, considerando influências não cobertas por γ_w ;

γ_w = coeficiente de minoração das propriedades da madeira.

A partir das considerações apresentadas na NBR 7190/1997, para a determinação de $K_{mod,i}$ foram adotados três coeficientes, levando-se em conta a classe de carregamento da estrutura, umidade admitida e emprego de madeira não classificada. Sendo assim, $K_{mod,i}$ foi obtido através da eq. (3).

$$K_{mod,i} = K_{mod,1} \times K_{mod,2} \times K_{mod,3} \quad (3)$$

Sendo $K_{mod,1}$ = classe de carregamento;

$K_{mod,2}$ = classe de umidade;

$K_{mod,3}$ = categoria da madeira (primeira ou segunda).

A partir destas considerações, atendendo à NBR 7190/1997, foram efetuados os cálculos para a determinação da resistência ($f_{co,d}$) para as espécies utilizadas e, também, para as seis tipologias propostas anteriormente, tanto para painéis verticais como para painéis horizontais. A resistência à compressão paralela foi determinada pelas eq. (4) e (5), apresentadas seguir.

$$f_{co,k} = 0,70 \cdot f_{co,m} ; \quad (4)$$

$$f_{co,d} = k_{mod,1} \cdot k_{mod,2} \cdot k_{mod,3} \cdot \frac{f_{co,k}}{\gamma_w} \quad (5)$$

Para compor os montantes dos painéis, foram utilizadas duas espécies de madeira. A escolha por essas duas espécies levou em consideração a maior disponibilidade no mercado, custo compatível aos demais materiais constituintes do painel e propriedades satisfatórias para o uso desejado. Na tabela 05 estão apresentadas as espécies utilizadas e características, obtidas através de publicação do IPT para madeiras nacionais. UK

TABELA 05 – Espécies e valores característicos das madeiras constituintes dos montantes.

ESPÉCIE DE MADEIRA		TENSÃO DE COMPRESSÃO (daN/cm ²)
1	Cedrinho (<i>Erismia uncinatum</i>)	430,0 (43,0 MPa)
2	Pinus (<i>Pinus elliottii</i>)	321,0 (32,1 MPa)

A partir das especificações contidas na norma, para as duas espécies utilizadas os valores de $K_{mod,1}$, $K_{mod,2}$ e $K_{mod,3}$ são os mesmos, sendo eles:

$$K_{mod,1} = 0,60;$$

$$K_{mod,2} = 1,00;$$

$$K_{mod,3} = 0,80.$$

Sendo assim, tanto para espécie 1 como para espécie 2 o valor de $K_{mod,i}$ é:

$$K_{mod,i} = 0,60 \times 1,00 \times 0,80 = 0,48$$

O valor de ($f_{co,d}$) para a espécie 1 é:

$$f_{co,d} = 0,48 \cdot \frac{30,10}{1,4} \Leftrightarrow f_{co,d} = 10,32 \text{ MPa}$$

O valor de ($f_{co,d}$) para a espécie 2 é:

$$f_{co,d} = 0,48 \cdot \frac{22,47}{1,4} \Leftrightarrow f_{co,d} = 7,70 \text{ MPa}$$

O valor apresentado para a resistência dos painéis, foi efetuado a partir das formulações para colunas de madeira maciça, desconsiderando a ação do revestimento, baseando-se nos cálculos similares apresentados por PIQUE (1984).

Sendo a resistência de uma coluna de madeira maciça (σ) dada pela equação (6), tem-se:

$$\sigma = \frac{P}{A} \text{ (daN/cm}^2 \text{ ou kgf/cm}^2\text{)} \quad (6)$$

Sabendo-se que a resistência pode ser obtida, em alguns casos, pela divisão da força pela área considerada, tem-se os valores obtidos para cada coluna de todas as tipologias propostas. Os valores estimados para a resistência à ruptura foram obtidos de forma aproximada, através dos cálculos para colunas, onde são desconsideradas as chapas. Os cálculos efetuados foram apenas estimativas para saber a ordem de grandeza da ruptura esperada para cada tipologia proposta. Na tabela 06 são apresentados os valores obtidos nos cálculos da resistência dos painéis, a partir do número de montantes existentes em cada tipologia proposta.

TABELA 06 – Valores de resistência para as seis tipologias propostas.

Nº Tipologia	Nº Espécie*	Dimensões do montante (cm)	Espaçamento entre montantes (cm)	Valor estimado(daN)
PAINÉIS VERTICAIS				
1	2	3,0 x 7,0 x 200,0	38,5	6.990
2	1	3,0 x 10,0 x 200,0	49,0	9.912
3	1	2,5 x 9,0 x 200,0	49,0	12.240
PAINÉIS HORIZONTAIS				
4	1	3,0 x 10,0 x 200,0	49,0	3.036
5	2	3,0 x 10,0 x 200,0	49,0	2.260
6	2	2,5 x 15,0 x 200,0	49,0	1.880

* Espécie 1 = Cedrinho e Espécie 2 = Pinus.

CAPÍTULO 4 – DESEMPENHO ESTRUTURAL – EXPERIMENTAÇÃO

Este capítulo apresenta a experimentação de painéis, com relação ao desempenho estrutural dos mesmos. A seguir, estão descritos sucintamente métodos e equipamentos utilizados para os ensaios de painéis verticais e, em seguida, os métodos e equipamentos para ensaios de painéis horizontais.

São descritos também os ensaios das chapas e os respectivos resultados, e na seqüência estão apresentados os ensaios dos painéis verticais e os respectivos resultados. Posteriormente, os painéis horizontais são ensaiados e, por fim, é feita uma análise de todos os resultados, procurando efetuar-se a avaliação do desempenho estrutural dos painéis.

As figuras de 19 a 22 apresentam resumos da etapa de experimentação, apresentando o número de ensaios e o resumo dos resultados obtidos em cada um deles. São apresentadas as tipologias ensaiadas e suas principais características.


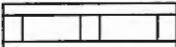
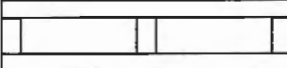
SEÇÃO TRANSVERSAL (cm)	DIMENSÕES (cm)	Nº ENSAIOS	NOMENCLATURA DO CORPO-DE-PROVA
<u>CHAPA AGLOMERADA</u> 1,0 x 160,0 x 200,0 	Espessura das chapas 1,0	3	CHAPA 1 A CHAPA 2 A CHAPA 3 A
<u>TIPOLOGIA 1</u> 9,0 X 80,0 X 200,0 	Espessura das chapas 1,0 Montantes 3,0 x 7,0 x 200,0 Espaçamento entre montantes 38,5 Espaçamento entre pregos 30,0	3	PAINEL 1 A PAINEL 2 A PAINEL 3 A
<u>TIPOLOGIA 2</u> 12,0 X 150,0 X 200,0 	Espessura das chapas 1,0 Montantes 3,0 x 10,0 x 200,0 Espaçamento entre montantes 49,0 Espaçamento entre pregos 30,0	2	PAINEL 4 A PAINEL 5 A

FIGURA 19 – Ensaio vertical de chapas e painéis de madeira aglomerada.

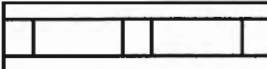
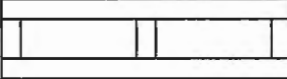
SEÇÃO TRANSVERSAL (cm)	DIMENSÕES (cm)	Nº ENSAIOS	NOMENCLATURA DO CORPO-DE-PROVA
<u>TIPOLOGIA 4</u> 12,0 X 150,0 X 200,0 	Espessura das chapas 1,0 Montantes 3,0 x 10,0 x 200,0 Espaçamento entre montantes 49,0 Espaçamento entre pregos 25,0	2	PAINEL 6 A PAINEL 7 A
<u>TIPOLOGIA 5</u> 13,0 X 150,0 X 200,0 	Espessura das chapas Superior – 2,0 Inferior – 1,0 Montantes 3,0 x 10,0 x 200,0 Espaçamento entre montantes 49,0 Espaçamento entre pregos 30,0	1	PAINEL 8 A

FIGURA 20 – Ensaio vertical de painéis de madeira aglomerada.


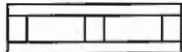
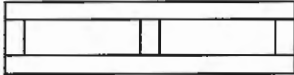
SEÇÃO TRANSVERSAL (cm)	DIMENSÕES (cm)	Nº ENSAIOS	NOMENCLATURA DO CORPO-DE-PROVA
<p><u>CHAPA COMPENSADA</u></p> <p>1,0 x 160,0 x 200,0</p> 	<p>Espessura das chapas 1,0</p>	3	<p>CHAPA 1 C CHAPA 2 C CHAPA 3 C</p>
<p><u>TIPOLOGIA 1</u></p> <p>9,0 X 80,0 X 200,0</p> 	<p>Espessura das chapas 1,0 Montantes 3,0 x 7,0 x 200,0 Espaçamento entre montantes 38,5 Espaçamento entre pregos 30,0</p>	3	<p>PAINEL 1 C PAINEL 2 C PAINEL 3 C</p>
<p><u>TIPOLOGIA 3</u></p> <p>12,0 X 150,0 X 200,0</p> 	<p>Espessura das chapas 1,5 Montantes 2,5 x 9,0 x 200,0 Espaçamento entre montantes 49,0 / 49,5 Espaçamento entre pregos 30,0</p>	1	PAINEL 4 C

FIGURA 21 – Ensaio vertical de chapas e painéis de madeira compensada.

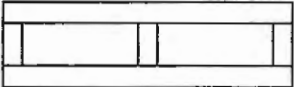
SEÇÃO TRANSVERSAL (cm)	DIMENSÕES (cm)	Nº ENSAIOS	NOMENCLATURA DO CORPO-DE-PROVA
<p><u>TIPOLOGIA 6</u></p> <p>18,0 X 150,0 X 200,0</p> 	<p>Espessura das chapas Superior – 2,0 Inferior – 1,0 montantes 2,5 x 15,0 x 200,0 Espaçamento entre montantes 49,0 e 49,5 Espaçamento entre pregos 30,0</p>	1	PAINEL 5 C

FIGURA 22 – Ensaio vertical de painéis de madeira compensada.

4.1 – MÉTODO E EQUIPAMENTO DE ENSAIO UTILIZADO PARA PAINÉIS VERTICAIS

A etapa de experimentação dos painéis verticais, quanto ao desempenho estrutural, foi sempre desenvolvida no Laboratório de Madeira e de Estruturas de Madeiras - Departamento de Engenharia de Estruturas - Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo. A metodologia de ensaio foi definida após consulta à bibliografia, onde foram verificados os principais métodos adotados para o estudo de painéis, tanto estruturais como painéis apenas de vedação. Como apresentado no Capítulo 2, Item 2.3, a maior parte dos ensaios de painéis está fundamentada na norma americana, ASTM E-72, que trata basicamente de experimentação de painéis. Embora, muitas referências da bibliografia consultada estejam baseadas nesta norma, nem sempre foram realizados os ensaios exatamente como a correspondente descrição. Isto se deve à dificuldade em conseguir equipamentos semelhantes, ou mesmo porque os ensaios pretendidos exigiam adaptações da norma. Baseando-se na norma ASTM E-72 e utilizando equipamento já existente e disponível no LaMEM, os ensaios de painéis portantes, para este trabalho, estão baseados na norma, embora, apresentam adaptações quanto às medidas dos painéis.

Considerando as principais solicitações e ações atuantes no painel vertical, a proposta de ensaio adotada considerou um carregamento vertical centrado, sendo distribuído ao longo da parte superior do painel. Esta carga aplicada correspondeu aos esforços provenientes da cobertura e/ou outro piso, sendo aplicada no painel. Assim, foi possível verificar a capacidade portante do conjunto até que o mesmo venha a perder sua estabilidade estrutural. O procedimento para efetuar os ensaios de chapas e painéis de madeira compensada e aglomerada foi o mesmo. Foram ensaiadas primeiramente as chapas isoladas; entretanto estas não foram rompidas, pois foi prevista a montagem dos painéis com essas mesmas chapas. O ensaio de chapas foi levado até o limite de proporcionalidade teórico, calculado anteriormente para um valor médio de sua resistência e/ou elasticidade. Foram ensaiadas chapas de madeira aglomerada com 1,0 cm de espessura e madeira compensada com 1,0 cm e 1,5 cm de espessura, disponíveis no mercado e, também, chapas de madeira aglomerada com um teor um pouco superior de tanino. Nestes ensaios, o objetivo foi o de verificar a flambagem sofrida pelas chapas e painéis, devido à compressão axial (eixo da chapa/painel). As chapas (ou painéis) foram colocadas no equipamento. Na base inferior do sistema, foi colocada uma viga de madeira, onde a chapa pôde ser "fixada", evitando-se deslocamentos durante o carregamento.

Na face superior, foi também instalada uma viga de madeira, para que a carga concentrada aplicada centralmente ao sistema fosse distribuída por toda a chapa. A figura 23 ilustra o ensaio e carregamento.

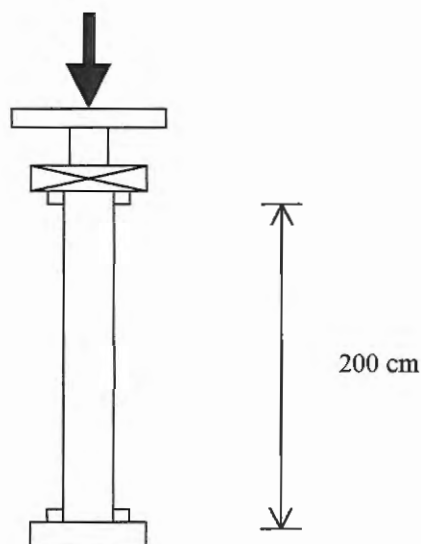


FIGURA 23 – Forma de carregamento vertical para chapas e painéis.

A viga utilizada tinha 6 cm x 16 cm e comprimento igual à largura da chapa utilizada. Para cada uma das chapas ensaiadas, foram realizados três carregamentos e, em todos eles, foram feitas as leituras, como serão vistas a seguir. A forma de ensaiar, tanto as chapas como os painéis, é a mesma, ou seja, efetuou-se o carregamento por três vezes de acordo com as especificações da ASTM E-72 e, ainda, de acordo com essa norma, os resultados das deformações obtidas foram apresentados em forma de gráficos. Como pode-se observar a seguir, para as chapas e painéis, foram apresentados gráficos com as média dos carregamentos.

O ensaio de chapas foi adaptado, isto porque optou-se por não romper as chapas durante o carregamento. Para as chapas os três carregamentos foram levados apenas até o limite de proporcionalidade. Como a carga suportada pelas chapas em pequena, optou-se por realizar leituras dos deslocamentos para intervalos de forças de 10 daN em 10 daN, como estão apresentados nos gráficos e tabelas do próximo item. Já no caso dos painéis, os dois primeiros carregamentos foram feitos até o limite de proporcionalidade e somente no terceiro carregamento o ensaio foi levado até a ruptura do painel. No caso dos painéis verticais, que são compostos pelas chapas de 1,0 cm e 1,5 cm de espessura, as leituras foram realizadas aproximadamente de 100 daN em 100 daN, como estão apresentados nos gráficos e tabelas do próximo item.

A figura 24 apresenta o equipamento utilizado nos ensaios de chapas e painéis; a figura 25 apresenta um esquema do equipamento constituído por quatro colunas metálicas, com um vão entre elas de 2,50 m e 0,60 m de largura entre as colunas. A altura entre o piso e a célula de carga era de 2,15 m. Devido a esta altura de 2,15 m e, como as chapas são de 2,20 m foi preciso ajustá-las para as dimensões do equipamento. A estrutura em madeira, como se observa na figura 24, serviu para ajustar a chapa e/ou painel ao equipamento, evitando que esta se deslocasse durante o ensaio. Foram colocadas, ainda, duas vigas de madeira, uma sobre a chapa e/ou painel e outra sob a mesma, possibilitando que a carga concentrada aplicada sobre a viga, fosse distribuída por toda a chapa e/ou painel.



FIGURA 24 - Equipamento utilizado para o ensaio de chapas e/ou painéis. Equipamento disponível no LaMEM / SET / EESC / USP.

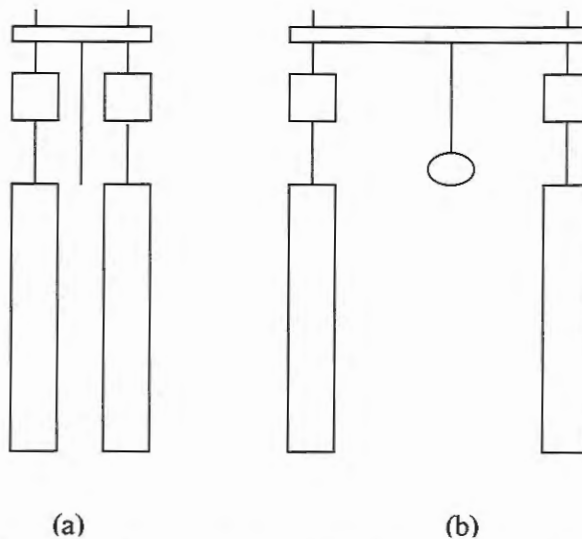


FIGURA 25 – (a) Esquema lateral do equipamento utilizado e (b) esquema frontal do equipamento de ensaio.



Foram utilizadas células de carga com capacidade de 2,5 t; 4,0 t e 5,0 t. Os relógios comparadores utilizados eram de marca Mitutoyo, com sensibilidade de milésimos e extensômetros de 30 cm de comprimento. A figura 26 mostra em detalhe um dos relógios comparadores juntamente com o extensômetro, com sensibilidade de 0,001mm e também o extensômetro de 30 cm de comprimento.

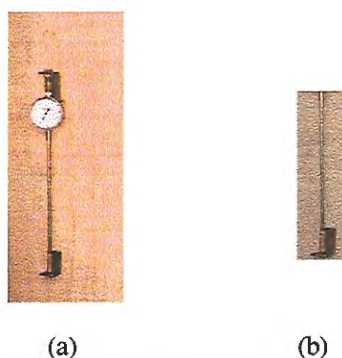


FIGURA 26 (a) e (b) – Detalhe do relógio comparador e do extensômetro de 30 cm.

4.2 – MÉTODO DE ENSAIO E EQUIPAMENTO UTILIZADO PARA PAINÉIS HORIZONTAIS

A etapa de experimentação dos painéis horizontais, para determinação do desempenho estrutural, foi desenvolvida no LaMEM / SET / EESC / USP. A metodologia de ensaio foi definida após consulta à bibliografia, onde foram verificados os principais métodos adotados para o estudo de painéis. No Capítulo 2, Item 2.3, a maior parte dos ensaios de painéis está sempre fundamentada na norma americana, ASTM E-72, que trata basicamente da experimentação de painéis. Baseando-se na norma ASTM E-72 e, utilizando equipamento já existente e disponível no LaMEM, os ensaios de painéis portantes para piso foram realizados.

O método de ensaio adotado considerou a situação mais crítica, que é a aplicação de carga na região central do painel onde, conforme especificado na definição das tipologias, não existia nenhum montante. Para possibilitar que a carga fosse distribuída por toda a largura do painel, foi utilizada uma viga de distribuição. A forma adotada para ensaiar os painéis foi através do carregamento por três vezes. Os dois primeiros carregamentos foram feitos até o limite de proporcionalidade e somente no terceiro carregamento o ensaio foi levado até a ruptura do painel. No caso dos painéis horizontais, as leituras foram realizadas aproximadamente de 100 daN em 100 daN, como estão apresentados nos gráficos e tabelas do próximo item. Os painéis foram ensaiados no equipamento existente no laboratório, como pode ser observado na figura 27. A figura 28 apresenta o sistema de ensaio para painéis horizontais.

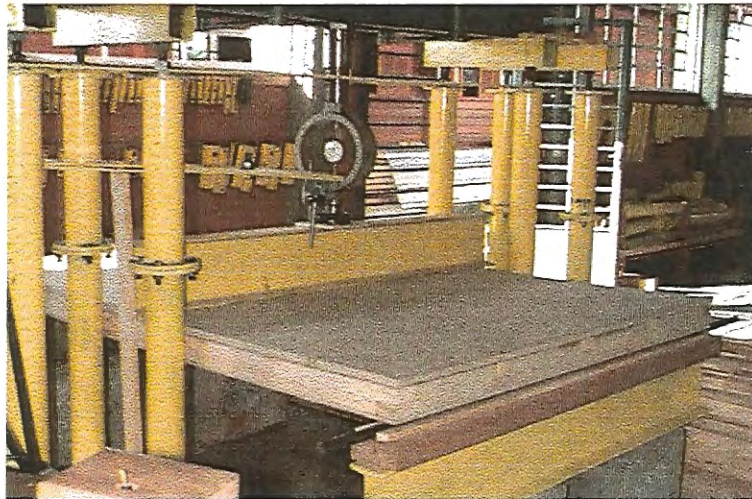


FIGURA 27 – Equipamento utilizado para o ensaio de painéis horizontais. Equipamento disponível no LaMEM / SET / EESC / USP.

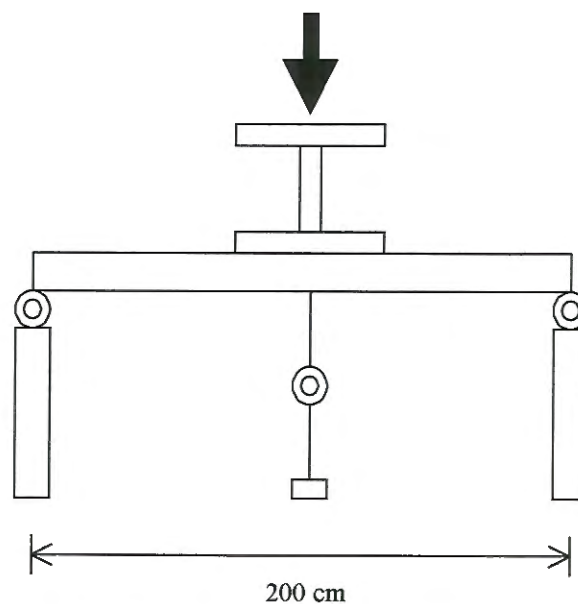


FIGURA 28 – Sistema de carregamento para painéis horizontais.

Nestes ensaios, o objetivo foi o de verificar o deslocamento vertical sofrido pelos painéis. Na face superior foi instalada uma viga metálica para distribuição da carga concentrada. A figura 27 apresenta o equipamento utilizado, constituído por quatro colunas metálicas, com um vão entre elas de 1,50 m.

Os painéis eram apoiados em duas vigas metálicas nas duas extremidades. Para a leitura dos deslocamentos verticais, com a aplicação da carga, foi instalado na parte inferior do painel, o relógio para medir as deformações sofridas ao longo do carregamento. A proposta destes ensaios é que os mesmos fossem levados até a carga máxima, ou seja, até a ruptura sempre que possível, a partir das células de cargas utilizadas. A figura 29 mostra o relógio colocado na parte inferior do painel.



FIGURA 29 – Relógio colocado na parte inferior do painel, onde são feitas as leituras das deformações.

4.3 – ENSAIO DOS ENSAIOS DE CHAPAS E PAINÉIS VERTICAIS

Neste item são apresentados os ensaios verticais, tanto para chapas como para painéis de madeira aglomerada e compensada. Inicialmente, foram realizados ensaios para as chapas de madeira aglomerada e madeira compensada, ensaiadas até o limite de proporcionalidade, para que fosse comprovado que as chapas isoladas, ou seja, sem o entramado, não apresentaram nenhuma função estrutural. O método de ensaio adotado foi descrito anteriormente. Após o ensaio das chapas, os painéis foram montados e, em seguida, ensaiados.

A montagem dos painéis verticais foi efetuada com as próprias chapas ensaiadas, cujas medidas eram de 1,60 m de largura e 2,00 m de altura. Para a montagem dos painéis, da Tipologia 1, optou-se pelo corte dessas chapas ao meio, ficando duas partes de 0,80 m de largura e os mesmos 2,00 m de altura. Na montagem dos painéis, os montantes foram colocados paralelos à direção onde a carga seria aplicada, ou seja, foram colocados montantes verticais e, apenas nas duas extremidades, superior e inferior, duas vigas para compor o entramado dos painéis.

Exemplificando, a metodologia de ensaio para as chapas e painéis verticais, foi apresentada a seguir tabelas e figuras apresentando os três carregamentos realizados para a CHAPA 1 A. Somente para esta chapa foram apresentados os resultados das três etapas, tendo em vista que o objetivo era o de mostrar que nas duas primeiras etapas eram obtidas as deformações quando a carga era retirada, e no último carregamento, os relógios eram mantidos apenas até atingir-se o limite de proporcionalidade.

Para as chapas, o ensaio encerrava-se nas deformações obtidas até o terceiro carregamento e, posteriormente, o ensaio era finalizado. Para os painéis, no terceiro carregamento, quando era obtido o limite de proporcionalidade, os relógios eram retirados e o ensaio era conduzido até a ruptura dos painéis.

A figuras 30, 31 e 32 apresentam os gráficos de Carga x Deformação para a CHAPA 1 A. Como pode-se verificar na figura 30, referente ao primeiro carregamento, ambos os lados onde estavam instalados os relógios apresentaram deformação linear. Pode-se observar que durante o descarregamento foi possível retornar à origem, o que justifica a não deformação da chapa durante o primeiro carregamento. Na figura 31, referente ao segundo carregamento, também ambos os lados onde estavam instalados os relógios apresentaram deformação linear. Pode-se observar que, também neste caso, durante o descarregamento foi possível retornar a origem, o que justifica a não deformação da chapa durante o primeiro carregamento. A figura 32 apresenta apenas a etapa de carregamento e, posteriormente, o ensaio foi encerrado, aproveitando-se esta chapa para a montagem do PAINEL 1 A.

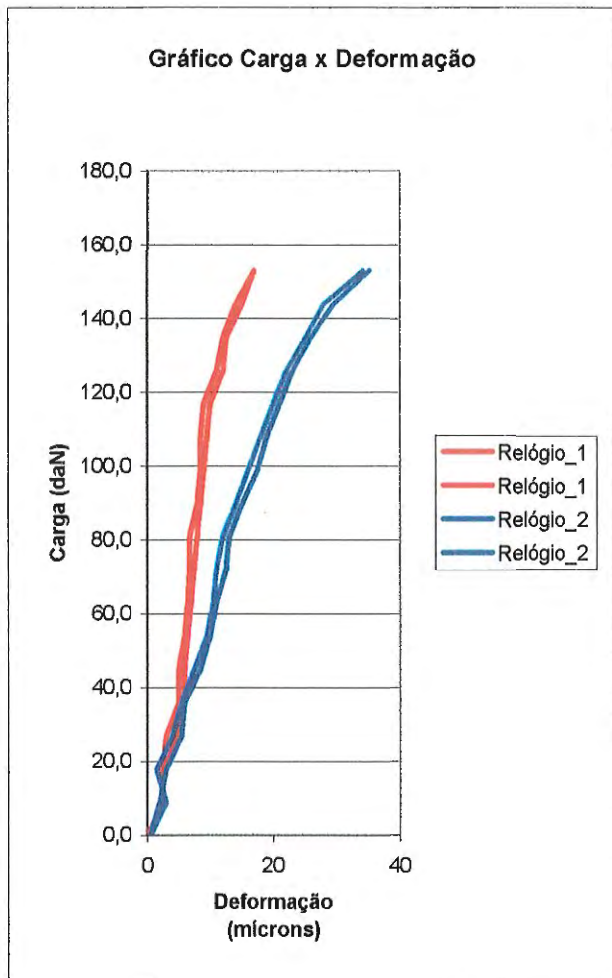


FIGURA 30 - Primeiro carregamento - CHAPA 1 A

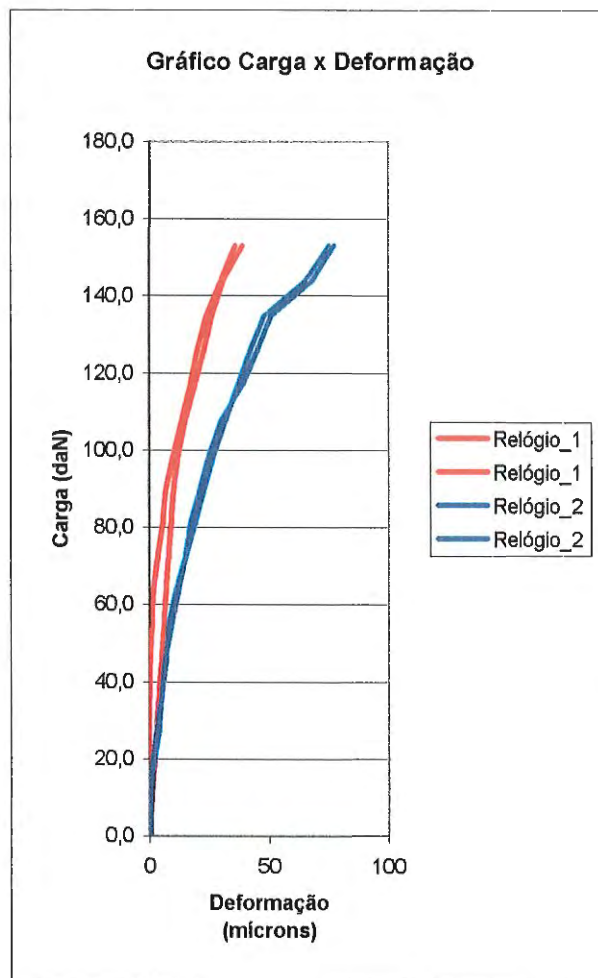


FIGURA 31 - Segundo carregamento - CHAPA 1 A

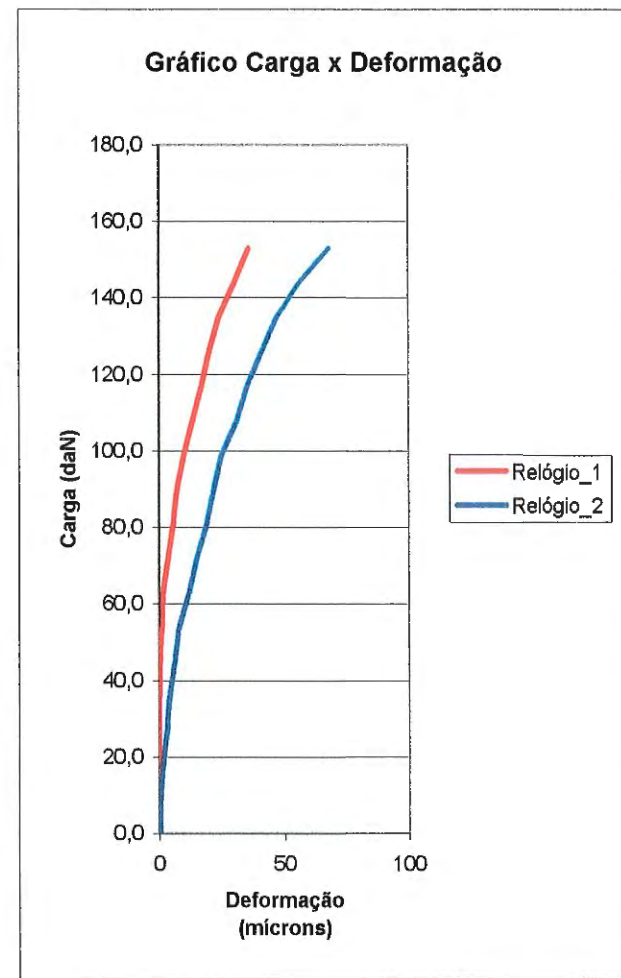


FIGURA 32 - Terceiro carregamento - CHAPA 1 A

4.3.1 - Madeira Aglomerada

A seguir, são apresentados os resultados obtidos nos ensaios das chapas e painéis verticais compostos por dois tipos de madeira aglomerada.

- **CHAPA 1 A – PAINEL 1 A**

Na tabela 07 e figura 35 são apresentados os resultados relativos à média dos três carregamentos para a chapa de madeira aglomerada 1 A. Observando a figura 35, verifica-se que a chapa apresentou comportamento linear até a carga de aproximadamente 120 daN, embora o desenvolvimento da curva não tenha sido perfeitamente linear. Quando a carga chegou em torno dos 120 daN, pode-se definir tal valor como sendo o limite de proporcionalidade. A partir deste ponto começa a manifestar-se a flambagem (flexão estática por compressão paralela à chapa) do corpo-de-prova.

Após este período não linear, o carregamento foi interrompido, pois optou-se por não romper a chapa, pensando em aproveitá-la para compor o painel, não tanto por questões econômicas mas, principalmente, por já se conhecer as características dessa chapa.

Quando foi ensaiado o PAINEL 1 A, observou-se, nos dois primeiros carregamentos um comportamento elástico-linear até, aproximadamente, 6000 daN. Nestas primeiras leituras, o ensaio foi interrompido durante o regime elástico. Somente no terceiro carregamento, os relógios comparadores foram deixados até o instante em que em um lado do painel ocorreu tração, e no outro, compressão, o que pode ser nitidamente observado no gráfico do terceiro carregamento. Como observa-se na figura 36, ou mesmo na tabela 08, a partir dos 7000 daN, verificou-se este comportamento de tração/compressão. O carregamento com leitura de deslocamento foi feito até, aproximadamente, 8600 daN. A partir deste instante, os relógios foram retirados, e apenas continuou-se o carregamento até a ruptura. Para este painel (PAINEL 1 A) a ruptura aconteceu em 9210 daN. As figuras 33 e 34 mostram, respectivamente, a CHAPA 1A sendo ensaiada, ainda na condição de não flambagem e o PAINEL 1A sob flambagem, como verifica-se pela indicação na figura 34.



FIGURA 33 – CHAPA 1 A de madeira aglomerada sendo ensaiada.

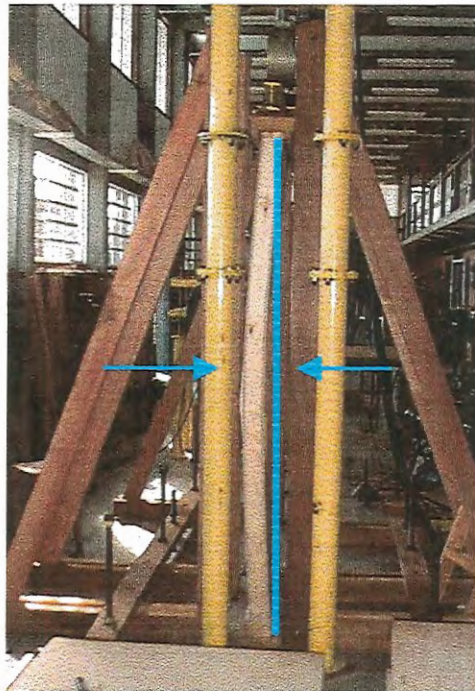


FIGURA 34 – PAINEL 1 A de madeira aglomerada sendo ensaiado e apresentando flambagem.

TABELA 07 - Média das leituras dos três carregamentos para a CHAPA 1 A

Divisões	Carga	Exten.A		Exten.B	
		Leitura	Diferen.	Leitura	Diferen.
unidades	daN	microns	mm	microns	mm
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5	9,0	2,5	2,5	3,0	3,0
10	18,0	2,5	0,0	1,5	-1,5
15	27,0	3,0	0,5	4,0	2,5
20	36,0	5,0	2,0	5,5	1,5
25	45,0	5,0	0,0	7,5	2,0
30	54,0	6,0	1,0	9,5	2,0
35	63,0	6,5	0,5	10,5	1,0
40	72,0	6,8	0,3	11,0	0,5
45	81,0	6,8	0,0	12,0	1,0
50	90,0	8,0	1,3	14,0	2,0
55	99,0	8,5	0,5	16,0	2,0
60	108,0	8,5	0,0	18,0	2,0
65	117,0	9,0	0,5	20,0	2,0
70	126,0	11,0	2,0	22,0	2,0
75	135,0	12,0	1,0	25,0	3,0
80	144,0	14,0	2,0	28,0	3,0
85	153,0	17,0	3,0	34,0	6,0

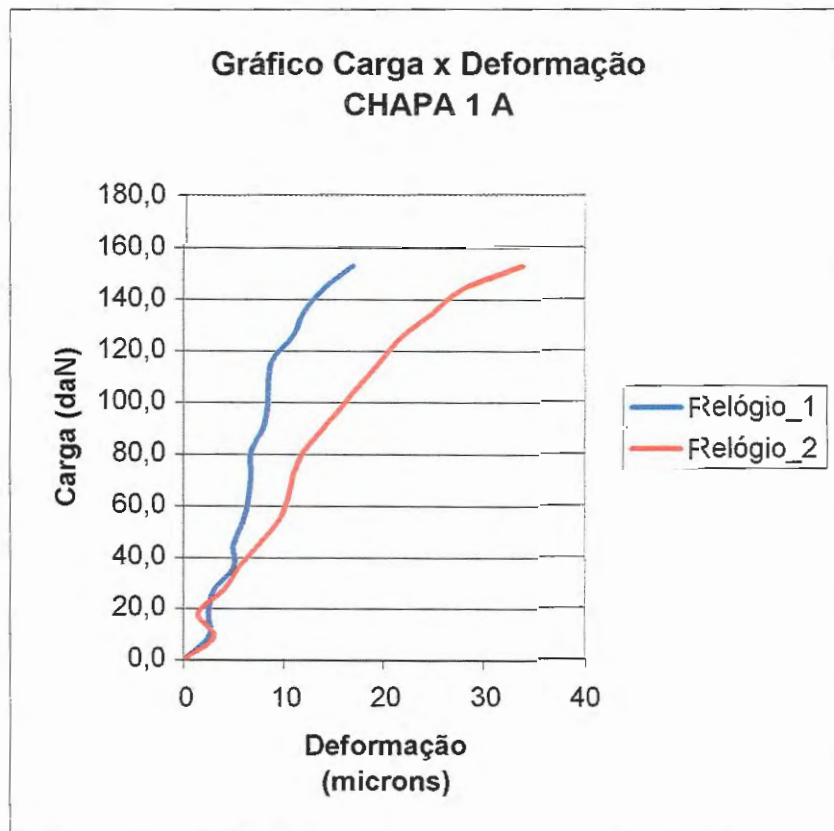


FIGURA 33 - Média dos carregamentos para a CHAPA 1 A

TABELA 08 - Média das leituras dos três carregamentos para o PAINEL 1 A

Divisões	Carga	Exten.A	Diferen.	Exten.B	Diferen.
unidades	daN	microns	mm	microns	mm
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	169,0	1,0	1,0	2,2	2,2
20	338,0	4,3	3,3	3,7	1,5
30	507,0	8,0	3,7	4,5	0,8
40	676,0	12,7	4,7	6,0	1,5
50	845,0	17,0	4,3	7,2	1,2
60	1014,0	21,0	4,0	7,7	0,5
70	1183,0	25,3	4,3	9,2	1,5
80	1352,0	30,3	5,0	10,8	1,6
90	1521,0	35,0	4,7	12,8	2,0
100	1690,0	40,0	5,0	14,3	1,5
110	1859,0	45,7	5,7	16,3	2,0
120	2028,0	50,3	4,6	18,7	2,4
130	2197,0	55,3	5,0	21,0	2,3
140	2366,0	60,7	5,4	24,0	3,0
150	2535,0	66,0	5,3	26,3	2,3
160	2704,0	71,7	5,7	28,7	2,4
170	2873,0	76,3	4,6	32,0	3,3
180	3042,0	81,7	5,4	35,0	3,0
190	3211,0	87,7	6,0	38,7	3,7
200	3380,0	92,7	5,0	43,0	4,3
210	3549,0	97,7	5,0	46,7	3,7
220	3718,0	103,7	6,0	51,0	4,3
230	3887,0	109,3	5,6	56,0	5,0
240	4056,0	116,3	7,0	60,0	4,0
250	4225,0	120,7	4,4	63,7	3,7
260	4394,0	126,7	6,0	67,3	3,6
270	4563,0	131,7	5,0	71,0	3,7
280	4732,0	137,7	6,0	75,0	4,0
290	4901,0	143,3	5,6	78,3	3,3
300	5070,0	148,3	5,0	82,0	3,7
310	5239,0	154,0	5,7	86,0	4,0
320	5408,0	161,0	7,0	90,3	4,3
330	5577,0	164,0	3,0	94,0	3,7
340	5746,0	168,0	4,0	97,0	3,0
350	5915,0	171,0	3,0	100,0	3,0
360	6084,0	176,0	5,0	104,0	4,0
370	6253,0	185,0	9,0	105,0	1,0
380	6422,0	188,0	3,0	109,0	4,0
390	6591,0	191,0	3,0	112,0	3,0
400	6760,0	194,0	3,0	114,0	2,0
410	6929,0	200,0	6,0	117,0	3,0
420	7098,0	206,0	6,0	120,0	3,0
430	7267,0	212,0	6,0	121,0	1,0
440	7436,0	220,0	8,0	120,0	-1,0
450	7605,0	226,0	6,0	120,0	0,0
460	7774,0	235,0	9,0	122,0	2,0
470	7943,0	242,0	7,0	123,0	1,0
480	8112,0	255,0	13,0	120,0	-3,0
490	8281,0	265,0	10,0	118,0	-2,0
500	8450,0	275,0	10,0	112,0	-6,0
510	8619,0	293,0	18,0	105,0	-7,0
Prup = 9210 daN					

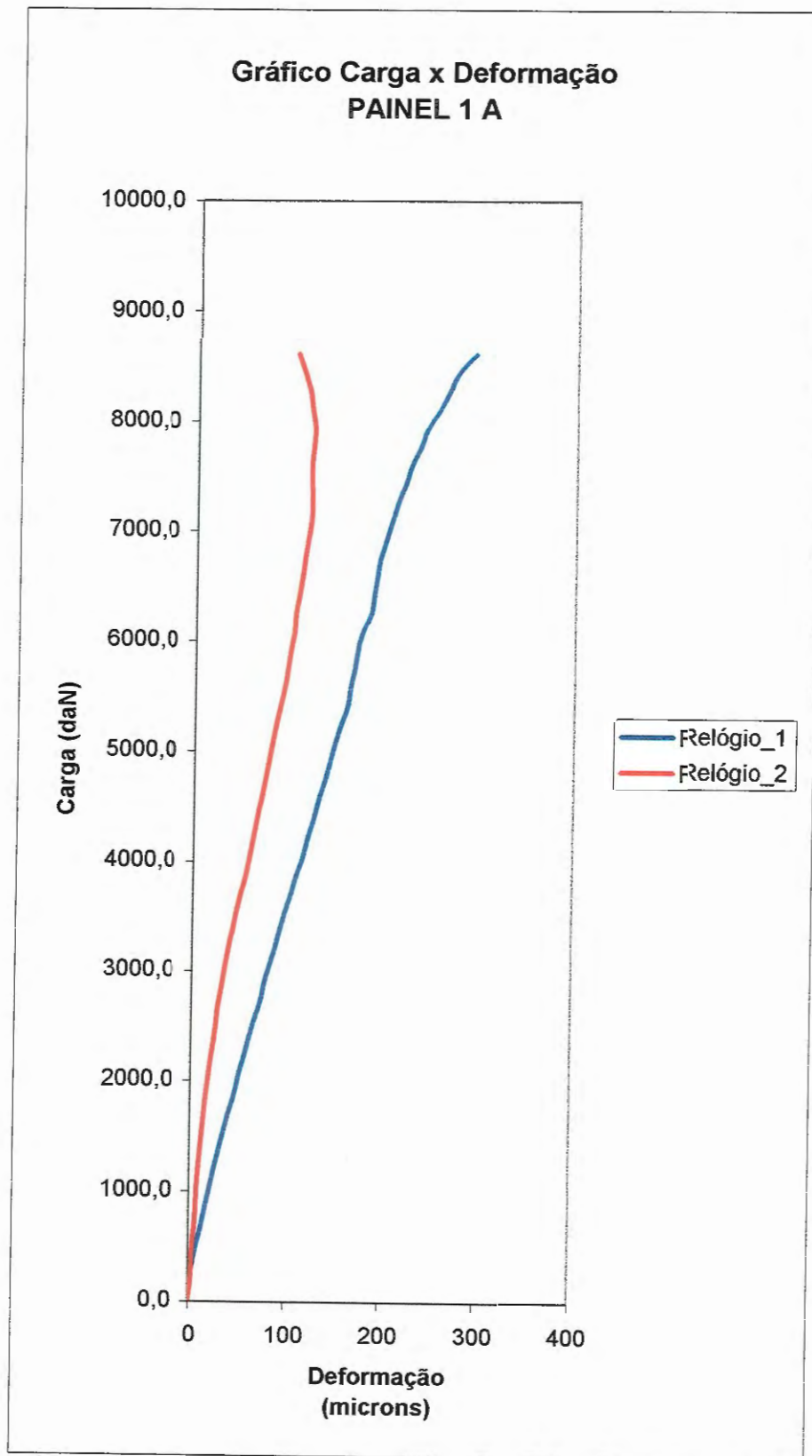


FIGURA 36 - Média dos carregamentos para o PAINEL 1 A

- **CHAPA 2 A- PAINEL 2 A**

Tanto para a CHAPA 2 A como para o PAINEL 2 A, a metodologia de ensaio foi a mesma apresentada para a CHAPA 1 A, sendo efetuados três carregamentos, dos quais nos dois primeiros foram anotadas as deformações ocorridas no descarregamento.

Na tabela 09 e na figura 39, referentes à média dos carregamentos para a CHAPA 2 A, observa-se praticamente que há no princípio do carregamento um trecho linear inicial até a carga aproximada de 50 daN.

Nas duas faces onde foram instalados os relógios, verificou-se compressão simultânea até, aproximadamente, 140 daN. Após 50 daN, observou-se um trecho não linear. Após este período não linear, o carregamento prosseguiu por mais algumas leituras, podendo-se verificar o início do processo de tração em uma face da chapa e de tendência à compressão em outra face. Entretanto, o carregamento foi interrompido, pois optou-se por não romper a chapa, pensando em aproveitá-la para compor o PAINEL 2 A, por questões econômicas e também, por já se conhecer as características dessa chapa.

Quando foi montado o PAINEL 2 A, observou-se que, na chapa onde foi instalado o relógio 2, praticamente não ocorreu deformação e, a outra chapa apresentou um comportamento elástico-linear até, aproximadamente, 4000 daN, como observa-se na figura 40, ou mesmo nos valores apresentados na tabela 10. Uma justificativa para a não deformação da face onde foi instalado o relógio2 é de que talvez durante a montagem do painel, este lado não tenha sido devidamente carregado por ligeira deformação na altura das chapas. Ou alguma deficiência na colocação do relógio de leitura das deformações, ou, ainda por alguma excentricidade, difícil de ser avaliada na face onde se instalou o relógio. Para esse painel (PAINEL 2 A) a ruptura aconteceu em 6510 daN.

As figuras 37 e 38, mostram os ensaios com a CHAPA 2A e o respectivo PAINEL 2A, nos quais ambos ainda não se encontravam em flambagem. No caso da CHAPA 2 A, a foto foi tirada quando a carga era de, aproximadamente, 70 daN e, no caso do PAINEL 2 A, a carga empregada era de, aproximadamente, 3500 daN.



FIGURA 37 – CHAPA 2 A de madeira aglomerada sem atingir a flambagem.

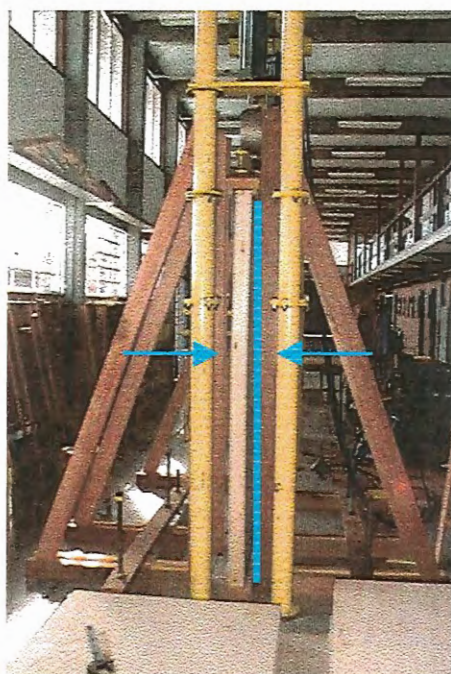


FIGURA 38 – PAINEL 2 A de madeira aglomerada sendo carregado.

TABELA 09 - Média das leituras dos três carregamentos para a CHAPA 2 A

Divisões	Carga	Exten.A		Exten.B	
		Leitura	Diferen.	Leitura	Diferen.
unidades	daN	microns	mm	microns	mm
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5	9,0	0,0	0,0	0,5	0,5
10	18,0	0,0	0,0	1,5	1,0
15	27,0	0,0	0,0	4,0	2,5
20	36,0	0,0	0,0	5,0	1,0
25	45,0	0,2	0,2	6,5	1,5
30	54,0	1,5	1,3	9,0	2,5
35	63,0	3,0	1,5	12,0	3,0
40	72,0	5,5	2,5	15,0	3,0
45	81,0	8,0	2,5	19,0	4,0
50	90,0	10,0	2,0	23,0	4,0
55	99,0	11,5	1,5	27,0	4,0
60	108,0	14,0	2,5	32,0	5,0
65	117,0	17,0	3,0	37,0	5,0
70	126,0	21,0	4,0	42,0	5,0
75	135,0	25,0	4,0	48,0	6,0
80	144,0	30,0	5,0	65,0	17,0

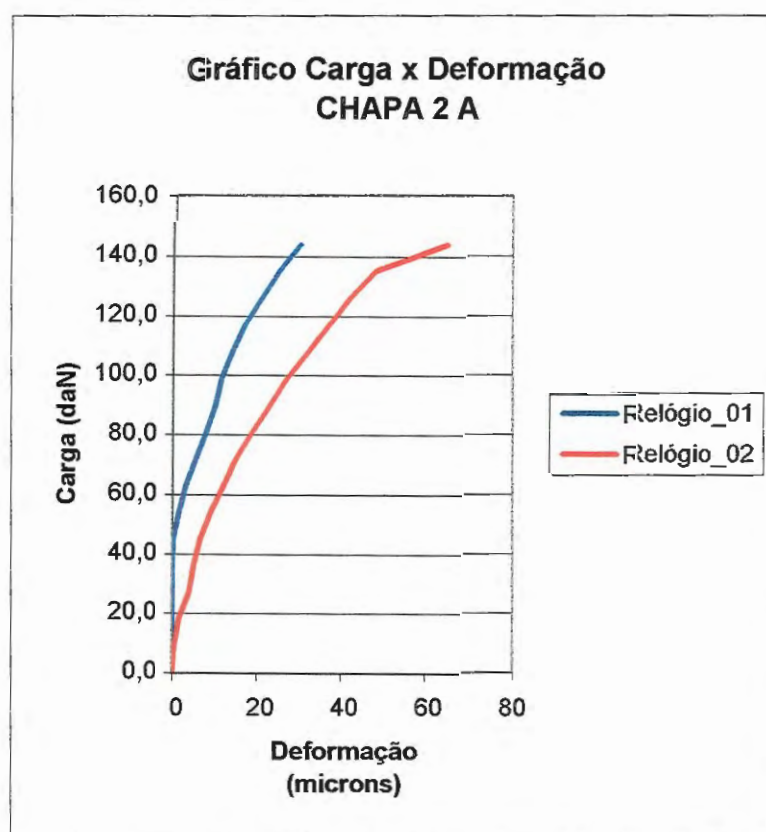


FIGURA 39 - Média dos carregamentos para a CHAPA 2 A

TABELA 10 - Média das leituras dos três carregamentos para o PAINEL 2 A

Divisões	Carga	Exten.A		Exten.B	
		Leitura	Diferen.	Leitura	Diferen.
unidades	daN	microns	mm	microns	mm
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	169,0	1,2	1,8	10,0	10,0
20	338,0	2,2	1,5	20,0	10,0
30	507,0	3,2	1,5	29,7	9,7
40	676,0	4,2	1,5	39,3	9,6
50	845,0	5,3	1,7	48,3	9,0
60	1014,0	6,8	2,3	57,3	9,0
70	1183,0	8,2	2,1	67,0	9,7
80	1352,0	10,2	3,0	75,3	8,3
90	1521,0	11,3	1,7	83,0	7,7
100	1690,0	13,2	2,9	90,7	7,7
110	1859,0	15,3	3,2	96,0	5,3
120	2028,0	17,3	3,0	103,0	7,0
130	2197,0	19,5	3,3	108,0	5,0
140	2366,0	22,3	4,2	114,3	6,3
150	2535,0	24,2	2,9	120,0	5,7
160	2704,0	27,0	4,2	125,7	5,7
170	2873,0	29,3	3,5	133,0	7,3
180	3042,0	31,5	3,3	138,3	5,3
190	3211,0	34,0	3,8	145,3	7,0
200	3380,0	36,2	3,3	151,7	6,4
210	3549,0	37,8	2,4	158,7	7,0
220	3718,0	39,5	2,6	166,0	7,3
230	3887,0	39,8	0,4	175,3	9,3
Prup = 6510 daN					

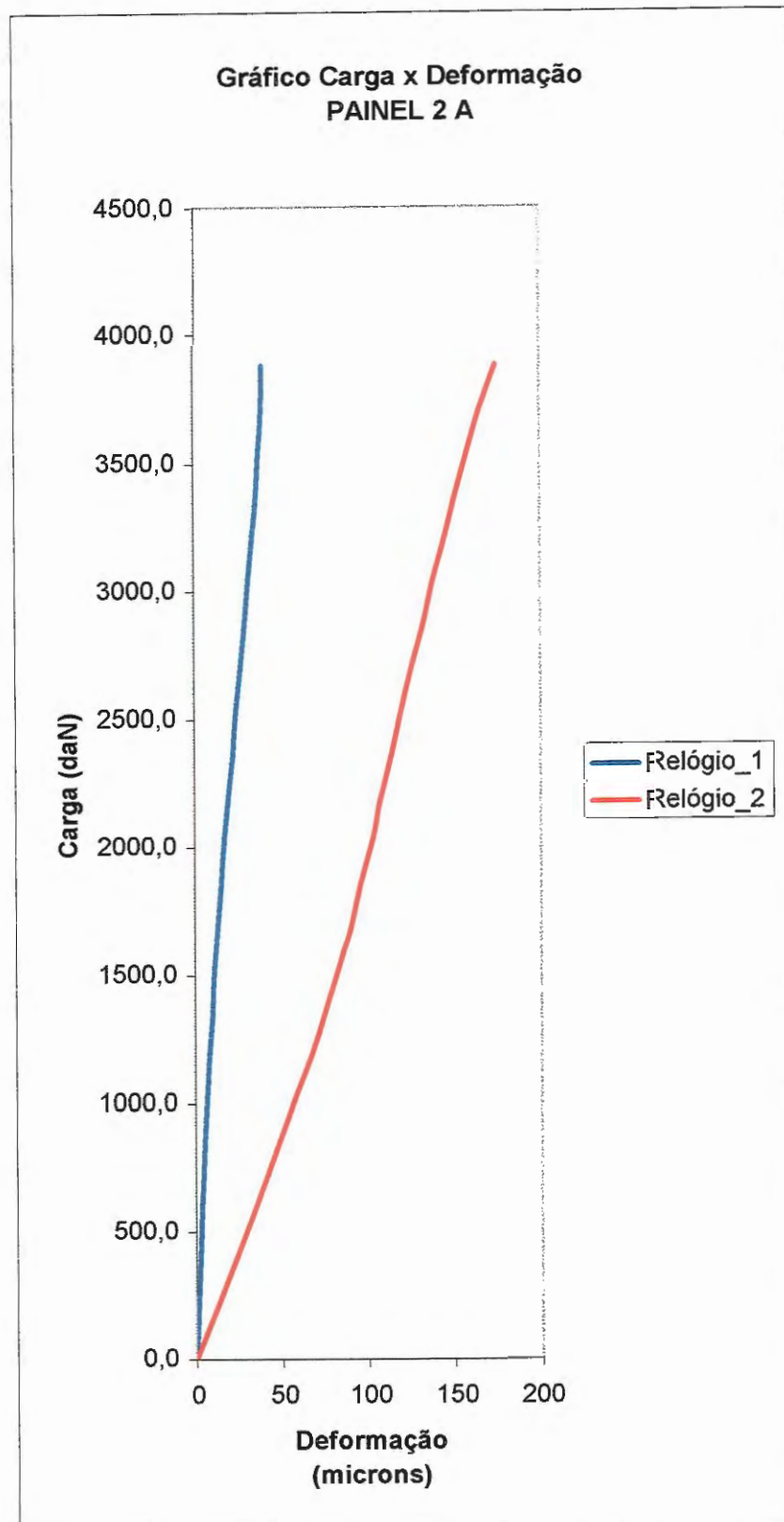


FIGURA 40 - Média dos carregamentos para o PAINEL 2 A

- **CHAPA 3 A - PAINEL 3 A**

Como já apresentado anteriormente, tanto para a CHAPA 3 A como para o PAINEL 3 A, a metodologia de ensaio também foi a mesma apresentada para a CHAPA 1 A, sendo efetuados três carregamentos, onde nos dois primeiros foram anotadas as deformações ocorridas no descarregamento. Para a CHAPA 3 A, a média dos carregamentos apresentou um período de linearidade até a carga aproximada de 70 daN, como observa-se nos valores apresentados na tabela 11 ou pela figura 44. A partir deste ponto, começou um período não linear que ocorreu até, aproximadamente, o final do carregamento.

A partir deste instante, uma face da chapa começou a ser tracionada e a outra a ser comprimida. A retirada dos relógios de leitura, ocorreu logo após se ultrapassar o valor teórico do limite de proporcionalidade, procurando não danificar a chapa, para a futura montagem do painel.

A chapa onde foi instalado o relógio 1 sofreu menos deformação do que a chapa onde foi instalado o relógio 2. O painel apresentou um comportamento não linear a partir da carga aproximada de 3500 daN. Um pouco após os 4500 daN, os relógios foram retirados, como pode ser observado na tabela 12 e figura 45. Uma justificativa para a menor deformação da face onde foi instalado o relógio 1, foi devido à alguma excentricidade, difícil de ser avaliada, na face onde se instalou esse relógio. Para esse painel (PAINEL 3 A) a ruptura aconteceu em 8793 daN. Este painel poderia ter suportado carga superior, se o montante empregado não apresentasse nenhum tipo de defeito, ou mesmo, uma pequena excentricidade da carga aplicada pode ter provocado a não deformação desta face. Como observa-se na figura 39, este painel rompeu-se no montante que apresentava um nó. Pela figura verifica-se nitidamente a ruptura. As figuras 42 e 43 mostram, respectivamente, a CHAPA 3 A e o PAINEL 3 A, sendo ensaiados. Na figura 41, relativa ao painel já rompido, é possível se ver o painel como um todo e a ruptura mostrada em destaque.



FIGURA 41 – Detalhe do rompimento no nó do montante de pinus.



FIGURA 42 – CHAPA 3 A de madeira aglomerada atingindo a flambagem.

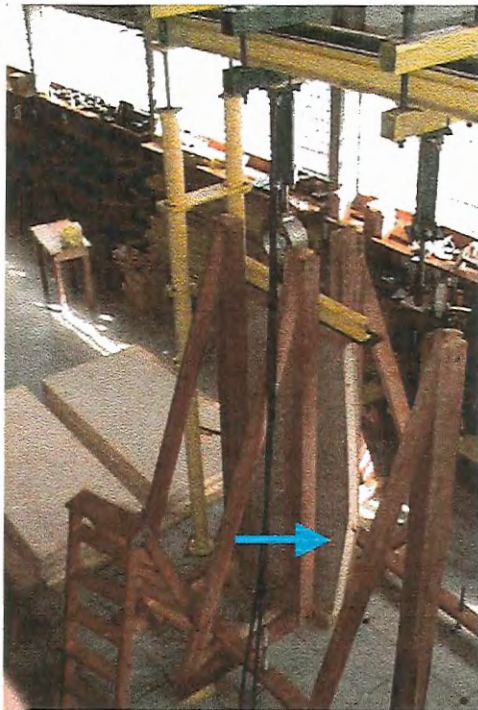


Figura 43 – PAINEL 3 A de madeira aglomerada podendo-se observar o painel rompido no nó, indicado pela seta.

TABELA 11 - Média das leituras dos três carregamentos para a CHAPA 3 A

Divisões	Carga	Exten.A		Exten.B	
unidades	daN	leitura microns	Diferen. mm	leitura microns	Diferen. mm
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5	9,0	0,8	0,830	1,2	1,2000
10	18,0	0,8	-0,030	1,5	0,3000
15	27,0	1,0	0,200	3,7	2,2000
20	36,0	1,7	0,700	4,8	1,1000
25	45,0	1,8	0,100	6,7	1,9000
30	54,0	2,8	1,000	8,8	2,1000
35	63,0	3,7	0,900	11,5	2,7000
40	72,0	5,3	1,600	13,7	2,2000
45	81,0	6,8	1,500	16,7	3,0000
50	90,0	8,3	1,500	19,7	3,0000
55	99,0	10,0	1,700	22,7	3,0000
60	108,0	12,0	2,000	27,0	4,3000
65	117,0	14,3	2,300	30,7	3,7000
70	126,0	17,3	3,000	35,0	4,3000
75	135,0	20,3	3,000	40,0	5,0000
80	144,0	24,7	4,400	49,7	9,7000

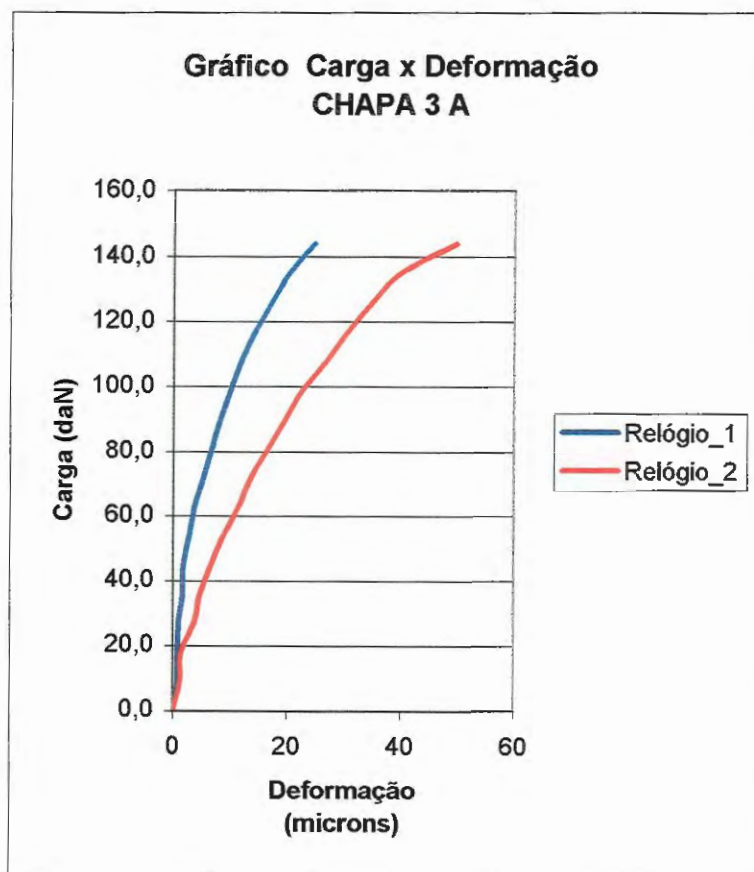


FIGURA 44 - Média dos carregamentos para a CHAPA 3 A

TABELA 12 - Média das leituras dos três carregamentos para o PAINEL 3 A

Divisões	Carga	Exten.A		Exten.B	
		Leitura	Diferen.	Leitura	Diferen.
unidades	daN	mícrons	mm	mícrons	mm
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	169,0	11,0	16,5	-0,2	-0,3
20	338,0	21,7	16,1	-0,5	-0,5
30	507,0	32,3	15,9	-1,0	-0,8
40	676,0	43,7	17,1	-1,3	-0,5
50	845,0	55,0	17,0	-1,3	0,0
60	1014,0	67,7	19,1	-0,3	1,5
70	1183,0	79,3	17,4	-0,3	0,0
80	1352,0	90,0	16,1	-1,0	-1,1
90	1521,0	104,7	22,1	-0,8	0,3
100	1690,0	117,0	18,5	-0,7	0,2
110	1859,0	134,0	25,5	-0,5	0,3
120	2028,0	146,7	19,1	-0,7	-0,3
130	2197,0	157,3	15,9	-0,8	-0,2
140	2366,0	173,0	23,6	-1,0	-0,3
150	2535,0	182,7	14,6	-1,3	-0,5
160	2704,0	195,0	18,5	-2,2	-1,4
170	2873,0	211,3	24,5	-3,3	-1,7
180	3042,0	226,3	22,5	-4,3	-1,5
190	3211,0	239,7	20,1	-5,2	-1,4
200	3380,0	253,0	20,0	-5,5	-0,5
210	3549,0	268,0	22,5	-6,5	-1,5
220	3718,0	282,7	22,1	-7,5	-1,5
230	3887,0	295,0	18,5	-9,3	-2,7
240	4056,0	311,7	25,1	-9,8	-0,8
250	4225,0	328,0	24,5	-10,5	-1,1
260	4394,0	343,0	22,5	-12,2	-2,6
270	4563,0	359,0	24,0	-14,2	-3,0
Prup = 8.793 daN					

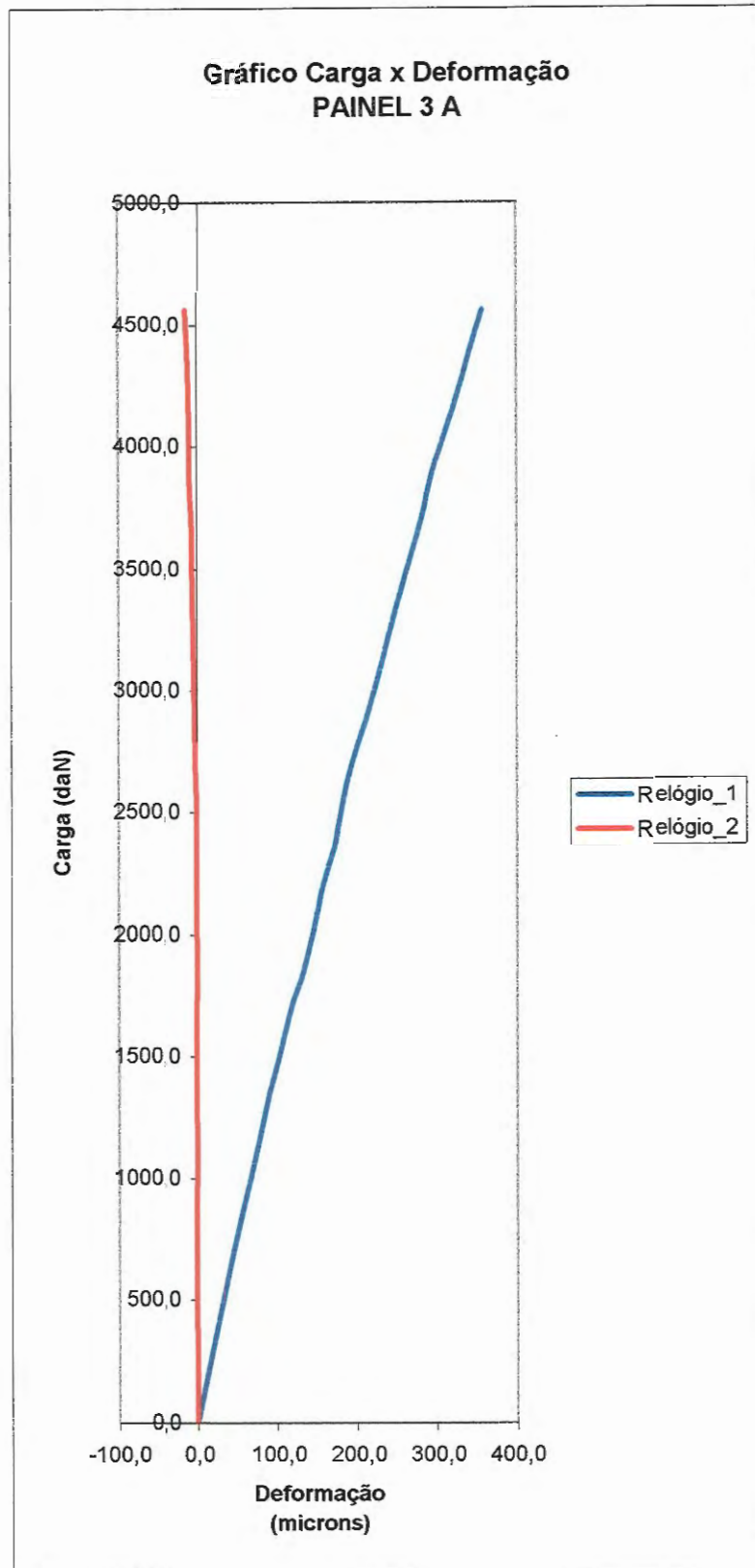


FIGURA 45 - Média dos carregamentos para o PAINEL 3 A

Para estes dois painéis, a metodologia de ensaio também foi a mesma apresentada para a CHAPA 1 A, sendo efetuados três carregamentos, onde nos dois primeiros foram anotadas as deformações ocorridas no descarregamento.

- **PAINEL 4 A**

As chapas de madeira aglomerada, utilizadas na composição do PAINEL 4 A, são constituídas por resina de elevado teor de tanino em comparação às chapas utilizadas para os painéis anteriores. O procedimento de ensaio foi o mesmo descrito anteriormente, utilizando o mesmo equipamento de ensaio. Os montantes utilizados na montagem do painel eram de cedrinho.

A proposta do ensaio era a de realizar o carregamento até se obter a ruptura do painel. Para este ensaio, foi utilizada célula de carga com capacidade de 10 toneladas. Entretanto, não foi possível levar o painel à ruptura, porque a carga máxima conseguida no ensaio foi de 8117 daN.

Segundo cálculos realizados anteriormente a ruptura do painel deveria acontecer com carga próxima a 9500 daN.

Para continuar o ensaio a idéia foi a de utilizar uma célula de carga de maior capacidade. São apresentados a seguir os resultados obtidos no ensaio, como pode-se observar na tabela 13 e figura 46.

- **PAINEL 5 A**

As chapas de madeira aglomerada, utilizadas na composição do PAINEL 5 A, foram as mesmas utilizadas para o PAINEL 4 A, ou seja, compostas por chapas com resina de elevado teor de tanino. O procedimento de ensaio foi o mesmo descrito anteriormente, utilizando-se do mesmo equipamento de ensaio. Os montantes utilizados na montagem do painel eram de cedrinho.

A proposta do ensaio era a de realizar o carregamento até se obter a ruptura do painel. Para este ensaio foi utilizada célula de carga de 10 toneladas. Assim como no PAINEL 4 A não foi possível levar o painel à ruptura, conseguindo-se carga máxima de 8442 daN. Segundo cálculos realizados anteriormente, a ruptura do painel deveria acontecer com carga próxima a 9500 daN.

São apresentados, a seguir, os resultados obtidos no ensaio, como pode-se observar na tabela 14 e figura 47.

TABELA 13 - Média das leituras dos três carregamentos para o PAINEL 4 A

CARR.	CARGA	Leit 1A	DIF	Leit2A	DIF	Leit 1B	DIF	Leit 2B	DIF	Leit 1C	DIF	Leit 2C	DIF	MÉDIA 1	MÉDIA 2
unidad	daN	microns	mm	microns	mm	microns	mm	microns	mm	microns	mm	microns	mm	microns	microns
0	0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20	216,5	0,0	0,00	4,0	4,0	0,0	0,0	5,0	5,0	0,0	0,0	5,0	5,0	0,0	4,7
40	432,9	0,0	0,00	6,0	2,0	0,0	0,0	10,0	5,0	0,0	0,0	11,0	6,0	0,0	9,0
60	649,4	0,0	0,00	14,0	8,0	0,0	0,0	16,0	6,0	0,0	0,0	18,0	7,0	0,0	16,0
80	865,8	2,0	2,00	18,0	4,0	1,0	1,0	22,0	6,0	0,0	0,0	24,0	6,0	1,0	21,3
100	1082,3	3,0	1,00	23,0	5,0	4,0	3,0	28,0	6,0	4,0	4,0	31,0	7,0	3,7	27,3
120	1298,8	8,0	5,00	29,0	6,0	8,0	4,0	34,0	6,0	7,0	3,0	36,0	5,0	7,7	33,0
140	1515,2	11,0	3,00	34,0	5,0	12,0	4,0	40,0	6,0	12,0	5,0	42,0	6,0	11,7	38,7
160	1731,7	15,0	4,00	40,0	6,0	16,0	4,0	46,0	6,0	16,0	4,0	48,0	6,0	15,7	44,7
180	1948,1	19,0	4,00	47,0	7,0	21,0	5,0	53,0	7,0	20,0	4,0	55,0	7,0	20,0	51,7
200	2164,6	21,0	2,00	54,0	7,0	23,0	2,0	60,0	7,0	23,0	3,0	62,0	7,0	22,3	58,7
220	2381,1	24,0	3,00	61,0	7,0	27,0	4,0	66,0	6,0	26,0	3,0	69,0	7,0	25,7	65,3
240	2597,5	26,0	2,00	68,0	7,0	30,0	3,0	74,0	8,0	29,0	3,0	76,0	7,0	28,3	72,7
260	2814,0	28,0	2,00	77,0	9,0	33,0	3,0	82,0	8,0	33,0	4,0	84,0	8,0	31,3	81,0
280	3030,4	30,0	2,00	86,0	9,0	35,0	2,0	94,0	12,0	35,0	2,0	92,0	8,0	33,3	90,7
300	3246,9	31,0	1,00	95,0	9,0	37,0	2,0	99,0	5,0	37,0	2,0	99,0	7,0	35,0	97,7
320	3463,4	33,0	2,00	105,0	10,0	40,0	3,0	105,0	6,0	40,0	3,0	108,0	9,0	37,7	106,0
340	3679,8	34,0	1,00	115,0	10,0	42,0	2,0	112,0	7,0	41,0	1,0	115,0	7,0	39,0	114,0
360	3896,3	35,0	1,00	124,0	9,0	43,0	1,0	120,0	8,0	43,0	2,0	122,0	7,0	40,3	122,0
380	4112,7	36,0	1,00	134,0	10,0	44,0	1,0	130,0	10,0	45,0	2,0	131,0	9,0	41,7	131,7
400	4329,2	37,0	1,00	144,0	10,0	45,0	1,0	139,0	9,0	46,0	1,0	141,0	10,0	42,7	141,3
420	4545,7	37,0	0,00	156,0	12,0	46,0	1,0	148,0	9,0	47,0	1,0	150,0	9,0	43,3	151,3
440	4762,1	37,0	0,00	168,0	12,0	47,0	1,0	158,0	10,0	48,0	1,0	160,0	10,0	44,0	162,0
460	4978,6	38,0	1,00	182,0	14,0	48,0	1,0	168,0	10,0	48,0	0,0	170,0	10,0	44,7	173,3
480	5195,0	38,0	0,00	197,0	15,0	48,0	0,0	180,0	12,0	48,0	0,0	183,0	13,0	44,7	186,7
500	5411,5	38,0	0,00	213,0	16,0	48,0	0,0	192,0	12,0	48,0	0,0	194,0	11,0	44,7	199,7

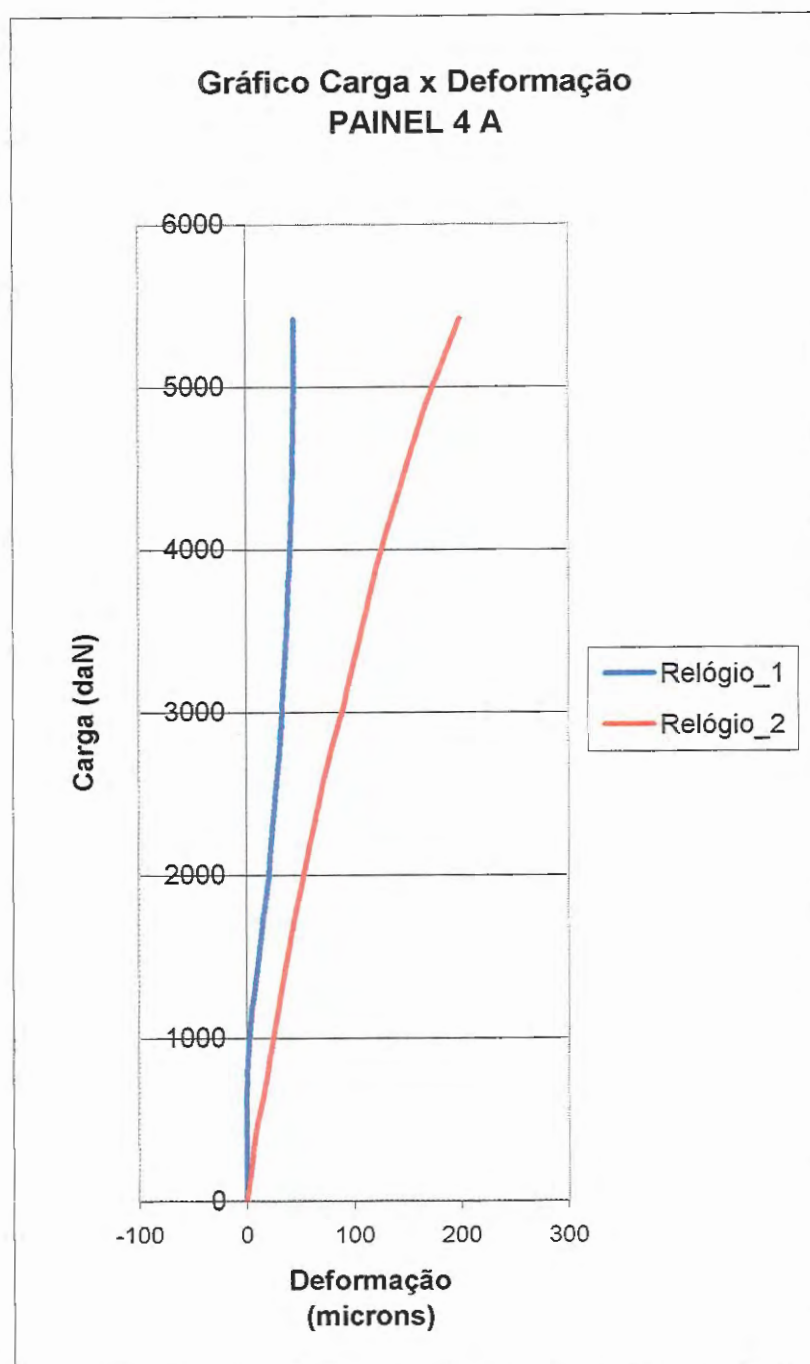


FIGURA 46 - Média dos carregamentos para o PAINEL 4 A

TABELA 14 - Média das leituras dos três carregamentos para o PAINEL 5 A

CARR.	CARGA	Leit 1A	DIF	Leit2A	DIF	Leit 1B	DIF	Leit 2B	DIF	Leit 1C	DIF	Leit 2C	DIF	MÉDIA 1	MÉDIA 2
unidad	daN	microns	mm	microns	mm	microns	mm	microns	mm	microns	mm	microns	mm	microns	microns
0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20	216,5	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0	0,0	2,0	2,0	0,0	0,0	3,0	3,0	0,3	2,0
40	432,9	2,0	1,0	8,0	7,0	0,0	0,0	9,0	2,0	0,0	0,0	10,0	7,0	0,7	9,0
60	649,4	2,0	0,0	14,0	6,0	0,0	0,0	15,0	6,0	0,0	0,0	16,0	6,0	0,7	15,0
80	865,8	2,0	0,0	20,0	6,0	2,0	2,0	21,0	6,0	0,5	0,5	20,0	4,0	1,5	20,3
100	1082,3	2,0	0,0	26,0	6,0	3,0	1,0	26,0	5,0	2,0	1,5	27,0	7,0	2,3	26,3
120	1298,8	2,0	0,0	32,0	6,0	5,0	2,0	32,0	6,0	3,0	1,0	33,0	6,0	3,3	32,3
140	1515,2	2,0	0,0	39,0	7,0	7,0	2,0	37,0	5,0	5,0	2,0	39,0	6,0	4,7	38,3
160	1731,7	3,0	1,0	45,0	6,0	9,0	2,0	42,0	5,0	7,0	2,0	45,0	6,0	6,3	44,0
180	1948,1	5,0	2,0	50,0	5,0	11,0	2,0	45,0	3,0	9,0	2,0	49,0	4,0	8,3	48,0
200	2164,6	8,0	3,0	55,0	5,0	15,0	4,0	51,0	6,0	12,0	3,0	54,0	5,0	11,7	53,3
220	2381,1	11,0	3,0	60,0	5,0	20,0	5,0	56,0	5,0	16,0	4,0	57,0	3,0	15,7	57,7
240	2597,5	15,0	4,0	65,0	5,0	23,0	3,0	60,0	4,0	20,0	4,0	63,0	6,0	19,3	62,7
260	2814,0	17,0	2,0	70,0	5,0	29,0	6,0	62,0	2,0	25,0	5,0	65,0	2,0	23,7	65,7
280	3030,4	22,0	5,0	73,0	3,0	35,0	6,0	66,0	4,0	30,0	5,0	67,0	2,0	29,0	68,7
300	3246,9	28,0	6,0	76,0	3,0	40,0	5,0	67,0	1,0	36,0	6,0	69,0	2,0	34,7	70,7
320	3463,4	34,0	6,0	78,0	2,0	45,0	5,0	69,0	2,0	40,0	4,0	74,0	5,0	39,7	73,7
340	3679,8	40,0	6,0	80,0	2,0	53,0	8,0	70,0	1,0	46,0	6,0	75,0	1,0	46,3	75,0
360	3896,3	47,0	7,0	82,0	2,0	59,0	6,0	72,0	2,0	54,0	8,0	76,0	1,0	53,3	76,7
380	4112,7	54,0	7,0	83,0	1,0	64,0	5,0	74,0	2,0	61,0	7,0	77,0	1,0	59,7	78,0
400	4329,2	59,0	5,0	85,0	2,0	74,0	10,0	75,0	1,0	68,0	7,0	80,0	3,0	67,0	80,0
420	4545,7	66,0	7,0	85,0	0,0	78,0	4,0	78,0	3,0	75,0	7,0	83,0	3,0	73,0	82,0
440	4762,1	75,0	9,0	86,0	1,0	87,0	9,0	80,0	2,0	80,0	5,0	84,0	1,0	80,7	83,3
460	4978,6	83,0	8,0	86,0	0,0	94,0	7,0	81,0	1,0	88,0	8,0	85,0	1,0	88,3	84,0
480	5195,0	94,0	11,0	86,0	0,0	102,0	8,0	83,0	2,0	95,0	7,0	87,0	2,0	97,0	85,3
500	5411,5	104,0	10,0	86,0	0,0	110,0	8,0	85,0	2,0	102,0	7,0	89,0	2,0	105,3	86,7

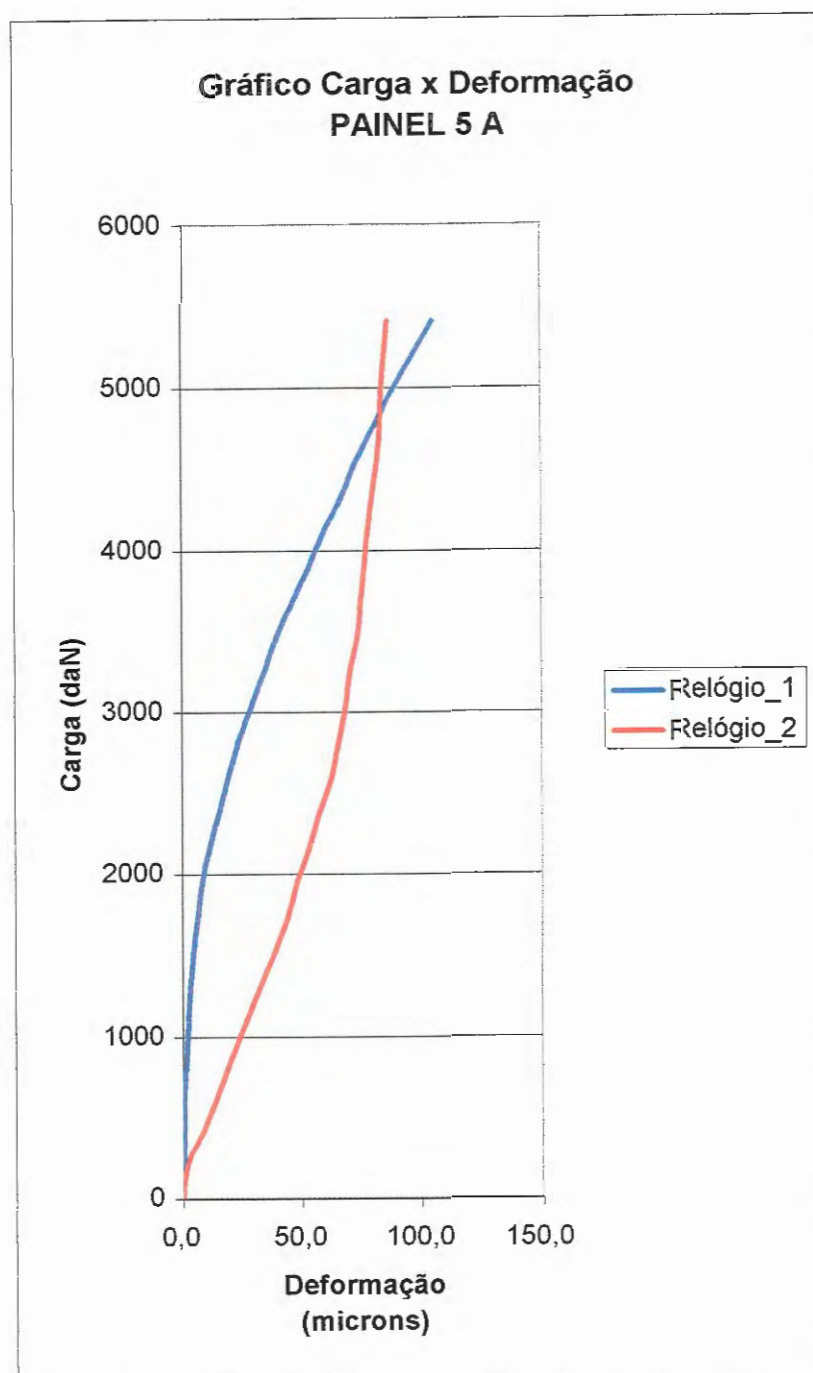


FIGURA 47 - Média dos carregamentos para o PAINEL 5 A

4.3.2 - Madeira Compensada

A seguir, são apresentados os resultados obtidos das chapas e painéis verticais compostos por madeira aglomerada de 1,0 cm e 1,5 cm de espessura. Para todas as chapas e painéis, apresentados a seguir, a metodologia de ensaio adotada foi a mesma da CHAPA 1 A, sendo efetuados três carregamentos, onde nos dois primeiros foram anotadas as deformações ocorridas no descarregamento.

- **CHAPA 1 C - PAINEL 1 C**

A tabela 15 e figura 50 referem-se à média dos três carregamentos para a CHAPA 1 C. Até a carga de 70 daN as chapas apresentaram comportamento linear, isto é, com deformações proporcionais às cargas. A chapa começou a sofrer flambagem a partir de 90 daN. Considerou-se precoce o início do processo de flambagem das chapas, podendo isto ser justificado pela esbeltez da chapa.

A chapa apresentou um comportamento linear, isto é, com concordância de deformações até, aproximadamente, 130 daN. Os ensaios foram interrompidos quando a carga aplicada estava próxima de 140 daN. Optou-se por não romper a chapa, pensando em aproveitá-la para compor o painel, não tanto por questões econômicas, mas, principalmente, por já se conhecer as características dessa chapa.

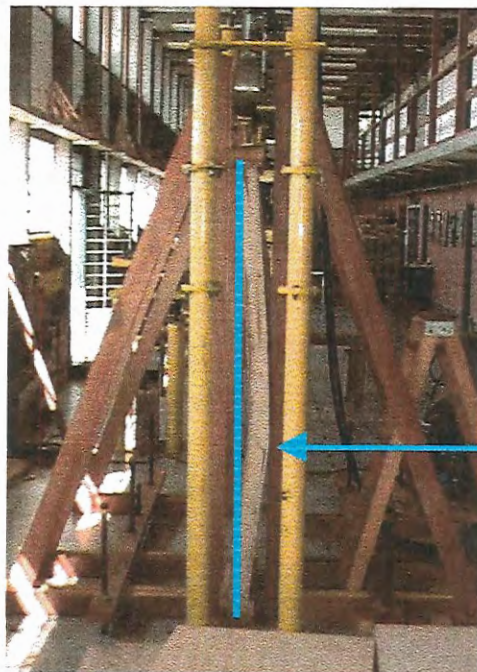
Quando ensaiado o PAINEL 1 C, observou-se, na média dos três carregamentos, comportamento linear até, aproximadamente, 5500 daN. Observou-se, desde o início, que a chapa onde esteve instalado o relógio 1 sofreu tração praticamente durante todo o período de carregamento, e a chapa onde foi instalado o relógio 2 sofreu compressão, como verifica-se pelos resultados apresentados na tabela 16 e figura 51.

O ensaio foi conduzido até a ruptura apenas no terceiro carregamento, onde obteve-se a carga de 8100 daN.

As figuras 48 e 49 mostram a CHAPA 1C e o PAINEL 1 C, montados no equipamento de ensaio disponível no LaMEM. Tanto na chapa como no painel, pôde-se verificar a flambagem como está indicado pela linha, destacando a deformação sofrida pelos mesmos.



FIGURA 48 – CHAPA 1 C de madeira compensada atingindo a flambagem.



Ruptura no
montante de pinus

FIGURA 49 – PAINEL 1 C de madeira compensada atingindo a flambagem.

TABELA 15 - Média de leituras dos três carregamentos para CHAPA 1 C

Divisões	Carga	Exten.A		Exten.B	
		Leitura	Diferen.	Leitura	Diferen.
unidades	daN	microns	mm	microns	mm
5	9,0	2,0	2,0	1,8	3,2
10	18,0	5,5	3,5	5,0	3,2
15	27,0	10,7	5,2	11,0	6,0
20	36,0	16,3	5,7	19,0	8,0
25	45,0	24,0	7,7	26,7	7,7
30	54,0	32,0	8,0	35,7	9,0
35	63,0	41,7	9,7	46,7	11,0
40	72,0	52,3	10,7	57,0	10,3
45	81,0	71,0	18,7	71,3	14,3
50	90,0	86,7	15,7	77,3	6,0
55	99,0	108,3	21,7	94,7	17,3
60	108,0	136,7	28,3	116,7	22,0
65	117,0	175,0	38,3	141,7	25,0
70	126,0	198,3	23,3	186,7	45,0
75	135,0	243,3	45,0	231,7	45,0

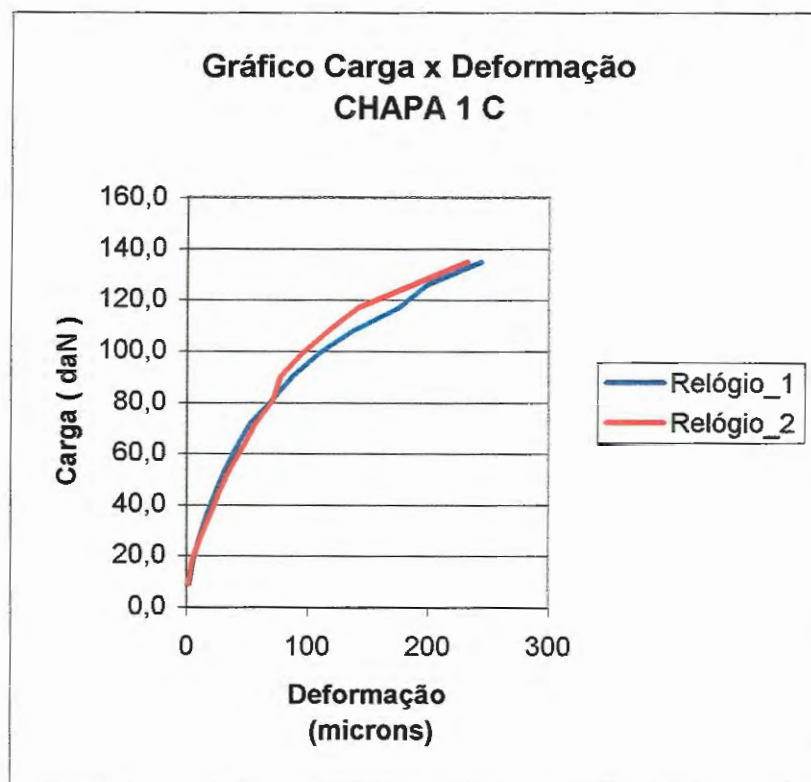


FIGURA 50 - Média de leituras dos três carregamentos para CHAPA 1 C

TABELA 16 - Média de leituras dos três carregamentos para PAINEL 1 C

Divisões	Carga	Exten.A	Diferen.	Exten.B	Diferen.
	daN	Leitura	mm	Leitura	mm
10	169,0	1,0	1,0	2,2	2,2
20	338,0	4,3	3,3	3,7	1,5
30	507,0	8,0	3,7	4,5	0,8
40	676,0	12,7	4,7	6,0	1,5
50	845,0	17,0	4,3	7,2	1,2
60	1014,0	21,0	4,0	7,7	0,5
70	1183,0	25,3	4,3	9,2	1,5
80	1352,0	30,3	5,0	10,8	1,6
90	1521,0	35,0	4,7	12,8	2,0
100	1690,0	40,0	5,0	14,3	1,5
110	1859,0	45,7	5,7	16,3	2,0
120	2028,0	50,3	4,6	18,7	2,4
130	2197,0	55,3	5,0	21,0	2,3
140	2366,0	60,7	5,4	24,0	3,0
150	2535,0	66,0	5,3	26,3	2,3
160	2704,0	71,7	5,7	28,7	2,4
170	2873,0	76,3	4,6	32,0	3,3
180	3042,0	81,7	5,4	35,0	3,0
190	3211,0	87,7	6,0	38,7	3,7
200	3380,0	92,7	5,0	43,0	4,3
210	3549,0	97,7	5,0	46,7	3,7
220	3718,0	103,7	6,0	51,0	4,3
230	3887,0	109,3	5,6	56,0	5,0
240	4056,0	116,3	7,0	60,0	4,0
250	4225,0	120,7	4,4	63,7	3,7
260	4394,0	126,7	6,0	67,3	3,6
270	4563,0	131,7	5,0	71,0	3,7
280	4732,0	137,7	6,0	75,0	4,0
290	4901,0	143,3	5,6	78,3	3,3
300	5070,0	148,3	5,0	82,0	3,7
310	5239,0	154,0	5,7	86,0	4,0
320	5408,0	161,0	7,0	90,3	4,3
330	5577,0	164,0	3,0	94,0	3,7
340	5746,0	168,0	4,0	97,0	3,0
350	5915,0	171,0	3,0	100,0	3,0
360	6084,0	176,0	5,0	104,0	4,0
370	6253,0	185,0	9,0	105,0	1,0
380	6422,0	188,0	3,0	109,0	4,0
390	6591,0	191,0	3,0	112,0	3,0
400	6760,0	194,0	3,0	114,0	2,0
410	6929,0	200,0	6,0	117,0	3,0
420	7098,0	206,0	6,0	120,0	3,0
430	7267,0	212,0	6,0	121,0	1,0
440	7436,0	220,0	8,0	120,0	-1,0
450	7605,0	226,0	6,0	120,0	0,0
460	7774,0	235,0	9,0	122,0	2,0
470	7943,0	242,0	7,0	123,0	1,0
480	8112,0	255,0	13,0	120,0	-3,0
490	8281,0	265,0	10,0	118,0	-2,0
500	8450,0	275,0	10,0	112,0	-6,0
510	8619,0	293,0	18,0	105,0	-7,0

Prup = 8100 daN

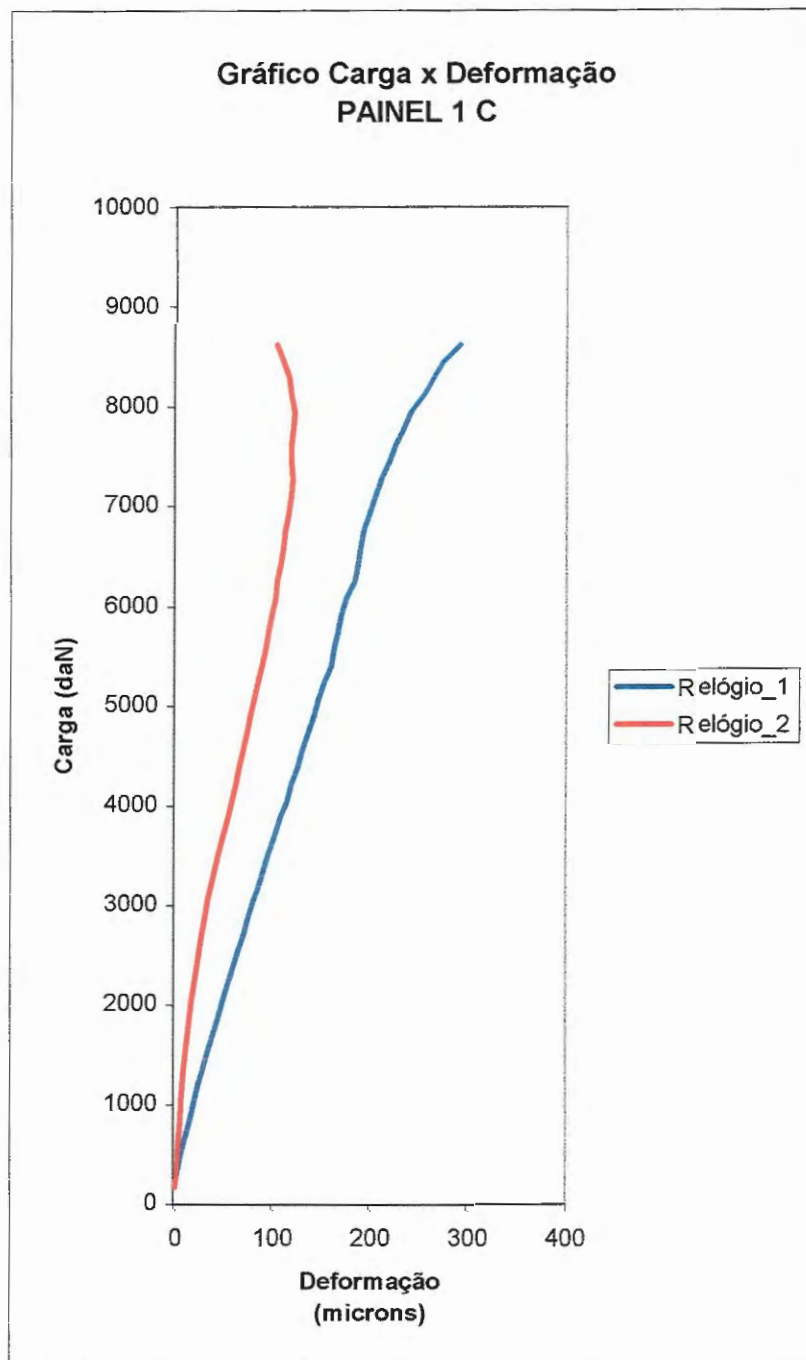


FIGURA 51 - Média dos carregamentos para PAINEL 1 C

- **CHAPA 2 C - PAINEL 2 C**

Na tabela 17 e figura 54 são apresentados os resultados relativos à média dos carregamentos para a CHAPA 2 C. Observando o gráfico, verificou-se um trecho retilíneo inicial até, aproximadamente, 60 daN.

Nas duas faces, onde foram instalados os relógios, verificou-se compressão simultânea até, aproximadamente, 90 daN, embora o desenvolvimento da curva não tenha sido perfeitamente linear após 60 daN. Após esse valor, ocorreu um período de linearidade.

Após esta linearidade, o carregamento prosseguiu por mais algumas leituras, podendo-se verificar o início do processo de tração, em uma face da chapa, e de compressão, em outra face, até alcançar-se a carga aproximada de 120 daN. Entretanto, o carregamento foi interrompido, pois optou-se por não romper a chapa, pensando em aproveitá-la para compor o painel, por questões econômicas e, também, por já se conhecer as características dessa chapa.

Para o PAINEL 2 C, verificou-se, na tabela 18 e figura 55, o mesmo comportamento linear até, aproximadamente, 4500 daN. Observou-se, desde o início, que a chapa onde esteve instalado o relógio 2, sofreu tração praticamente durante todo o período de leitura e a chapa onde foi instalado o relógio 1 praticamente não sofreu deformação, podendo-se verificar uma suave tendência à compressão.

Optou-se por deixar o relógio no último carregamento apenas até o limite de proporcionalidade, para garantir a segurança do equipamento. O ensaio foi conduzido até a ruptura no terceiro carregamento, onde obteve-se a carga de ruptura de 8210 daN.

As figuras 52 e 53, mostram a CHAPA 2C e o PAINEL 2 C, montados no equipamento de ensaio disponível no LaMEM.

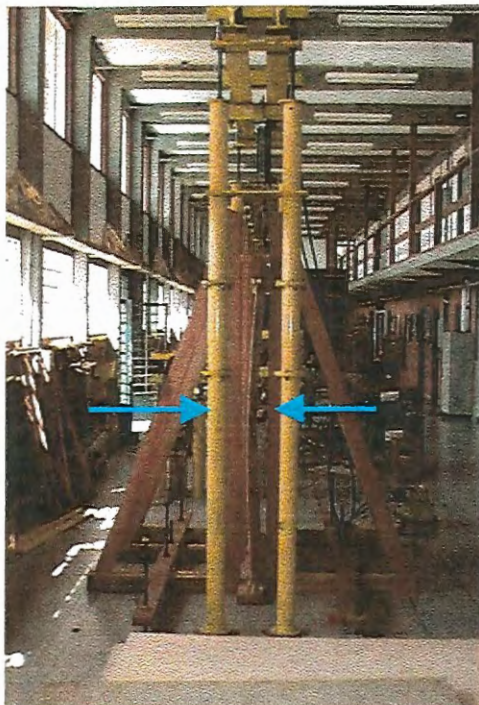


FIGURA 52 – CHAPA 2 C de madeira compensada sofrendo flambagem.



FIGURA 53 – PAINEL 2 C de madeira compensada em flambagem.

TABELA 17 - Média de leituras dos três carregamentos para CHAPA 2 C

Divisões	Carga	Exten.A		Exten.B	
		Leitura	Diferen.	Leitura	Diferen.
unidades	daN	microns	mm	microns	mm
5	9,0	2,6	2,6	4,3	4,3
10	18,0	8,7	6,1	8,0	3,7
15	27,0	14,3	5,7	14,3	6,3
20	36,0	23,0	8,7	23,3	9,0
25	45,0	29,0	6,0	29,7	6,3
30	54,0	39,3	10,3	41,0	11,3
35	63,0	50,7	11,3	53,3	12,3
40	72,0	63,3	12,7	62,7	9,3
45	81,0	83,3	20,0	85,7	23,0
50	90,0	103,3	20,0	105,0	19,3
55	99,0	136,7	33,3	116,7	11,7
60	108,0	196,7	60,0	175,0	58,3
65	117,0	235,0	38,3	218,3	43,3
70	126,0	239,0	4,0	225,0	6,7
75	135,0	243,3	4,3	231,7	6,7

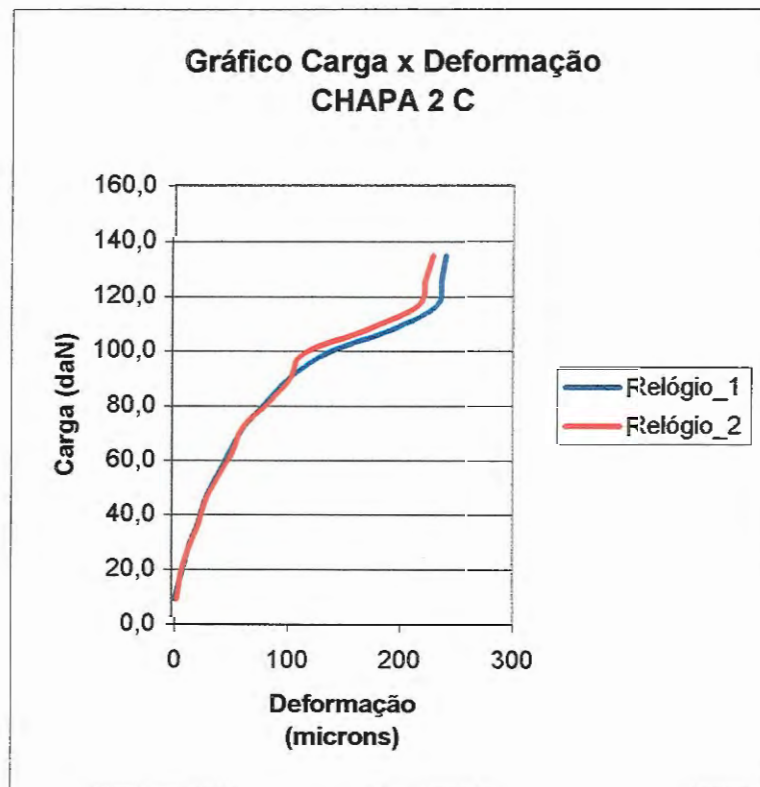


FIGURA 54 - Média de leituras dos três carregamentos para CHAPA 2 C

TABELA 18 - Média de leituras dos três carregamentos para PAINEL 2 C

Divisões	Carga	Exten.A	Diferen.	Exten.B	Diferen.
unidades	daN	Leitura	mm	Leitura	mm
10	169,0	1,2	1,2	10,0	10,0
20	338,0	2,2	1,0	20,0	10,0
30	507,0	3,2	1,0	29,7	9,7
40	676,0	4,2	1,0	39,3	9,6
50	845,0	5,3	1,1	48,3	9,0
60	1014,0	6,8	1,5	57,3	9,0
70	1183,0	8,2	1,4	67,0	9,7
80	1352,0	10,2	2,0	75,3	8,3
90	1521,0	11,3	1,1	83,0	7,7
100	1690,0	13,2	1,9	90,7	7,7
110	1859,0	15,3	2,1	96,0	5,3
120	2028,0	17,3	2,0	103,0	7,0
130	2197,0	19,5	2,2	108,0	5,0
140	2366,0	22,3	2,8	114,3	6,3
150	2535,0	24,2	1,9	120,0	5,7
160	2704,0	27,0	2,8	125,7	5,7
170	2873,0	29,3	2,3	133,0	7,3
180	3042,0	31,5	2,2	138,3	5,3
190	3211,0	34,0	2,5	145,3	7,0
200	3380,0	36,2	2,2	151,7	6,4
210	3549,0	37,8	1,6	158,7	7,0
220	3718,0	39,5	1,7	166,0	7,3
230	3887,0	39,8	0,3	175,3	9,3

Prup = 8210 daN

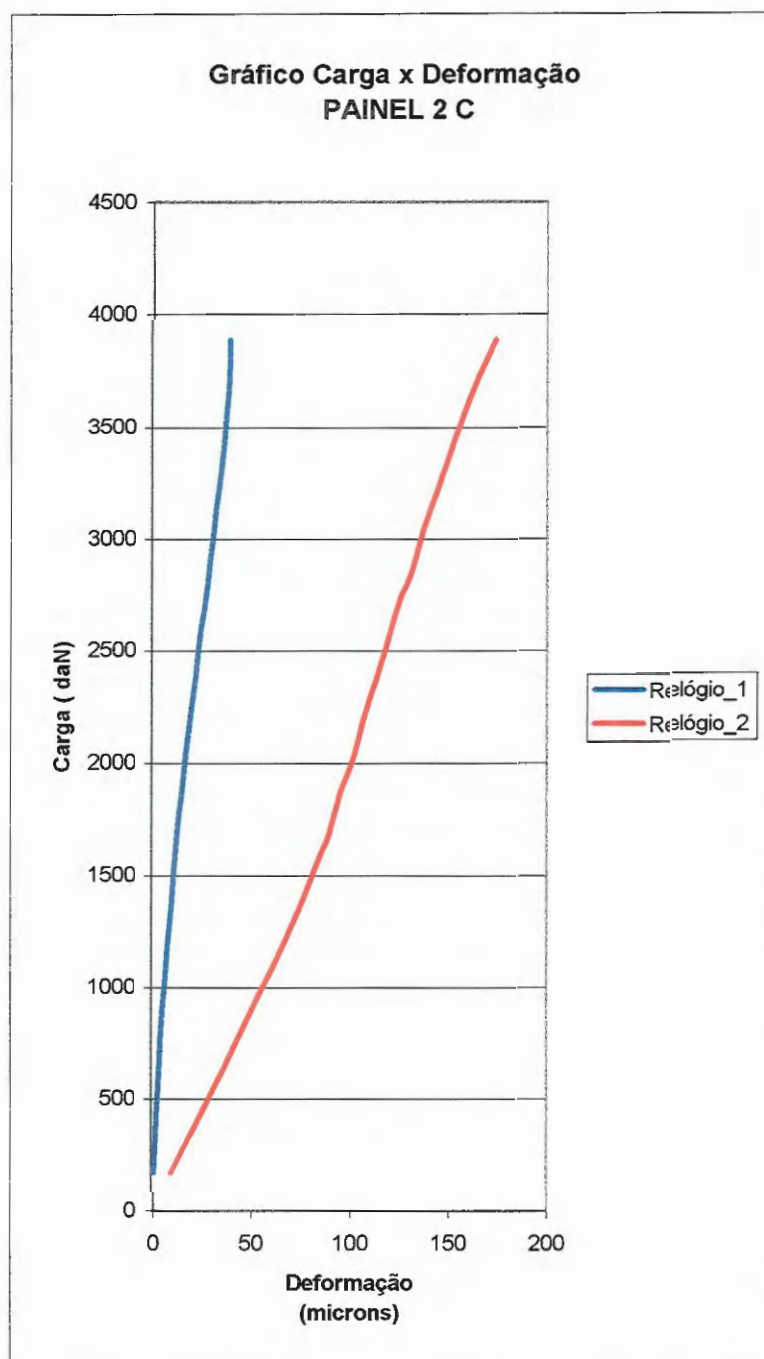


FIGURA 55 - Média dos carregamentos para PAINEL 2 C

- **CHAPA 3 C - PAINEL 3 C**

A CHAPA 3 C apresentou o mesmo comportamento em ambas as faces, podendo-se tal fato observar-se pelos resultados da tabela 19 e figura 58, onde as faces se mostraram comprimidas durante o carregamento. No instante em os resultados tendiam a serem iguais, o relógio foi retirado. Entretanto, esse novo período levaria uma face da chapa a sofrer compressão e a outra tração. Pela tendência observada, pode-se dizer que a face, onde foi instalado o relógio estaria tracionada e a face onde estava o relógio 2 estaria comprimida.

Como nessa chapa a carga atingida foi um pouco superior, optou-se pela retirada do relógio antes de se verificar a tração/compressão das faces. As leituras com os relógios comparadores foram efetuadas até, aproximadamente, 180 daN. Em seguida, optou-se por não romper a chapa, pensando em aproveitá-la para compor o painel, por questões econômicas e, também, por já se conhecer as características dessa chapa.

Com o PAINEL 3 C, verificou-se, através da tabela 20 e figura 59, que a média dos carregamentos apresentou o mesmo comportamento, no qual uma face da chapa tendia a tracionar e a outra a comprimir.

A chapa, na qual foi instalado o relógio 1, apresentou tendência à compressão, como pode-se verificar no gráfico 14, devido à curvatura apresentada, como demonstração das deformações obtidas através dos relógios comparadores. A chapa onde esteve instalado o relógio nº2 mostrou uma tendência à tração, como pode-se verificar no gráfico devido à curvatura apresentada, como demonstração das deformações obtidas através dos relógios comparadores. Para o PAINEL 3 C a ruptura aconteceu em 7645 daN.

Verificou-se que, também neste painel, ocorreu o rompimento no nó existente no montante, podendo-se justificar a ruptura em carregamento inferior aos obtidos nos painéis anteriores. Entretanto, não foi possível fotografar o montante rompido, devido ao fato deste montante ser um montante interno, sendo tal fato só verificado quando o painel foi desmontado.

As figuras 56 e 57 mostram a CHAPA 3C e o PAINEL 3 C montados no equipamento de ensaio disponível no LaMEM. Nas duas situações, verificou-se a flambagem sofrida pela chapa e pelo painel.

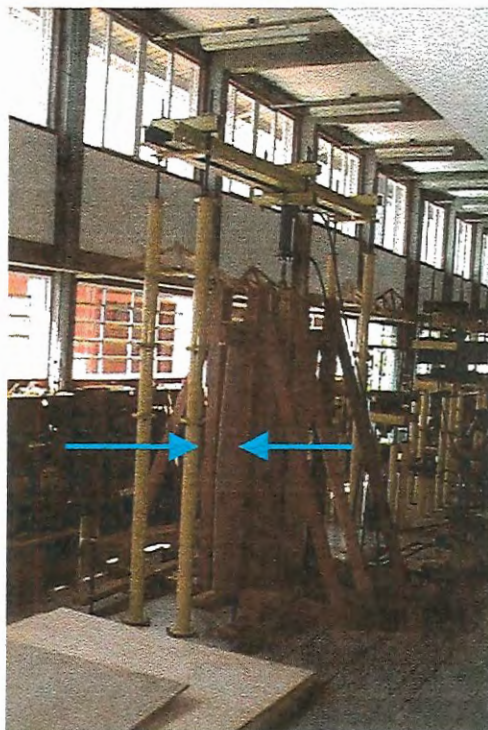


FIGURA 56 – CHAPA 3 C de madeira compensada em flambagem.



FIGURA 57 – PAINEL 3 C de madeira compensada em flambagem.

TABELA 19 - Média de leituras dos três carregamentos para CHAPA 3 C

Divisões	Carga	Exten.A		Exten.B	
		Leitura	Diferen.	Leitura	Diferen.
unidades	daN	microns	mm	microns	mm
5	9,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	18,0	0,8	0,8	0,0	0,0
15	27,0	2,3	1,5	0,5	0,5
20	36,0	3,8	1,5	1,2	0,7
25	45,0	5,3	1,5	1,5	0,3
30	54,0	8,0	2,7	2,7	1,2
35	63,0	8,3	0,3	3,5	0,8
40	72,0	11,7	3,3	4,5	1,0
45	81,0	13,8	2,2	5,7	1,2
50	90,0	17,0	3,2	7,5	1,8
55	99,0	20,7	3,7	9,7	2,2
60	108,0	23,3	2,7	12,3	2,7
65	117,0	27,3	4,0	14,3	2,0
70	126,0	31,3	4,0	17,7	3,3
75	135,0	36,3	5,0	21,0	3,3
80	144,0	41,3	5,0	26,0	5,0
85	153,0	48,3	7,0	32,0	6,0
90	162,0	56,0	7,7	39,7	7,7
95	171,0	64,7	8,7	49,7	10,0
100	180,0	79,3	14,7	62,0	12,3
105	189,0	104,0	24,7	98,3	36,3

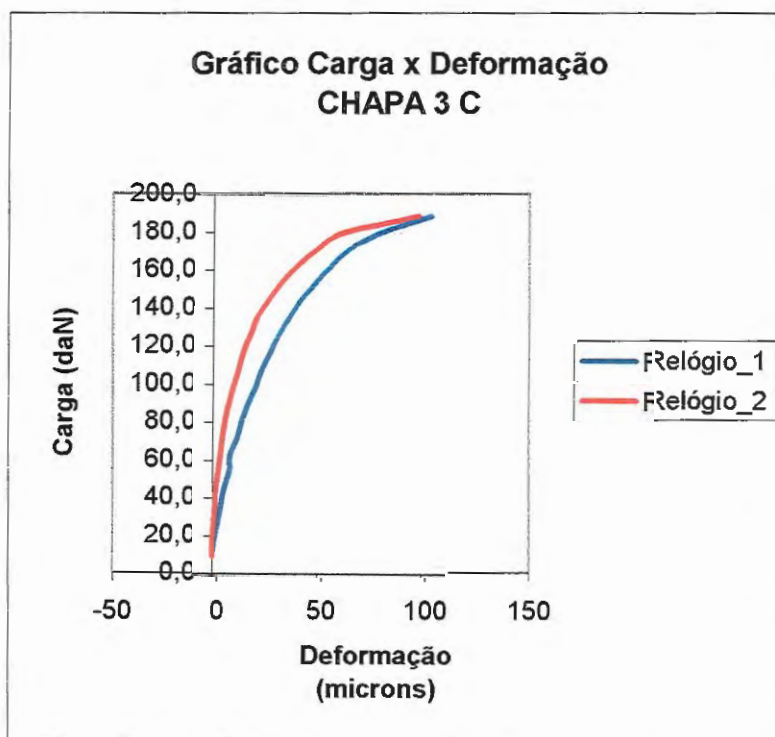


FIGURA 58 - Média de leituras dos três carregamentos para CHAPA 3 C

TABELA 20 - Média de leituras dos três carregamentos para PAINEL 3 C

Divisões	Carga	Exten.A	Diferen.	Exten.B	Diferen.
unidades	daN	Leitura	mm	Leitura	mm
10	169,0	11,0	11,0	-0,2	-0,2
20	338,0	21,7	10,7	-0,5	-0,3
30	507,0	32,3	10,6	-1,0	-0,5
40	676,0	43,7	11,4	-1,3	-0,3
50	845,0	55,0	11,3	-1,3	0,0
60	1014,0	67,7	12,7	-0,3	1,0
70	1183,0	79,3	11,6	-0,3	0,0
80	1352,0	90,0	10,7	-1,0	-0,7
90	1521,0	104,7	14,7	-0,8	0,2
100	1690,0	117,0	12,3	-0,7	0,1
110	1859,0	134,0	17,0	-0,5	0,2
120	2028,0	146,7	12,7	-0,7	-0,2
130	2197,0	157,3	10,6	-0,8	-0,1
140	2366,0	173,0	15,7	-1,0	-0,2
150	2535,0	182,7	9,7	-1,3	-0,3
160	2704,0	195,0	12,3	-2,2	-0,9
170	2873,0	211,3	16,3	-3,3	-1,1
180	3042,0	226,3	15,0	-4,3	-1,0
190	3211,0	239,7	13,4	-5,2	-0,9
200	3380,0	253,0	13,3	-5,5	-0,3
210	3549,0	268,0	15,0	-6,5	-1,0
220	3718,0	282,7	14,7	-7,5	-1,0
230	3887,0	295,0	12,3	-9,3	-1,8
240	4056,0	311,7	16,7	-9,8	-0,5
250	4225,0	328,0	16,3	-10,5	-0,7
260	4394,0	343,0	15,0	-12,2	-1,7
270	4563,0	359,0	16,0	-14,2	-2,0
Prup = 7645 daN					

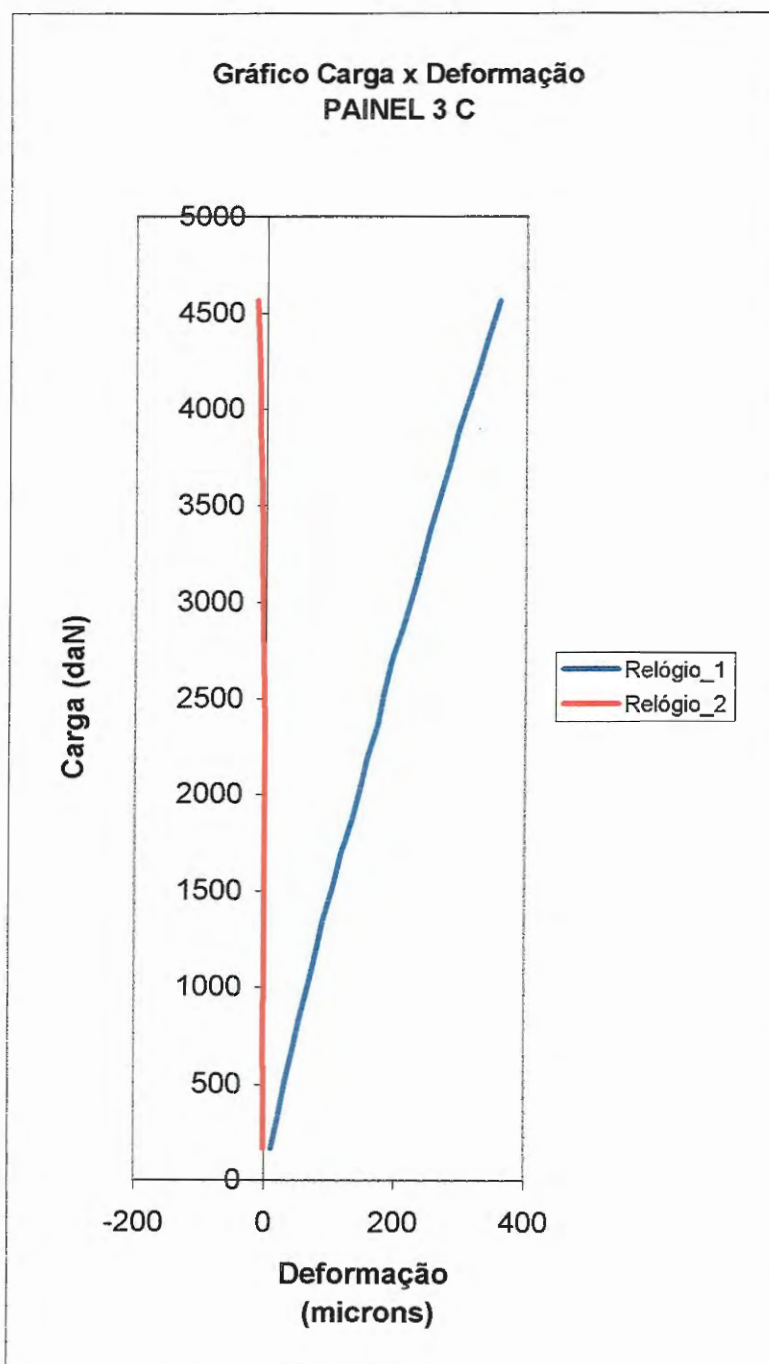


FIGURA 59- Média dos carregamentos para PAINEL 3 C

- **PAINEL 4 C**

O PAINEL 4 C foi composto por chapas de madeira aglomerada com 1,5 cm de espessura em ambas as faces. A largura do painel é de 80 cm, isto porque a chapa utilizada era de 1,60 m, cortada ao meio para compor o painel.

Este painel foi ensaiado para a verificação da carga de flambagem. Como pode-se verificar na tabela 21 e figura 60 observa-se que, a média dos três carregamentos para o painel de madeira compensada de chapas de 1,5 cm de espessura, o comportamento elástico-linear aconteceu, até, aproximadamente, 15000 daN. Observou-se, a partir da carga anterior, uma tendência da chapa, onde estava instalado o relógio 1, de sofrer tração, enquanto que a chapa, onde foi instalado o relógio 2, começou a sofrer compressão.

Entretanto, optou-se pela retirada do relógio logo após atingir-se a carga de 20000 daN, para evitar danos aos relógios comparadores instalados. A intenção era a de levar o painel à ruptura; entretanto, embora tenha sido utilizada a célula de carga de 25000 daN, a partir de certo instante não foi possível aumentar a carga, pois o equipamento utilizado não atingiu a carga máxima esperada.

A carga máxima conseguida foi pouco mais de 21500 daN. A carga de ruptura esperada estava próxima de 25000 daN; entretanto, não pôde-se obter um valor experimental para a ruptura deste painel.

A seguir, estão apresentados na tabela 21 e figura 60, os resultados experimentais para este painel.

TABELA 21 - Média das leituras de três carregamentos para PAINEL 4 C

CARRER.	CARGA (daN)	MEDIA REL_1	DIF 1 (mm)	MEDIA REL_2	DIF 2 (mm)
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
50	541,2	3,0	3,0	1,3	1,3
100	1082,3	9,0	6,0	4,7	3,3
150	1623,5	14,7	5,7	8,0	3,3
200	2164,6	19,7	5,0	10,7	2,7
250	2705,8	24,3	4,7	13,3	2,7
300	3246,9	28,0	3,7	15,3	2,0
350	3788,1	34,0	6,0	18,0	2,7
400	4329,2	38,0	4,0	20,0	2,0
450	4870,4	41,3	3,3	22,7	2,7
500	5411,5	45,3	4,0	25,0	2,3
550	5952,7	50,7	5,3	27,7	2,7
600	6493,8	54,3	3,7	30,0	2,3
650	7035,0	60,0	5,7	33,0	3,0
700	7576,1	63,7	3,7	36,0	3,0
750	8117,3	69,3	5,7	39,7	3,7
800	8658,4	75,0	5,7	43,3	3,7
850	9199,6	80,7	5,7	47,0	3,7
900	9740,7	85,7	5,0	50,7	3,7
950	10281,9	92,3	6,7	54,3	3,7
1000	10823,0	98,0	5,7	58,3	4,0
1050	11364,2	105,3	7,3	62,7	4,3
1100	11905,3	111,7	6,3	67,3	4,7
1150	12446,5	118,0	6,3	71,0	3,7
1200	12987,6	121,3	3,3	73,7	2,7
1250	13528,8	126,0	4,7	76,7	3,0
1300	14069,9	131,3	5,3	79,7	3,0
1350	14611,1	139,3	8,0	84,0	4,3
1400	15152,2	145,0	5,7	87,3	3,3
1450	15693,4	151,0	6,0	91,3	4,0
1500	16234,5	157,3	6,3	95,7	4,3
1550	16775,7	163,0	5,7	99,7	4,0
1600	17316,8	171,0	8,0	104,0	4,3
1650	17858,0	178,7	7,7	109,0	5,0
1700	18399,1	188,7	10,0	116,7	7,7
1750	18940,3	197,7	9,0	123,0	6,3
1800	19481,4	206,0	8,3	129,7	6,7
1850	20022,6	214,7	8,7	137,0	7,3
1900	20563,7	224,7	10,0	145,0	8,0
1950	21104,9	236,3	11,7	154,0	9,0
2000	21646,0	247,3	11,0	165,3	11,3

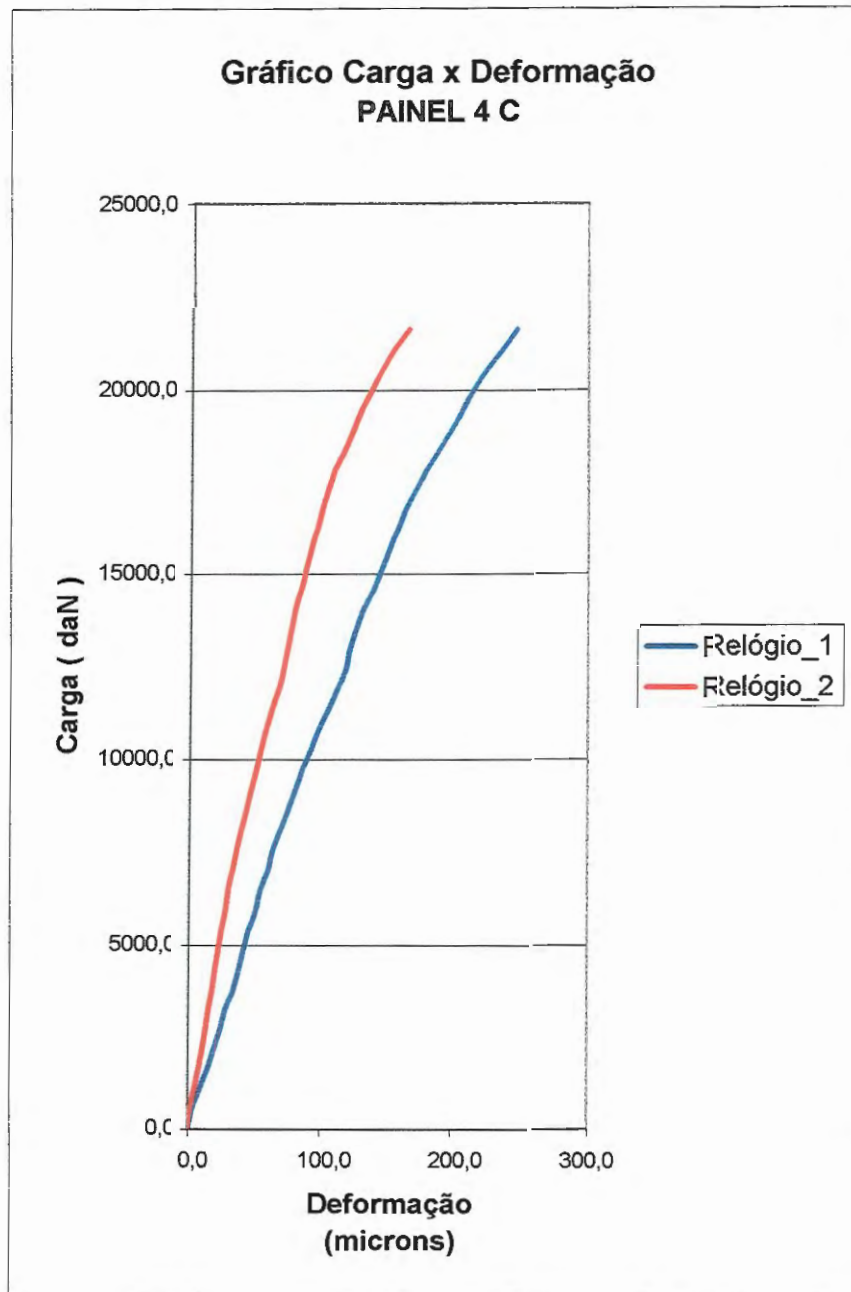


FIGURA 60 - Média dos caarregamentos para o PAINEL 4 C

4.4 – ENSAIO DE PAINÉIS HORIZONTAIS

Neste item são apresentados os resultados dos ensaios horizontais de painéis de madeira aglomerada e compensada.

4.4.1 – Madeira Aglomerada

A seguir, são apresentados os resultados obtidos nos ensaios de painéis horizontais compostos por dois tipos de chapa de madeira aglomerada.

- **PAINEL 6 A**

Observando os resultados obtidos na tabela 22 e figura 63, referentes à média dos três carregamentos para o PAINEL 6 A, verificou-se um comportamento linear durante o carregamento, acontecendo apenas pequenas oscilações quando a carga aplicada era de, aproximadamente, 1200 daN, justificado pelo início da ruptura do montante. O relógio comparador, colocado para a leitura do deslocamento vertical, foi tirado no final do limite de proporcionalidade, procurando-se evitar danos ao equipamento.

A ruptura do painel ocorreu em 1570 daN, carga essa que foi abaixo do valor esperado. Isto pode ser justificado pelo defeito encontrado no montante externo do painel (montante de pinus, que apresentava nós ao longo de seu comprimento). Na montagem de novos painéis cuidados com a escolha do montante devem ser rigorosamente considerados, evitando-se problemas como o acontecido neste ensaio.

A figura 61 mostra o painel de piso sendo carregado, podendo-se verificar a deformação sofrida pelo conjunto, através da linha elástica indicada na figura 61.

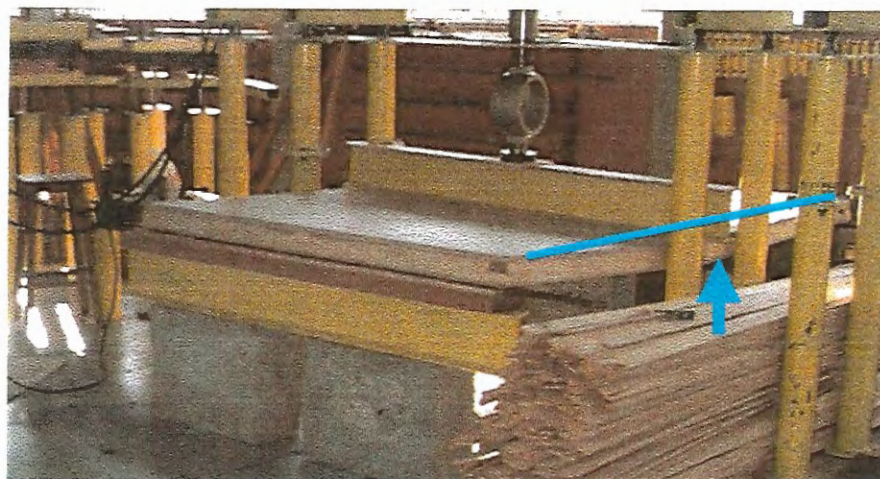


FIGURA 61 – PAINEL 6 A sendo ensaiado, observando-se o seu deslocamento vertical.

Na figura 62 pode-se observar a ruptura do painel acontecendo no nó existente no montante externo. Reconhece-se que, segundo recomendações da norma, as peças empregadas nas experimentações devem apresentar o mínimo de imperfeições. Entretanto, este cuidado não foi tomado visando-se tornar o ensaio o mais próximo da realidade, como acontece na auto-construção, onde não há orientação profissional. Nas construções, em geral, muitas recomendações previstas em norma são desconsideradas, e acabam por provocar danos à construção. Sendo assim, através da experimentação foi possível mostrar que realmente o cuidado com a escolha das peças de madeira é imprescindível no desempenho e na durabilidade do material.



FIGURA 62 – Vista lateral do PAINEL 6 A, podendo-se observar a linha elástica após o carregamento e a ruptura do montante externo com defeito.

TABELA 22 - Média das leituras dos três carregamentos para o PAINEL 6 A

Divisões	Carga	Exten.A	
unidades	daN	Leitura (microns)	Diferen. mm
0	0,0	0,0	0,0
5	84,5	111,7	111,7
10	169,0	218,3	106,7
15	253,5	341,7	123,3
20	338,0	470,0	128,3
25	422,5	606,7	136,7
30	507,0	733,3	126,7
35	591,5	878,3	145,0
40	676,0	1.000,0	121,7
45	760,5	1.171,7	171,7
50	845,0	1.290,0	118,3
55	929,5	1.416,7	126,7
60	1.014,0	1.531,7	115,0
65	1.098,5	1.648,3	116,7
70	1.183,0	1.756,7	108,3
75	1.267,5	1.979,6	222,9
80	1.352,0	2.242,4	262,8

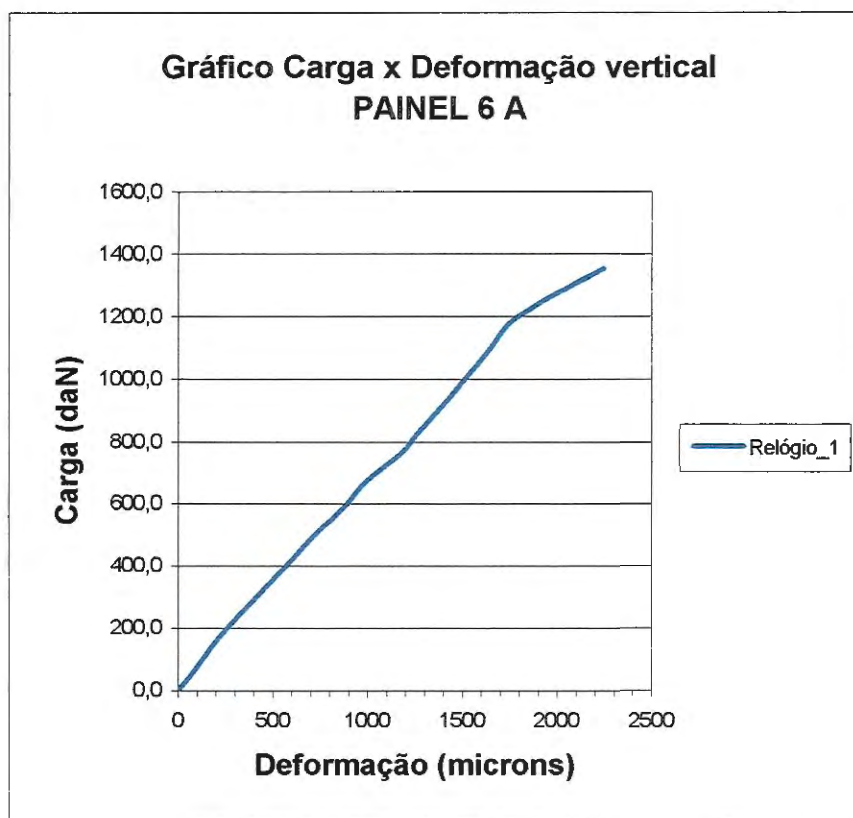


FIGURA 63 - Gráfico Carga x Deformação, referente à média dos carregamentos para o PAINEL 6 A

- **PAINEL 7 A – PAINEL 8 A**

O procedimento de ensaio foi o mesmo adotado para o PAINEL 6 A. A figura 64 mostra uma vista superior da montagem dos ensaios. A figura 65 permite observar em detalhe a viga metálica para distribuição da carga centrada aplicada e a célula de carga utilizada.



FIGURA 64 – Vista superior da montagem do ensaio de painel vertical.

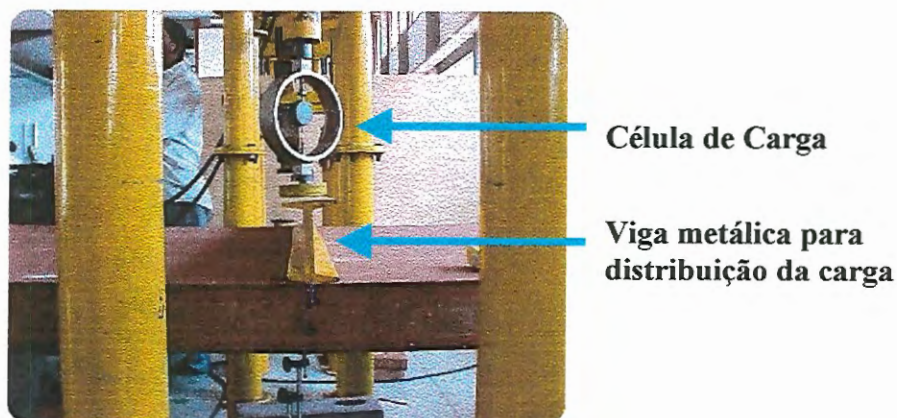


FIGURA 65 – Detalhe da célula de carga e viga para distribuição da carga aplicada.

Os painéis ensaiados PAINEL 7 A e PAINEL 8 A, compostos por chapas de madeira aglomerada com resina de elevado teor de tanino, apresentaram comportamento semelhantes na experimentação. Estes painéis não foram levados à ruptura, pois o equipamento para aplicação da pressão utilizado não possibilitou a ruptura dos mesmos.

Observando as tabelas 23 e 24 e figuras 68 e 69 verificou-se que, até a carga aproximada de 300 daN, os painéis apresentaram um comportamento elástico. A partir desta carga, tanto no PAINEL 7 A como o PAINEL 8 A, verificou-se a desestabilização dos mesmos.

As figuras 66 e 67 referem-se respectivamente, a uma vista frontal e uma vista lateral do painel já preparado para a realização do ensaio.



FIGURA 66 – Vista frontal do painel a ser ensaiado.



FIGURA 67 – Vista lateral do painel a ser ensaiado.

TABELA 23 - Média das leituras dos três carregamentos para o PAINEL 7 A

NÚM	CARREG.	CARGA (daN)	MÉDIA	DIF (mm)
1	0	0,0	0,0	0,0
2	50	91,4	225,0	225,0
3	100	182,8	457,0	232,0
4	150	274,2	693,3	236,3
5	200	365,6	921,7	228,4
6	250	457,0	2060,0	1138,3
7	300	548,4	4056,7	1996,7

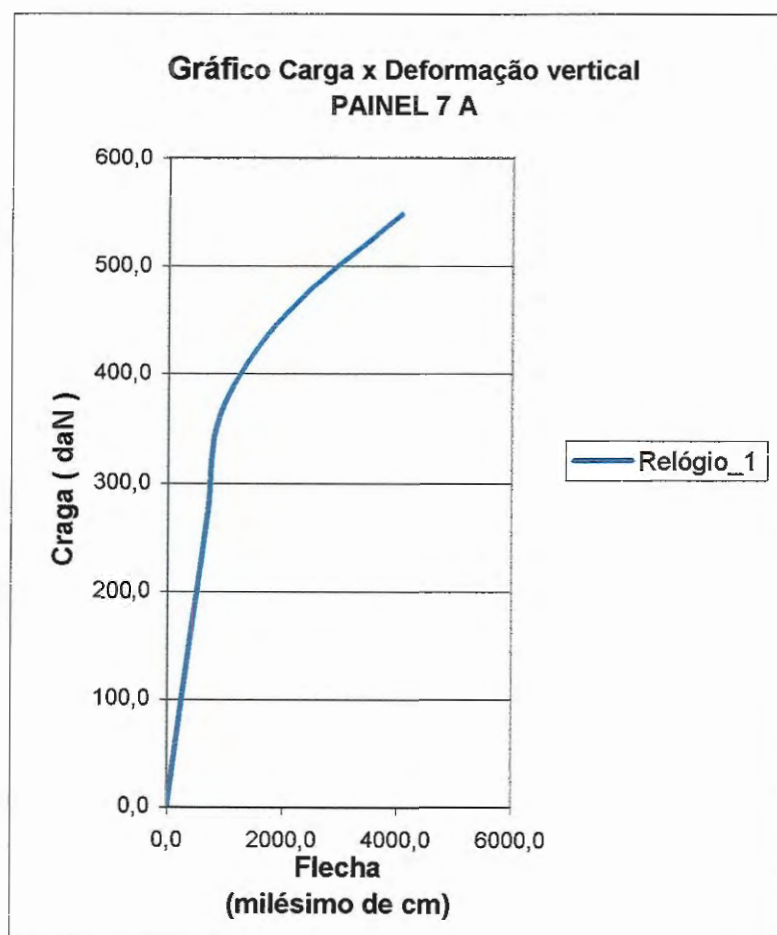


FIGURA 68 - Gráfico Carga x Deformação, referente à média dos carregamentos para o PAINEL 7 A

TABELA 24 - Média das leituras dos três carregamentos para o PAINEL 8 A

NÚM	CARREG.	CARGA (daN)	MÉDIA	DIF (mm)
1	0	0,0	0,0	0,0
2	50	91,4	195,0	195,0
3	100	182,8	421,7	226,7
4	150	274,2	670,0	248,3
5	200	365,6	926,7	256,7
6	250	457,0	2375,0	1448,3
7	300	548,4	4421,7	2046,7

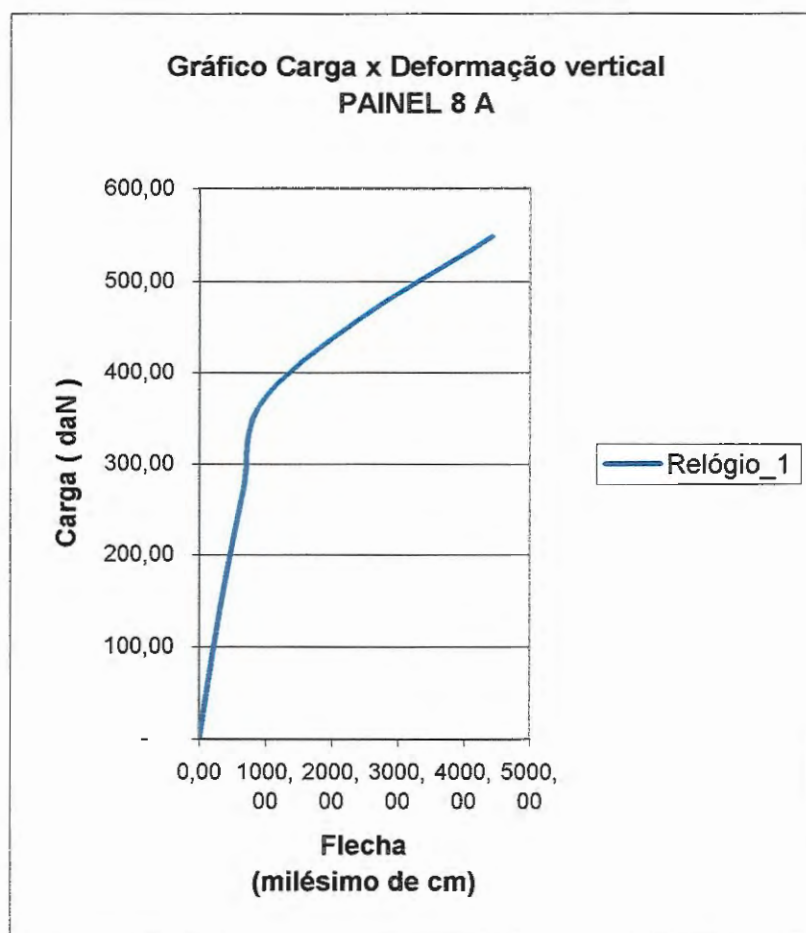


FIGURA 69 - Gráfico Carga x Deformação, referente à média dos carregamentos para o PAINEL 8 A



4.4.2 – Madeira Compensada

A seguir, são apresentados os resultados obtidos nos ensaios de painéis horizontais compostos por dois tipos de chapa de madeira aglomerada.

- **PAINEL 5 C**

O PAINEL 5 C foi composto por chapas de madeira compensada, sendo a chapa superior de 2,0 cm de espessura e a inferior de 1,0 cm de espessura. A figura 70 mostra o painel já preparado para ser ensaiado. Pode-se observar na figura a diferença de espessura das chapas utilizadas.



FIGURA 70 – PAINEL 5 C preparado para ser ensaiado.

Como pode ser verificado na tabela 25 e figura 71, o ensaio foi levado até a carga aproximada de 8600 daN. A célula de carga utilizada foi de 10 toneladas; entretanto, de forma semelhante ao acontecido nos ensaios anteriores, a carga pretendida não foi atingida. Sendo assim, não foi possível romper o painel.

TABELA 25 - Média das leituras dos três carregamentos para o PAINEL 5 C

Divisões	Carga	Exten.A	
		Leitura	Diferen.
unidades	daN		mm
20	661,8	166,7	166,7
40	1323,6	295,0	128,3
60	1985,4	435,0	140,0
80	2647,2	586,7	151,7
100	3309,0	736,7	150,0
120	3970,8	896,7	160,0
140	4632,6	1061,7	165,0
160	5294,4	1223,3	161,7
180	5956,2	1385,0	161,7
200	6618,0	1561,7	176,7
220	7279,8	1778,3	216,7
240	7941,6	1987,5	256,2
260	8603,4	2099,5	268,8

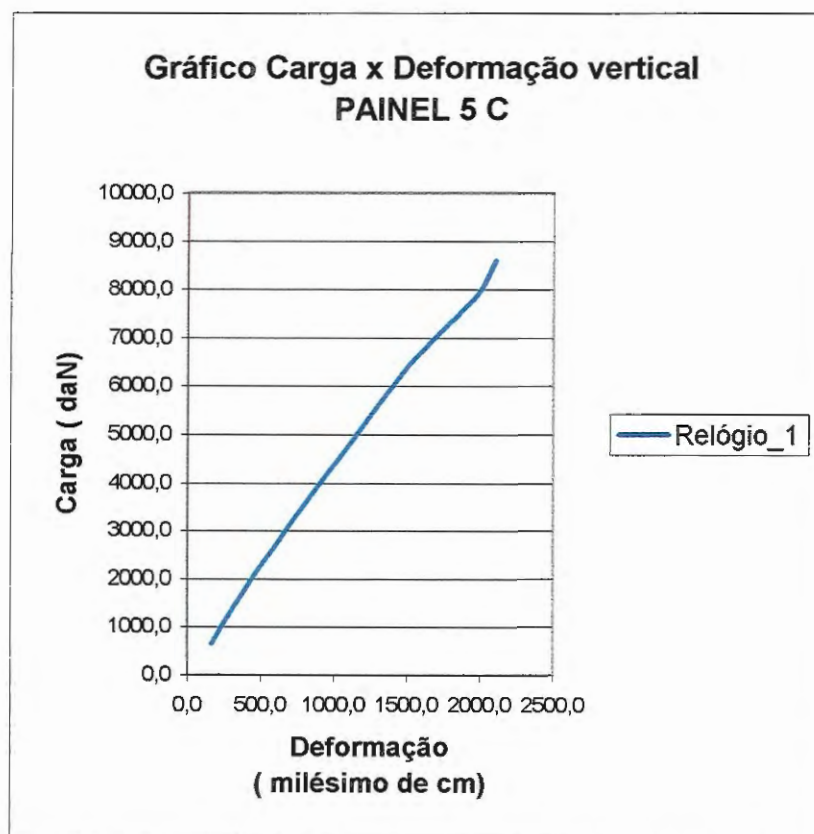


FIGURA 71 - Gráfico Carga x Deformação, referente à média dos carregamentos para o PAINEL 5 C

4.5 – ANÁLISE DOS RESULTADOS

A partir dos resultados obtidos nos ensaios apresentados anteriormente, como foi mostrado no Capítulo 3, quanto à verificação estrutural dos painéis verticais e horizontais, o desempenho teórico esperado através dos cálculos, foi conseguido na maioria dos ensaios. Como esperado desde o princípio dos ensaios, quando o limite de proporcionalidade foi ultrapassado, tanto para as chapas como para os painéis, uma face começou a sofrer compressão e, contrariamente, a outra face começou a sofrer tração. Este fenômeno pôde ser mostrado e destacado em algumas situações de ensaio.

Em painéis cujos montantes empregados eram de Pinus, alguns apresentavam nós e mostraram-se insatisfatórios quanto ao desempenho esperado. Entretanto, a ordem de grandeza em que aconteceu a ruptura não foi muito diferente dos demais resultados. Tanto para os painéis verticais como para os painéis horizontais, os resultados obtidos mostraram-se satisfatórios.

Para os painéis compostos por Cedrinho os resultados de ruptura obtidos situaram-se dentro do esperado e, em alguns ensaios, a ruptura não foi conseguida, como descrito na apresentação dos ensaios, porque a carga de ruptura não pode ser obtida com os equipamentos de ensaio utilizados.

Os painéis verticais compostos por chapas de 1 cm de espessura apresentaram resultados consideráveis, indicando sua capacidade portante à edificação, e os painéis compostos por chapas na face superior de 2 cm mostraram suportar melhor os esforços aplicados diretamente nesta face, trazendo ao conjunto uma rigidez maior do que quando foram utilizadas as chapas de 1 cm de espessura tanto na face superior como na inferior.

Com relação ao tipo de chapa empregada, tanto a madeira compensada quanto a madeira aglomerada mostraram resultados experimentais próximos dos resultados teóricos. Uma análise mais detalhada nos resultados permite verificar uma superioridade global no uso da madeira aglomerada na composição dos painéis verticais, em torno de 10%.

Observando alguns dos casos apresentados, onde muitas vezes uma das chapas praticamente não sofreu deformação, este fato pode ser justificado talvez pelo fato da força aplicada não estar exatamente centrada. Outra justificativa pode ser que durante a montagem dos painéis a chapa que praticamente não sofreu deformação, não tenha sido pregada corretamente.

A figura 72 apresenta um resumo dos resultados obtidos experimentalmente, confrontado com os resultados teóricos calculados inicialmente.

Nº CP	Nº TIPOLOGIA	CARGA (daN)
PAINÉIS VERTICAIS – MADEIRA AGLOMERADA		
PAINEL 1 A	1	9210
PAINEL 2 A	1	6510
PAINEL 3 A	1	8793
PAINEL 4 A	2	8117*
PAINEL 5 A	2	8442
PAINÉIS HORIZONTAIS – MADEIRA AGLOMERADA		
PAINEL 6 A	4	1570
PAINEL 7 A	5	548*
PAINEL 8 A	5	548*
PAINÉIS VERTICAIS – MADEIRA COMPENSADA		
PAINEL 1 C	1	8100
PAINEL 2 C	1	8210
PAINEL 3 C	1	7645
PAINEL 4 C	3	15000*
PAINÉIS HORIZONTAIS – MADEIRA COMPENSADA		
PAINEL 5 C	6	8603*

* corpos-de-prova onde não foi possível obter a ruptura

FIGURA 72 - Resumo dos resultados teóricos e experimentais para chapas e painéis verticais e horizontais

CAPÍTULO 5 – DURABILIDADE DO MATERIAL – EXPERIMENTAÇÃO

Neste capítulo são apresentadas as etapas da experimentação das chapas dos materiais utilizados na montagem dos painéis, ou seja, das chapas de madeira aglomerada e compensada, com relação à durabilidade. A experimentação foi desenvolvida em três fases, sendo a primeira a exposição do material às intempéries, em seguida, o material foi ensaiado com equipamento de ultra-som e, finalmente, os corpos-de-prova foram ensaiados à flexão e rompidos, obtendo-se a carga de ruptura dos materiais a partir dos diversos tratamentos efetuados.

5.1 - MÉTODOS DE ENSAIO E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

Antes de iniciar a experimentação, propriamente dita, os corpos-de-prova a serem ensaiados passaram por quatro tipos de tratamentos químicos. Os corpos-de-prova foram tratados com CCA, Pentox, Epóxi e Esmalte Sintético, além dos materiais na condição natural, sem nenhum tipo de tratamento químico (testemunha). Com base na ASTM D-1037 os corpos-de-prova foram confeccionados com as seguintes dimensões:

 Espessura = 1 cm (espessura da chapa);

 Largura = 5 cm;

 Comprimento = 30 cm.

Foram preparados 75 corpos-de-prova de madeira aglomerada e 75 corpos-de-prova de madeira compensada. A proposta consistiu na realização de ensaios a cada 3 meses, onde as amostras foram analisadas, quanto a sua resistência à ação das intempéries ao longo do tempo. As propostas de análise inicial referem-se ao material exposto, em seguida os corpos-de-prova expostos seriam rompidos em ensaios de flexão de acordo com a norma americana ASTM D-1037.

Entretanto, após o exame de qualificação, uma nova etapa de ensaios foi proposta para complementar a experimentação. Foram propostos ensaios com equipamento de ultra-som, e em, seguida, a continuação dos ensaios de flexão com a ruptura dos corpos-de-prova.

A experimentação de durabilidade foi dividida em três etapas: exposição às intempéries dos corpos-de-prova, ensaio com equipamento de ultra-som e ruptura das amostras em flexão.

A figura 73, apresenta o número de corpos-de-prova ensaiados em cada um dos períodos inicialmente propostas.

TRATAMENTOS	Nº CORPOS-DE-PROVA						
	TEMPO (MESES)	INÍCIO	3	6	9	12	TOTAL
NATURAL – TESTEM.		3	3	3	3	3	15
ESMALTE SINTÉTICO		3	3	3	3	3	15
EPOXI		3	3	3	3	3	15
CCA		3	3	3	3	3	15
PENTOX		3	3	3	3	3	15
Σ Nº DE CP		15	15	15	15	15	75

FIGURA 73 – Programação de Ensaio de Intemperismo com 4 tratamentos e 1 testemunha, com 3 formas de avaliação – visual, ultra-som e flexão.

A figura 74 (a) e (b) mostra o equipamento de ultra-som utilizado e o equipamento para realização do ensaio de flexão.

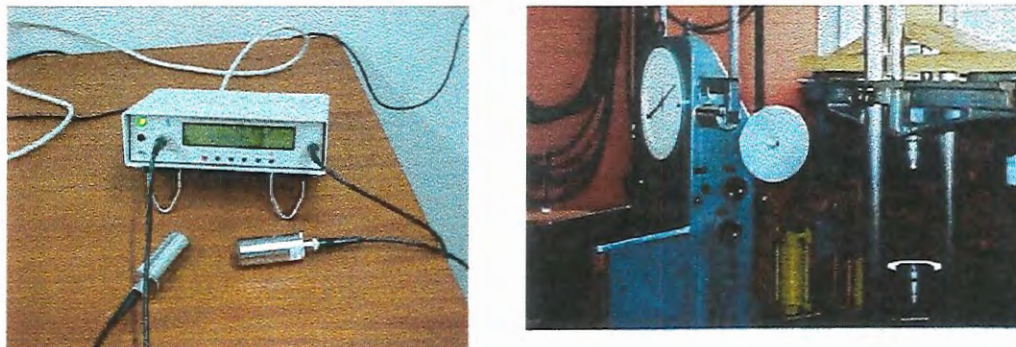


FIGURA 74 – (a) Equipamento de ultra-som Ultrasonic Tester BP-7 (Steinkamp), utilizado nos ensaios realizados no Laboratório de Construções Rurais, Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP - Campinas e (b) Máquina de Ensaio Universal – AMSLER – Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira (LaMEM) – EESC – USP – São Carlos.

5.2 – PREPARAÇÃO DOS MATERIAIS

Procurando caracterizar o material utilizado, foram efetuadas consultas em literatura para definir os tratamentos ideais a serem realizados, a partir das principais características dos materiais e dos produtos químicos utilizados.

Após esta análise inicial, e sendo definidos os tratamentos e ensaios a serem realizados, deu-se início à etapa de preparação dos corpos-de-prova. (Figura 75).



FIGURA 75 – Preparação dos corpos-de-prova para exposição ao intemperismo.

Foram tomados cuidados especiais na preparação dos corpos-de-prova, observando sempre que as bordas das amostras fossem plenamente cobertas com os tratamentos dados. A figura 76 mostra algumas amostras preparadas com esmalte sintético, e pode-se observar que as bordas foram pintadas, assim como todas as outras superfícies do corpo-de-prova. Na figura 77 são apresentadas as amostras preparadas, ilustrando-se cada um dos tratamentos efetuados.

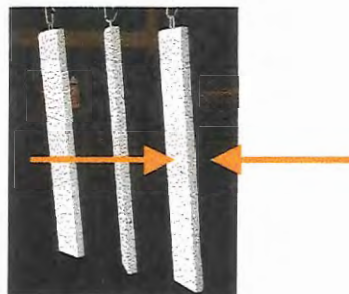
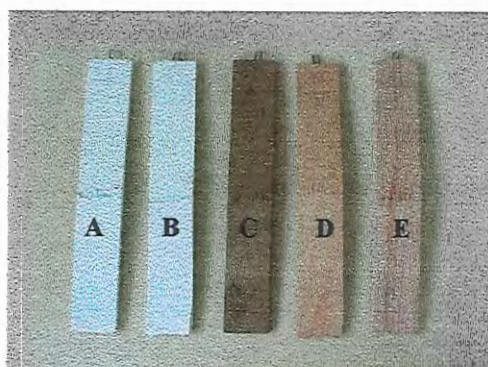


FIGURA 76 – Secagem dos corpos-de-prova para exposição ao intemperismo.



LEGENDA

**A = CP TRATADO COM
ESMALTE**

B = CP TRATADO COM EPOXI

C = CP TRATADO COM CCA

D = CP TRATADO COM PENTOX

E = CP NATURAL

FIGURA 77 – Corpos-de-prova preparados para o estudo de durabilidade.

Para a colocação das amostras no campo de prova, foram tomados cuidados especiais. Como observa-se na figura 78, as amostras foram enterradas até a metade, aproximadamente 15 cm e, para cravar os corpos-de-prova, foram utilizadas chapas de apoio para que o martelo não batesse diretamente nas amostras.



FIGURA 78 - Colocação dos corpos-de-prova no campo de experimentação.

5.3 – REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS E RESULTADOS OBTIDOS

Os ensaios realizados podem ser divididos em três fases, ou seja, análise visual na retirada dos corpos-de-prova, o ensaio com o equipamento de ultra-som e o ensaio de flexão.

5.3.1 – Análise Visual

A análise visual consistiu na observação e interpretação das amostras após o período de exposição. Essa forma de observação é subjetiva, pois está relacionada com a interpretação do observador. Sendo assim, recomenda-se que a análise seja realizada por uma mesma pessoa do início ao fim do período de exposição.

A análise dos corpos-de-prova neste estudo foi realizada através da observação visual, efetuado a cada três meses e assim, anotadas as condições apresentadas pelas amostras, e classificando-as de acordo com os termos de classificação adotados. A classificação foi baseada no Método Browne (tecnologista do Laboratório de Produtos Florestais do Serviço Florestal dos Estados Unidos), no qual atribui-se as seguintes classificações básicas: excelente, bom, regular, mau e péssimo. Foram observados pontos importantes quanto à durabilidade do material verificando o aspecto geral apresentado pela amostra, inchamento do material, presença de manchas de mofo e existência de microorganismos.

As anotações referentes à classificação dos corpos-de-prova no Tempo 1, Tempo 2 e Tempo 3, são apresentadas nas tabelas 26 a 33, segundo classificação adotada conforme o Método Browne.

TABELA 26– Classificação visual para corpos-de-prova de madeira aglomerada tratados com epoxi.

Nº CP	MEDIDAS (cm)	CLASSIFICAÇÃO CONFORME MÉTODO BROWNE
TEMPO 1– CORPOS-DE-PROVA NÃO EXPOSTOS		
1	1,00 X 4,99 X 29,99	Excelente
2	1,01 X 5,00 X 29,98	Excelente
3	1,00 X 4,99 X 29,99	Excelente
TEMPO 2 – CORPOS-DE-PROVA EXPOSTOS POR 3 MESES		
1	1,00 X 4,99 X 30,00	Regular
2	1,01 X 4,99 X 30,01	Bom
3	1,00 X 5,01 X 30,00	Regula
4	1,00 X 4,99 X 29,99	Regular
5	0,99 X 5,00 X 30,01	Mau
6	1,00 X 5,01 X 30,01	Mau
TEMPO 3 – CORPOS-DE-PROVA EXPOSTOS POR 6 MESES		
1 *	1,00 X 4,99 X 29,99	Péssimo
2 *	0,99 X 5,00 X 30,01	Péssimo
3 *	1,00 X 5,01 X 30,01	Péssimo

* Estes corpos-de-prova correspondem aos mesmos CPs ensaiados após 3 meses de exposição, respectivamente, os corpos-de-prova 4, 5 e 6.

TABELA 27 – Classificação visual para corpos-de-prova de madeira compensada tratados com esmalte.

Nº CP	MEDIDAS (cm)	CLASSIFICAÇÃO CONFORME MÉTODO BROWNE
TEMPO 1– CORPOS-DE-PROVA NÃO EXPOSTOS		
1	0,99 X 5,00 X 30,01	Excelente
2	1,00 X 4,99 X 29,99	Excelente
3	1,01 X 4,99 X 29,98	Excelente
TEMPO 2 – CORPOS-DE-PROVA EXPOSTOS POR 3 MESES		
1	1,02 X 4,97 X 29,99	Bom
2	1,01 X 4,99 X 30,01	Regular
3	1,02 X 5,00 X 30,01	Regular
4	1,00 X 4,99 X 29,98	Regular
5	0,98 X 4,99 X 30,00	Mau
6	0,99 X 5,01 X 30,00	Mau
TEMPO 3 – CORPOS-DE-PROVA EXPOSTOS POR 6 MESES		
1 *	1,00 X 4,99 X 29,98	Péssimo
2 *	0,98 X 4,99 X 30,00	Péssimo
3 *	0,99 X 5,01 X 30,00	Péssimo

* Estes corpos-de-prova correspondem aos mesmos CPs ensaiados após 3 meses de exposição, respectivamente, os corpos-de-prova 4, 5 e 6.

TABELA 28 – Classificação visual para corpos-de-prova de madeira compensada tratados com pentox.

Nº CP	MEDIDAS (cm)	CLASSIFICAÇÃO CONFORME MÉTODO BROWNE
TEMPO 1– CORPOS-DE-PROVA NÃO EXPOSTOS		
1	1,00 X 4,99 X 30,01	Bom
2	0,99 X 5,00 X 29,99	Excelente
3	1,00 X 5,00 X 29,99	Excelente
TEMPO 2 – CORPOS-DE-PROVA EXPOSTOS POR 3 MESES		
1	1,02 X 4,97 X 29,99	Ruim
2	0,99 X 4,98 X 30,01	Regular
3	1,01 X 4,99 X 30,01	Regular
4	1,01 X 5,00 X 29,99	Regular
5	0,99 X 5,01 X 30,00	Mau
6	1,01 X 4,99 X 30,01	Regular
TEMPO 3 – CORPOS-DE-PROVA EXPOSTOS POR 6 MESES		
1 *	1,01 X 5,00 X 29,99	Péssimo
2 *	0,99 X 5,01 X 30,00	Péssimo
3 *	1,01 X 4,99 X 30,01	Péssimo

* Estes corpos-de-prova correspondem aos mesmos CPs ensaiados após 3 meses de exposição, respectivamente, os corpos-de-prova 4, 5 e 6.

TABELA 29 – Classificação visual para corpos-de-prova de madeira compensada tratados com CCA.

Nº CP	MEDIDAS (cm)	CLASSIFICAÇÃO CONFORME MÉTODO BROWNE
TEMPO 1– CORPOS-DE-PROVA NÃO EXPOSTOS		
1	1,00 X 5,01 X 30,00	Excelente
2	1,00 X 4,99 X 30,01	Bom
3	1,00 X 4,99 X 29,99	Excelente
TEMPO 2 – CORPOS-DE-PROVA EXPOSTOS POR 3 MESES		
1	1,00 X 4,99 X 29,98	Regular
2	1,00 X 5,00 X 30,00	Ruim
3	1,00 X 4,98 X 30,01	Regular
4	1,01 X 4,99 X 30,01	Ruim
5	1,01 X 5,01 X 29,99	Péssimo
6	1,00 X 5,01 X 30,01	Regular
TEMPO 3 – CORPOS-DE-PROVA EXPOSTOS POR 6 MESES		
1 *	1,01 X 4,99 X 30,01	Péssimo
2 *	1,01 X 5,01 X 29,99	Péssimo
3 *	1,00 X 5,01 X 30,01	Péssimo

* Estes corpos-de-prova correspondem aos mesmos CPs ensaiados após 3 meses de exposição, respectivamente, os corpos-de-prova 4, 5 e 6.

TABELA 30 – Classificação visual para corpos-de-prova de madeira compensada tratados com epoxi.

Nº CP	MEDIDAS (cm)	CLASSIFICAÇÃO CONFORME MÉTODO BROWNE
TEMPO 1– CORPOS-DE-PROVA NÃO EXPOSTOS		
1	0,98 X 5,00 X 30,01	Excelente
2	0,99 X 5,01 X 29,99	Excelente
3	1,01 X 5,00 X 29,98	Excelente
TEMPO 2 – CORPOS-DE-PROVA EXPOSTOS POR 3 MESES		
1	1,01 X 4,99 X 29,99	Regular
2	1,00 X 5,01 X 30,00	Regular
3	1,01 X 5,00 X 30,01	Bom
4	1,01 X 4,99 X 29,99	Regular
5	0,99 X 5,01 X 30,00	Bom
6	1,00 X 4,98 X 30,01	Mau
TEMPO 3 – CORPOS-DE-PROVA EXPOSTOS POR 6 MESES		
1 *	1,01 X 4,99 X 29,99	Péssimo
2 *	0,99 X 5,01 X 30,00	Péssimo
3 *	1,00 X 4,98 X 30,01	Péssimo

* Estes corpos-de-prova correspondem aos mesmos CPs ensaiados após 3 meses de exposição, respectivamente, os corpos-de-prova 4, 5 e 6.

TABELA 31 – Classificação visual para corpos-de-prova de madeira compensada tratados com esmalte.

Nº CP	MEDIDAS (cm)	CLASSIFICAÇÃO CONFORME MÉTODO BROWNE
TEMPO 1– CORPOS-DE-PROVA NÃO EXPOSTOS		
1	1,00 X 4,98 X 30,00	Excelente
2	0,99 X 5,00 X 29,99	Excelente
3	1,01 X 4,99 X 30,01	Excelente
TEMPO 2 – CORPOS-DE-PROVA EXPOSTOS POR 3 MESES		
1	1,00 X 4,99 X 29,99	Bom
2	1,01 X 5,00 X 29,98	Regular
3	1,01 X 5,00 X 29,99	Bom
4	1,01 X 4,99 X 29,98	Regular
5	0,99 X 5,01 X 29,99	Bom
6	0,99 X 5,01 X 30,01	Bom
TEMPO 3 – CORPOS-DE-PROVA EXPOSTOS POR 6 MESES		
1 *	1,01 X 4,99 X 29,98	Péssimo
2 *	0,99 X 5,01 X 29,99	Mau
3 *	0,99 X 5,01 X 30,01	Mau

* Estes corpos-de-prova correspondem aos mesmos CPs ensaiados após 3 meses de exposição, respectivamente, os corpos-de-prova 4, 5 e 6.

TABELA 32 – Classificação visual para corpos-de-prova de madeira compensada tratados com pentox.

Nº CP	MEDIDAS (cm)	CLASSIFICAÇÃO CONFORME MÉTODO BROWNE
TEMPO 1– CORPOS-DE-PROVA NÃO EXPOSTOS		
1	0,98 X 5,00 X 29,99	Excelente
2	0,99 X 5,01 X 30,00	Excelente
3	1,00 X 5,00 X 29,98	Bom
TEMPO 2 – CORPOS-DE-PROVA EXPOSTOS POR 3 MESES		
1	1,00 X 4,99 X 29,99	Regular
2	0,99 X 4,99 X 30,01	Regular
3	1,00 X 4,99 X 30,00	Mau
4	1,01 X 4,99 X 30,01	Regular
5	0,99 X 5,00 X 30,00	Regular
6	1,00 X 4,99 X 29,98	Regular
TEMPO 3 – CORPOS-DE-PROVA EXPOSTOS POR 6 MESES		
1 *	1,01 X 4,99 X 30,01	Péssimo
2 *	0,99 X 5,00 X 30,00	Péssimo
3 *	1,00 X 4,99 X 29,98	Péssimo

* Estes corpos-de-prova correspondem aos mesmos CPs ensaiados após 3 meses de exposição, respectivamente, os corpos-de-prova 4, 5 e 6.

TABELA 33– Classificação visual para corpos-de-prova de madeira compensada tratados com CCA.

Nº CP	MEDIDAS (cm)	CLASSIFICAÇÃO CONFORME MÉTODO BROWNE
TEMPO 1– CORPOS-DE-PROVA NÃO EXPOSTOS		
1	0,99 X 4,98 X 30,00	Excelente
2	1,00 X 4,99 X 29,99	Bom
3	1,00 X 4,99 X 30,01	Excelente
TEMPO 2 – CORPOS-DE-PROVA EXPOSTOS POR 3 MESES		
1	1,01 X 4,98 X 29,99	Bom
2	1,01 X 5,00 X 29,98	Bom
3	1,01 X 4,99 X 30,00	Regular
4	1,01 X 4,99 X 29,99	Bom
5	1,00 X 5,00 X 29,98	Regular
6	1,00 X 5,00 X 30,01	Regular
TEMPO 3 – CORPOS-DE-PROVA EXPOSTOS POR 6 MESES		
1 *	1,01 X 4,99 X 29,99	Péssimo
2 *	1,00 X 5,00 X 29,98	Péssimo
3 *	1,00 X 5,00 X 30,01	Péssimo

* Estes corpos-de-prova correspondem aos mesmos CPs ensaiados após 3 meses de exposição, respectivamente, os corpos-de-prova 4, 5 e 6.

Após a apresentação de todos os ensaios realizados para a verificação da durabilidade do material, foram efetuadas as análises de todos os resultados obtidos, associando-se os resultados da análise visual, do ensaio com ultra-som e do ensaio de flexão dos corpos-de-prova.

5.3.2 - Ensaio de ultra-som

O trabalho consistiu em medir o tempo de propagação de ondas nos trechos marcados para cada um dos corpos-de-prova ensaiados. Foram feitas medidas na superfície e na espessura do material, como observa-se na figura 79 (a) e (b).



FIGURA 79 – Parte (a) mostra a leitura do tempo de propagação na superfície da amostra e a parte (b) mostra a leitura do tempo de propagação ao longo da espessura da amostra.

No total foram realizados 12 medidas em cada corpo-de-prova, para cada tratamento dado ao material em estudo (no total, são quatro os tipos de tratamento – EPOXI, ESMALTE, CCA e PENTOX). Em todos os corpos-de-prova ensaiados foram marcados trechos de 5 cm em 5 cm, ao longo de toda a amostra, e na superfície do material foi medido o tempo total de propagação do som nas extremidades do corpo-de-prova, num trecho de 25 cm. As medidas do tempo de propagação do som foram tomadas na superfície da amostra e na espessura da mesma, sendo efetuadas 6 leituras para cada uma das situações, totalizando as 12 leituras. As amostras foram divididas em 6 trechos, sendo identificados os intervalos por letras de A até F. A extremidade da peças indicada pela letra A correspondia à região onde o material encontrou-se enterrado e a extremidade F denotava a região que ficou exposta. Adotou-se este critério para a leitura em todas as amostras ensaiadas. Os valores de leitura, correspondentes a cada um dos intervalos de 5 cm ao longo do comprimento e da espessura, foram obtidos após a leitura constante durante 10 segundos. As figuras 80 e 81 apresentam esquemas de como foram efetuadas as divisões e as leituras no corpo-de-prova .

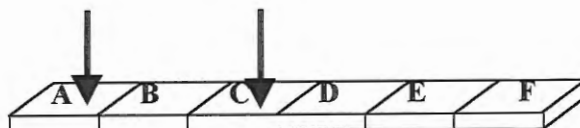


FIGURA 80 – Divisão do corpo-de-prova para a leitura na superfície.

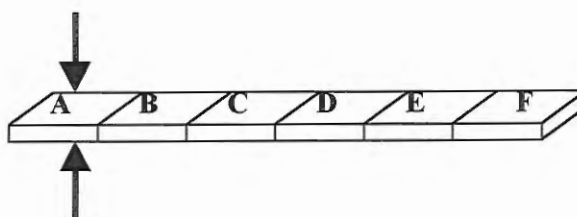


FIGURA 81 – Divisão do corpo-de-prova para a leitura na espessura.

As leituras obtidas para os trechos foram analisadas a partir da amostra testemunha, onde pôde-se comparar os resultados iniciais obtidos com aqueles após o material ter sido enterrado durante 90 dias. A partir dos resultados da testemunha para cada um dos tratamentos em questão, pôde-se tirar as primeiras conclusões com relação aos tratamentos efetuados, e ao desempenho após os primeiros 90 dias de exposição às intempéries.

No ensaio de ultra-som, o menor tempo de propagação da onda corresponde ao material em melhores condições. A partir desta consideração é que a análise dos resultados pôde ser feita, podendo-se até detectar a região mais crítica para cada um dos corpos-de-prova, ou seja, onde a propagação de onde acontece em tempo maior. A seguir, nas tabelas 34 a 41, estão apresentados os resultados obtidos nos ensaios.

TABELA 34 - CHAPA DE MADEIRA AGLOMERADA TRATADA COM EPOXI

Nº CP	MEDIDAS (cm)	VELOCIDADE MÉDIA NOS INTERVALOS (m/s)											
		AB	BC	CD	DE	EF	AF	AA	BB	CC	DD	EE	FF
TEMPO 1 - CORPOS-DE-PROVA NÃO EXPOSTOS													
1	1,00 X 4,99 X 29,99	2590	2540	2510	2570	2600	1190	500	510	510	540	540	540
2	1,01 X 5,00 X 29,98	2570	2610	2680	2600	2640	1240	540	540	530	540	530	530
3	1,00 X 4,99 X 29,99	2600	2570	2570	2520	2540	1220	530	520	530	530	530	520
TEMPO 2 - CORPOS-DE-PROVA EXPOSTOS POR 3 MESES													
1	1,00 X 4,99 X 30,00	1790	1820	1840	2950	2990	870	440	360	450	500	400	430
2	1,01 X 4,99 X 30,01	3,40	2,17	1,04	1140	1070	710	270	520	290	270	190	260
3	1,00 X 5,01 X 30,00	2000	970	990	1600	1330	720	520	380	320	430	510	460
4	1,00 X 4,99 X 29,99	2130	1020	1020	2120	2530	1110	250	220	390	410	430	290
5	0,99 X 5,00 X 30,01	1140	1120	1200	950	1550	1020	360	360	320	320	480	420
6	1,00 X 5,01 X 30,01	1010	1050	980	1160	3970	1030	320	200	250	370	4500	290
TEMPO 3 - CORPOS-DE-PROVA EXPOSTOS POR 6 MESES													
1 *	1,00 X 4,99 X 29,99	850	840	830	-	-	-	200	200	190	-	-	-
2 *	0,99 X 5,00 X 30,01	860	860	850	840	-	-	200	190	190	190	-	-
3 *	1,00 X 5,01 X 30,01	840	840	840	830	-	-	200	190	190	190	-	-

* Estes corpos-de-prova correspondem aos mesmos CPs ensaiados após 3 meses de exposição, respectivamente os corpos-de-prova 4, 5 e 6.

TABELA 35 - CHAPA DE MADEIRA AGLOMERADA TRATADA COM ESMALTE

Nº CP	MEDIDAS (cm)	VELOCIDADE MÉDIA NOS INTERVALOS (m/s)											
		AB	BC	CD	DE	EF	AF	AA	BB	CC	DD	EE	FF
TEMPO 1- CORPOS-DE-PROVA NÃO EXPOSTOS													
1	0,99 X 5,00 X 30,01	1950	1970	203	1970	1990	1230	420	420	420	420	420	420
2	1,00 X 4,99 X 29,99	2040	2060	2040	2050	2030	1250	400	400	410	410	410	410
3	1,01 X 4,99 X 29,98	1990	2000	2000	2000	2000	1240	410	410	410	410	410	390
TEMPO 2 – CORPOS-DE-PROVA EXPOSTOS POR 3 MESES													
1	1,02 X 4,97 X 29,99	1870	1780	1680	1200	1170	890	490	440	400	390	380	330
2	1,01 X 4,99 X 30,01	1610	1400	1440	1460	1370	990	490	190	300	330	320	280
3	1,02 X 5,00 X 30,01	1500	1390	1510	1490	1390	970	320	310	310	360	310	290
4	1,00 X 4,99 X 29,98	1630	1420	1480	1670	1690	830	250	210	190	370	330	290
5	0,98 X 4,99 X 30,00	1140	1010	1040	950	2110	900	360	280	260	320	450	280
6	0,99 X 5,01 X 30,00	1130	980	1090	1180	1260	800	290	280	320	210	580	310
TEMPO 3 – CORPOS-DE-PROVA EXPOSTOS POR 6 MESES													
1 *	1,00 X 4,99 X 29,98	1010	980	990	-	-	-	230	230	230	-	-	-
2 *	0,98 X 4,99 X 30,00	1020	1010	1010	1000	-	-	230	220	220	220	-	-
3 *	0,99 X 5,01 X 30,00	1010	1010	1000	990	-	-	220	230	220	220	-	-

* Estes corpos-de-prova correspondem aos mesmos CPs ensaiados após 3 meses de exposição, respectivamente os corpos-de-prova 4, 5 e 6.

TABELA 36 - CHAPA DE MADEIRA AGLOMERADA TRATADA COM PENTOX

Nº CP	MEDIDAS (cm)	VELOCIDADE MÉDIA NOS INTERVALOS (m/s)											
		AB	BC	CD	DE	EF	AF	AA	BB	CC	DD	EE	FF
TEMPO 1- CORPOS-DE-PROVA NÃO EXPOSTOS													
1	1,00 X 4,99 X 30,01	2030	2050	2050	2050	2040	1700	400	390	390	380	390	390
2	0,99 X 5,00 X 29,99	1960	1970	2100	2090	2060	1670	390	390	390	390	390	390
3	1,00 X 5,00 X 29,99	2020	2030	2020	2000	2010	1680	410	400	400	390	410	390
TEMPO 2 – CORPOS-DE-PROVA EXPOSTOS POR 3 MESES													
1	1,02 X 4,97 X 29,99	800	1720	2100	1210	1250	850	260	220	160	290	290	290
2	0,99 X 4,98 X 30,01	1650	1610	1420	2150	3060	1490	200	200	170	240	460	540
3	1,01 X 4,99 X 30,01	1350	1400	1400	1490	1480	1310	260	250	230	280	520	530
4	1,01 X 5,00 X 29,99	1570	1180	960	1240	1420	990	290	280	230	420	470	530
5	0,99 X 5,01 X 30,00	1140	1240	1440	1630	1810	1170	440	350	410	390	420	470
6	1,01 X 4,99 X 30,01	1260	1490	1620	1860	1850	830	260	270	250	290	320	350
TEMPO 3 – CORPOS-DE-PROVA EXPOSTOS POR 6 MESES													
1 *	1,01 X 5,00 X 29,99	880	890	890	-	-	-	220	220	220	-	-	-
2 *	0,99 X 5,01 X 30,00	890	870	880	-	-	-	220	210	210	-	-	-
3 *	1,01 X 4,99 X 30,01	880	880	870	-	-	-	220	210	210	-	-	-

* Estes corpos-de-prova correspondem aos mesmos CPs ensaiados após 3 meses de exposição, respectivamente os corpos-de-prova 4, 5 e 6.

TABELA 37 - CHAPA DE MADEIRA AGLOMERADA TRATADA COM CCA

Nº CP	MEDIDAS (cm)	VELOCIDADE MÉDIA NOS INTERVALOS (m/s)											
		AB	BC	CD	DE	EF	AF	AA	BB	CC	DD	EE	FF
TEMPO 1- CORPOS-DE-PROVA NÃO EXPOSTOS													
1	1,00 X 5,01 X 30,00	2050	2050	2050	2060	2060	1560	390	360	380	370	350	350
2	1,00 X 4,99 X 30,01	1990	2000	1980	1950	1980	1520	390	390	390	390	390	390
3	1,00 X 4,99 X 29,99	2010	2020	2020	2030	2000	1540	400	370	380	380	390	390
TEMPO 2 – CORPOS-DE-PROVA EXPOSTOS POR 3 MESES													
1	1,00 X 4,99 X 29,98	1790	2050	2250	1580	1170	760	310	310	290	380	280	310
2	1,00 X 5,00 X 30,00	820	960	1760	1120	1160	600	220	220	230	230	280	230
3	1,00 X 4,98 X 30,01	1560	1970	1660	1080	1190	730	280	290	330	330	330	250
4	1,01 X 4,99 X 30,01	980	1980	1040	860	1200	500	290	220	280	280	350	250
5	1,01 X 5,01 X 29,99	740	790	850	1010	1170	700	200	110	340	340	330	250
6	1,00 X 5,01 X 30,01	1720	2170	440	1660	1150	620	220	160	180	230	360	360
TEMPO 3 – CORPOS-DE-PROVA EXPOSTOS POR 6 MESES													
1 *	1,01 X 4,99 X 30,01	740	790	830	-	-	-	210	200	200	-	-	-
2 *	1,01 X 5,01 X 29,99	690	720	730	510	-	-	200	190	190	190	-	-
3 *	1,00 X 5,01 X 30,01	840	830	830	-	-	-	200	190	190	-	-	-

* Estes corpos-de-prova correspondem aos mesmos CPs ensaiados após 3 meses de exposição, respectivamente os corpos-de-prova 4, 5 e 6.

TABELA 38 - CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA TRATADA COM EPOXI

Nº CP	MEDIDAS (cm)	VELOCIDADE MÉDIA NOS INTERVALOS (m/s)											
		AB	BC	CD	DE	EF	AF	AA	BB	CC	DD	EE	FF
TEMPO 1- CORPOS-DE-PROVA NÃO EXPOSTOS													
1	0,98 X 5,00 X 30,01	2820	2700	2610	2580	2530	2030	600	600	580	570	560	560
2	0,99 X 5,01 X 29,99	2860	2650	2590	2570	2500	2030	610	600	570	560	560	560
3	1,01 X 5,00 X 29,98	2820	2670	2610	2580	2540	2040	610	600	570	560	560	550
TEMPO 2 – CORPOS-DE-PROVA EXPOSTOS POR 3 MESES													
1	1,01 X 4,99 X 29,99	4850	1840	5810	3900	2640	2190	840	860	630	1010	1360	1050
2	1,00 X 5,01 X 30,00	2050	1980	3080	3700	3140	1760	1370	1130	1250	1240	1450	1570
3	1,01 X 5,00 X 30,01	5200	3780	4580	6900	4860	1810	970	1250	1280	1370	1510	1340
4	1,01 X 4,99 X 29,99	1170	5740	4480	3650	3780	2170	1090	1180	1200	1240	1490	1490
5	0,99 X 5,01 X 30,00	6840	2770	5340	1810	2050	1910	1250	1360	1260	1610	1560	1750
6	1,00 X 4,98 X 30,01	6660	5740	3550	5490	8930	2100	1050	920	950	1310	1360	1420
TEMPO 3 – CORPOS-DE-PROVA EXPOSTOS POR 6 MESES													
1 *	1,01 X 4,99 X 29,99	950	1010	990	-	-	-	390	370	370	-	-	-
2 *	0,99 X 5,01 X 30,00	990	970	970	930	-	-	400	380	380	360	-	-
3 *	1,00 X 4,98 X 30,01	1010	980	950	900	-	-	380	370	360	340	-	-

* Es0,37t0,36es corpos-de-prova correspondem aos mesmos CPs ensaiados após 3 meses de exposição, respectivamente os corpos-de-prova 4, 5 e 6.

TABELA 39 - CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA TRATADA COM ESMALTE

Nº CP	MEDIDAS (cm)	VELOCIDADE MÉDIA NOS INTERVALOS (m/s)											
		AB	BC	CD	DE	EF	AF	AA	BB	CC	DD	EE	FF
TEMPO 1- CORPOS-DE-PROVA NÃO EXPOSTOS													
1	1,00 X 4,98 X 30,00	2650	2600	2510	2590	2510	1980	650	580	590	580	590	560
2	0,99 X 5,00 X 29,99	2710	2610	2630	2400	2480	1990	600	610	590	580	570	560
3	1,01 X 4,99 X 30,01	2700	2610	2690	2460	2470	1930	610	600	580	590	580	570
TEMPO 2 – CORPOS-DE-PROVA EXPOSTOS POR 3 MESES													
1	1,00 X 4,99 X 29,99	2390	2550	3390	5330	5150	1780	1260	1270	1160	1130	166	1660
2	1,01 X 5,00 X 29,98	1400	1590	5330	3660	2740	1810	900	710	950	1510	149	1080
3	1,01 X 5,00 X 29,99	5320	4040	1920	3640	4500	1900	1270	1260	1130	1060	133	870
4	1,01 X 4,99 X 29,98	3590	3700	3710	4460	3090	1620	1220	1380	1250	1080	114	1260
5	0,99 X 5,01 X 29,99	3640	2570	3380	1980	2010	1840	0880	960	930	990	125	1170
6	0,99 X 5,01 X 30,01	2190	1680	2140	1860	1780	1410	1260	1190	1380	1090	110	1260
TEMPO 3 – CORPOS-DE-PROVA EXPOSTOS POR 6 MESES													
1 *	1,01 X 4,99 X 29,98	1080	1030	920	970	-	-	460	390	380	-	-	-
2 *	0,99 X 5,01 X 29,99	990	920	900	890	-	-	420	360	350	-	-	-
3 *	0,99 X 5,01 X 30,01	1020	990	950	-	-	-	400	400	370	-	-	-

* Estes corpos-de-prova correspondem aos mesmos CPs ensaiados após 3 meses de exposição, respectivamente os corpos-de-prova 4, 5 e 6.

TABELA 40 - CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA TRATADA COM PENTOX

Nº CP	MEDIDAS (cm)	VELOCIDADE MÉDIA NOS INTERVALOS (m/s)											
		AB	BC	CD	DE	EF	AF	AA	BB	CC	DD	EE	FF
TEMPO 1- CORPOS-DE-PROVA NÃO EXPOSTOS													
1	0,98 X 5,00 X 29,99	2480	2510	2470	2500	2470	2150	490	480	470	470	460	450
2	0,99 X 5,01 X 30,00	2560	2510	2460	2470	2450	2170	490	480	480	470	460	460
3	1,00 X 5,00 X 29,98	2390	2350	2400	2380	2330	2060	490	480	470	470	460	450
TEMPO 2 – CORPOS-DE-PROVA EXPOSTOS POR 3 MESES													
1	1,00 X 4,99 X 29,99	2120	1770	1570	1740	3470	1360	1280	1210	1280	1110	1120	800
2	0,99 X 4,99 X 30,01	2700	4600	2830	2370	1790	2420	1300	1160	720	710	540	680
3	1,00 X 4,99 X 30,00	2140	1630	1770	2020	2200	1480	920	1020	1110	950	1120	1170
4	1,01 X 4,99 X 30,01	600	1170	1890	2140	1980	1300	750	780	970	1130	1090	1230
5	0,99 X 5,00 X 30,00	1650	1830	2100	1660	2100	1380	980	1070	710	990	1760	900
6	1,00 X 4,99 X 29,98	1580	1780	2100	1660	2260	1310	920	900	1010	1020	1080	1230
TEMPO 3 – CORPOS-DE-PROVA EXPOSTOS POR 6 MESES													
1 *	1,01 X 4,99 X 30,01	1060	1040	1010	-	-	-	410	410	420	-	-	-
2 *	0,99 X 5,00 X 30,00	1060	1050	1040	-	-	-	440	410	420	-	-	-
3 *	1,00 X 4,99 X 29,98	950	970	930	-	-	-	400	390	380	-	-	-

* Estes corpos-de-prova correspondem aos mesmos CPs ensaiados após 3 meses de exposição, respectivamente os corpos-de-prova 4, 5 e 6.

TABELA 41 - CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA TRATADA COM CCA

N° CP	MEDIDAS (cm)	VELOCIDADE MÉDIA NOS INTERVALOS (m/s)											
		AB	BC	CD	DE	EF	AF	AA	BB	CC	DD	EE	FF
TEMPO 1 - CORPOS-DE-PROVA NÃO EXPOSTOS													
1	0,99 X 4,98 X 30,00	630	63	0,62	0,64	0,64	1,99	0,49	0,48	0,47	0,46	0,46	0,45
2	1,00 X 4,99 X 29,99	620	62	0,62	0,62	0,62	1,96	0,49	0,47	0,47	0,46	0,46	0,45
3	1,00 X 4,99 X 30,01	630	62	0,62	0,62	0,62	1,98	0,48	0,48	0,47	0,47	0,46	0,45
TEMPO 2 - CORPOS-DE-PROVA EXPOSTOS POR 3 MESES													
1	1,01 X 4,98 X 29,99	600	570	570	990	2230	1890	1090	1060	1090	860	1040	680
2	1,01 X 5,00 X 29,98	600	550	500	300	2150	1050	1170	1130	1040	1020	1140	1330
3	1,01 X 4,99 X 30,00	320	390	390	580	1830	1790	1070	810	580	280	670	940
4	1,01 X 4,99 X 29,99	800	740	400	430	2890	1950	860	1380	1310	950	1250	1220
5	1,00 X 5,00 X 29,98	530	420	440	290	2410	1840	1080	1290	1110	1140	1150	790
6	1,00 X 5,00 X 30,01	500	540	560	600	2730	1760	980	1040	1010	860	850	1280
TEMPO 3 - CORPOS-DE-PROVA EXPOSTOS POR 6 MESES													
1 *	1,01 X 4,99 X 29,99	270	230	250	-	-	-	430	400	390	-	-	-
2 *	1,00 X 5,00 X 29,98	250	240	260	-	-	-	410	400	380	-	-	-
3 *	1,00 X 5,00 X 30,01	280	280	250	-	-	-	410	390	390	-	-	-

- Estes corpos-de-prova correspondem aos mesmos CPs ensaiados após 3 meses de exposição, respectivamente os corpos-de-prova 4, 5 e 6.

A partir dos valores apresentados nas tabelas anteriores, pode-se verificar que os melhores resultados são para as amostras que apresentaram maior velocidade de propagação da onda, onde respectivamente, a onda foi transmitida em menor tempo. Assim, os melhores resultados conseguidos, como pode-se observar nas tabelas apresentadas anteriormente foram conseguidos para os corpos-de-prova tratados com epoxi e esmalte sintético. Em alguns, casos a velocidade de propagação nas amostras tratadas com os dois produtos citados anteriormente, pôde ser até a metade se comparada aos outros tratamentos.

5.3.3 – Ensaio de Flexão

Como mencionado anteriormente o ensaio de flexão estática foi baseado na ASTM D-1037. A metodologia do ensaio, ou seja, a forma de carregamento e o espaçamento entre apoios, foi efetuada de acordo com especificações da norma. Assim, o vão ou espaço para cada teste foi de 24 vezes a espessura nominal (profundidade) do corpo-de-prova. Os apoios são tais que nenhum esmagamento apreciável do corpo-de-prova pode acontecer nestes pontos durante o teste. O carregamento escolhido foi o central, com a carga sendo aplicada na face acabada através de uma taxa uniforme de carregamento. Aplica-se a carga continuamente ao longo do teste a uma taxa uniforme de movimento da máquina de ensaio calculada a partir da equação

$$N = \frac{z.L^2}{6.d} \quad (7)$$

Onde :

N = a taxa de movimento ou velocidade de ensaio, em pol/min (mm/min);

z = taxa de unidade de tensão na fibra, em pol/pol (mm/mm) do comprimento da fibra externa por minuto (0,005);

L = vão, em pol. (mm);

d = espessura do corpo-de-prova (mm).

Os ensaios de flexão foram realizados no LaMEM (EESC/USP), onde foi utilizado a Máquina Universal de Ensaio Amsler, para a determinação da carga de ruptura para os corpos-de-prova ensaiados. Para todos os corpos-de-prova a metodologia de carregamento foi a mesma. Os corpos-de-prova foram colocados no dispositivo de ensaio e, iniciou-se o carregamento. A figura 82 apresenta a seqüência do ensaio de flexão para um corpo-de-prova. Pode-se observar as etapas de carregamento até a ruptura do corpo-de-prova.

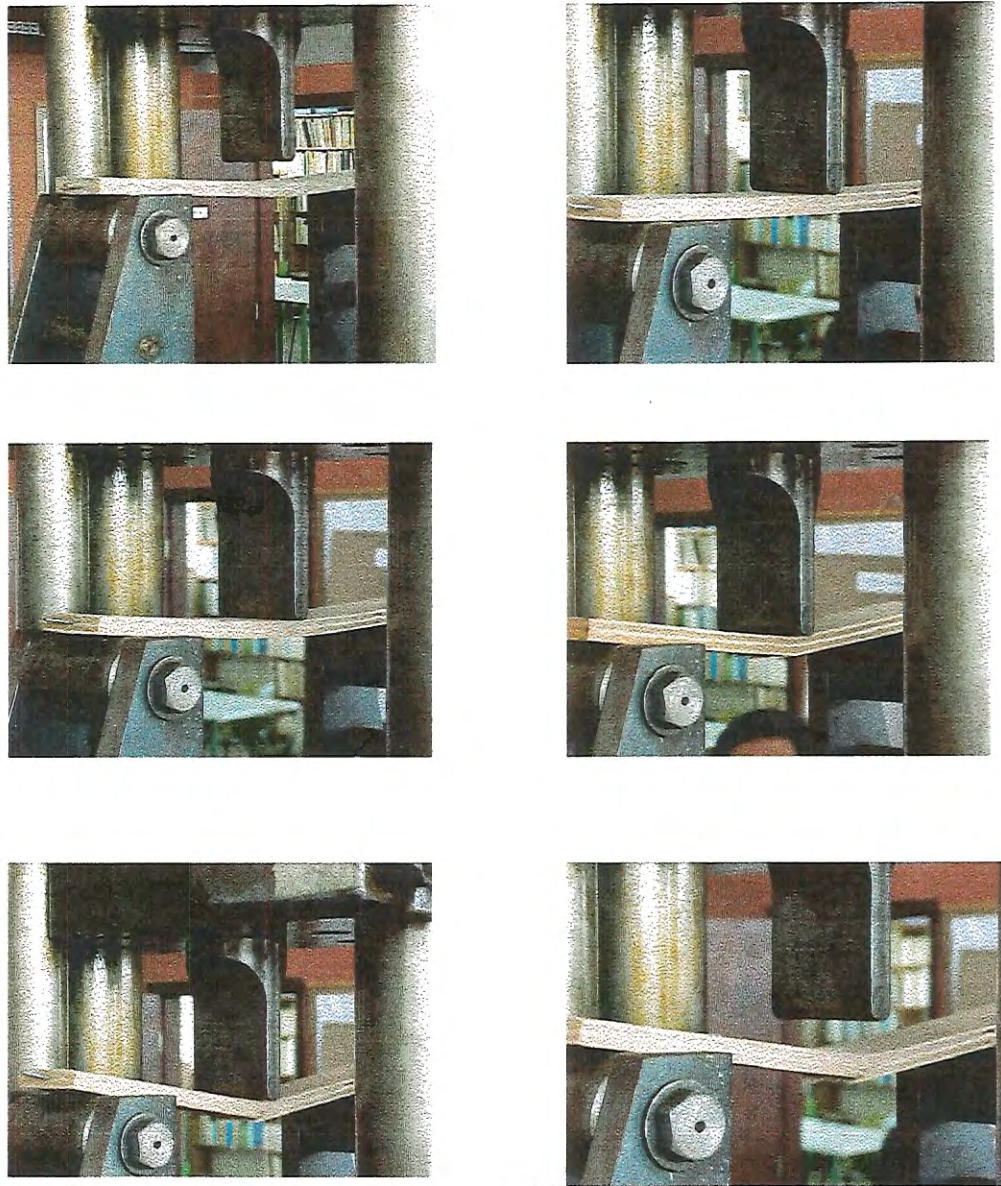


FIGURA 82 – Sequência do ensaio de flexão, do início do carregamento até a ruptura.

Nas tabelas 42 e 49 são apresentados os resultados obtidos para o ensaio de flexão para as chapas de madeira aglomerada e compensada. São apresentadas as dimensões dos corpos-de-prova, carga de ruptura e tensão de ruptura para cada uma das amostras no Tempo 1, Tempo 2 e Tempo 3.

TABELA 42– Carga de ruptura e tensão de ruptura para corpos-de-prova de madeira aglomerada tratados com epoxi.

Nº CP	MEDIDAS (cm)	CARGA DE RUPTURA (daN)	TENSÃO DE RUPTURA (MPa)
TEMPO 1– CORPOS-DE-PROVA NÃO EXPOSTOS			
1	1,00 X 4,99 X 29,99	35,00	31,55
2	1,01 X 5,00 X 29,98	35,00	30,86
3	1,00 X 4,99 X 29,99	25,00	22,53
TEMPO 2 – CORPOS-DE-PROVA EXPOSTOS POR 3 MESES			
1	1,00 X 4,99 X 30,00	1,00	0,90
2	1,01 X 4,99 X 30,01	7,00	4,13
3	1,00 X 5,01 X 30,00	2,00	1,76
TEMPO 3 – CORPOS-DE-PROVA EXPOSTOS POR 6 MESES			
1	1,00 X 4,99 X 29,99	-	-
2	0,99 X 5,00 X 30,01	-	-
3	1,00 X 5,01 X 30,01	-	-

TABELA 43 – Carga de ruptura e tensão de ruptura para corpos-de-prova de madeira compensada tratados com esmalte.

Nº CP	MEDIDAS (cm)	CARGA DE RUPTURA (daN)	TENSÃO DE RUPTURA (MPa)
TEMPO 1– CORPOS-DE-PROVA NÃO EXPOSTOS			
1	0,99 X 5,00 X 30,01	35,00	32,15
2	1,00 X 4,99 X 29,99	40,00	36,06
3	1,01 X 4,99 X 29,98	30,00	26,50
TEMPO 2 – CORPOS-DE-PROVA EXPOSTOS POR 3 MESES			
1	1,02 X 4,97 X 29,99	5,00	4,35
2	1,01 X 4,99 X 30,01	2,00	1,77
3	1,02 X 5,00 X 30,01	2,00	1,15
TEMPO 3 – CORPOS-DE-PROVA EXPOSTOS POR 6 MESES			
1	1,00 X 4,99 X 29,98	-	-
2	0,98 X 4,99 X 30,00	-	-
3	0,99 X 5,01 X 30,00	-	-

TABELA 44 – Carga de ruptura e tensão de ruptura para corpos-de-prova de madeira compensada tratados com Pentox.

Nº CP	MEDIDAS (cm)	CARGA DE RUPTURA (daN)	TENSÃO DE RUPTURA (MPa)
TEMPO 1- CORPOS-DE-PROVA NÃO EXPOSTOS			
1	1,00 X 4,99 X 30,01	20,00	18,04
2	0,99 X 5,00 X 29,99	30,00	27,54
3	1,00 X 5,00 X 29,99	35,00	31,49
TEMPO 2 – CORPOS-DE-PROVA EXPOSTOS POR 3 MESES			
1	1,02 X 4,97 X 29,99	0,50	0,43
2	0,99 X 4,98 X 30,01	2,00	1,84
3	1,01 X 4,99 X 30,01	3,00	2,66
TEMPO 3 – CORPOS-DE-PROVA EXPOSTOS POR 6 MESES			
1	1,01 X 5,00 X 29,99	-	-
2	0,99 X 5,01 X 30,00	-	-
3	1,01 X 4,99 X 30,01	-	-

TABELA 45 – Carga de ruptura e tensão de ruptura para corpos-de-prova de madeira compensada tratados com CCA.

Nº CP	MEDIDAS (cm)	CARGA DE RUPTURA (daN)	TENSÃO DE RUPTURA (MPa)
TEMPO 1- CORPOS-DE-PROVA NÃO EXPOSTOS			
1	1,00 X 5,01 X 30,00	20,00	17,96
2	1,00 X 4,99 X 30,01	20,00	18,04
3	1,00 X 4,99 X 29,99	20,00	18,03
TEMPO 2 – CORPOS-DE-PROVA EXPOSTOS POR 3 MESES			
1	1,00 X 4,99 X 29,98	3,00	0,90
2	1,00 X 5,00 X 30,00	1,00	2,70
3	1,00 X 4,98 X 30,01	3,00	0,90
TEMPO 3 – CORPOS-DE-PROVA EXPOSTOS POR 6 MESES			
1	1,01 X 4,99 X 30,01	-	-
2	1,01 X 5,01 X 29,99	-	-
3	1,00 X 5,01 X 30,01	-	-

TABELA 46 – Carga de ruptura e tensão de ruptura para corpos-de-prova de madeira compensada tratados com epoxi.

Nº CP	MEDIDAS (cm)	CARGA DE RUPTURA (daN)	TENSÃO DE RUPTURA (MPa)
TEMPO 1 – CORPOS-DE-PROVA NÃO EXPOSTOS			
1	0,98 X 5,00 X 30,01	50,00	46,87
2	0,99 X 5,01 X 29,99	45,00	41,22
3	1,01 X 5,00 X 29,98	40,00	35,26
TEMPO 2 – CORPOS-DE-PROVA EXPOSTOS POR 3 MESES			
1	1,01 X 4,99 X 29,99	4,00	3,55
2	1,00 X 5,01 X 30,00	6,00	5,39
3	1,01 X 5,00 X 30,01	8,00	7,06
TEMPO 3 – CORPOS-DE-PROVA EXPOSTOS POR 6 MESES			
1	1,01 X 4,99 X 29,99	-	-
2	0,99 X 5,01 X 30,00	-	-
3	1,00 X 4,98 X 30,01	-	-

TABELA 47 – Carga de ruptura e tensão de ruptura para corpos-de-prova de madeira compensada tratados com esmalte.

Nº CP	MEDIDAS (cm)	CARGA DE RUPTURA (daN)	TENSÃO DE RUPTURA (MPa)
TEMPO 1 – CORPOS-DE-PROVA NÃO EXPOSTOS			
1	1,00 X 4,98 X 30,00	45,00	40,66
2	0,99 X 5,00 X 29,99	35,00	32,12
3	1,01 X 4,99 X 30,01	35,00	30,95
TEMPO 2 – CORPOS-DE-PROVA EXPOSTOS POR 3 MESES			
1	1,00 X 4,99 X 29,99	7,00	6,31
2	1,01 X 5,00 X 29,98	4,00	3,52
3	1,01 X 5,00 X 29,99	6,00	5,29
TEMPO 3 – CORPOS-DE-PROVA EXPOSTOS POR 6 MESES			
1	1,01 X 4,99 X 29,98	-	-
2	0,99 X 5,01 X 29,99	-	-
3	0,99 X 5,01 X 30,01	-	-

TABELA 48 – Carga de ruptura e tensão de ruptura para corpos-de-prova de madeira compensada tratados com Pentox.

Nº CP	MEDIDAS (cm)	CARGA DE RUPTURA (daN)	TENSÃO DE RUPTURA (MPa)
TEMPO 1– CORPOS-DE-PROVA NÃO EXPOSTOS			
1	0,98 X 5,00 X 29,99	35,00	32,78
2	0,99 X 5,01 X 30,00	35,00	32,07
3	1,00 X 5,00 X 29,98	30,00	26,98
TEMPO 2 – CORPOS-DE-PROVA EXPOSTOS POR 3 MESES			
1	1,00 X 4,99 X 29,99	2,00	1,80
2	0,99 X 4,99 X 30,01	3,00	2,76
3	1,00 X 4,99 X 30,00	0,70	0,63
TEMPO 3 – CORPOS-DE-PROVA EXPOSTOS POR 6 MESES			
1	1,01 X 4,99 X 30,01	-	-
2	0,99 X 5,00 X 30,00	-	-
3	1,00 X 4,99 X 29,98	-	-

TABELA 49 – Carga de ruptura e tensão de ruptura para corpos-de-prova de madeira compensada tratados com CCA.

Nº CP	MEDIDAS (cm)	CARGA DE RUPTURA (daN)	TENSÃO DE RUPTURA (MPa)
TEMPO 1– CORPOS-DE-PROVA NÃO EXPOSTOS			
1	0,99 X 4,98 X 30,00	20,00	18,44
2	1,00 X 4,99 X 29,99	30,00	27,04
3	1,00 X 4,99 X 30,01	45,00	40,59
TEMPO 2 – CORPOS-DE-PROVA EXPOSTOS POR 3 MESES			
1	1,01 X 4,98 X 29,99	6,00	5,31
2	1,01 X 5,00 X 29,98	7,00	6,17
3	1,01 X 4,99 X 30,00	2,00	1,76
TEMPO 3 – CORPOS-DE-PROVA EXPOSTOS POR 6 MESES			
1	1,01 X 4,99 X 29,99	-	-
2	1,00 X 5,00 X 29,98	-	-
3	1,00 X 5,00 X 30,01	-	-

5.4 – ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos quanto à durabilidade do material, estiveram aquém dos resultados esperados inicialmente. O primeiro ponto a ser considerado é que como o material destina-se à composição dos painéis, a forma de exposição adotada não foi a mais recomendável para este tipo de aplicação. Ou seja, na composição dos painéis as chapas não estarão em contato direto com o solo. Portanto, os resultados obtidos embora não tenham sido plenamente satisfatórios, não referem-se à situação real de composição dos painéis. A proposta inicial de trabalho era a de efetuar análises periódicas a cada três meses, durante um ano. Entretanto, os ensaios só puderam ser realizados por seis meses, porque os corpos-de-prova expostos não suportaram o ataque de insetos e a própria ação das intempéries, somadas ao contato direto com o solo, danificando as amostras que seriam utilizadas na experimentação após os seis meses. Mesmo os corpos-de-prova após estarem expostos por seis meses, não resistiram às ações diversas, e todas as amostras se quebraram ao serem retiradas. O material exposto sem tratamento (testemunha) não apresentou nenhuma resistência às intempéries após os três primeiros meses de ensaio. Sendo assim, foram apresentados apenas os resultados obtidos para a testemunha sem exposição.

Analizando separadamente cada etapa do ensaio de durabilidade, com relação à análise visual, durante os seis meses pôde-se verificar que o material apresentou melhor estado de conservação quando as chapas de madeira compensada e madeira aglomerada foram tratadas com esmalte e epoxi, podendo-se observar um desempenho ligeiramente superior para o esmalte sintético.

Quanto ao ensaio de ultra-som foram ensaiadas as amostras, trecho a trecho, podendo-se verificar as posições mais críticas de cada um dos corpos-de-prova. Observou-se que a madeira compensada apresentou resultados melhores do que a madeira aglomerada, em termos gerais. Outra análise que pode ser realizada é que a parte do corpo-de-prova que esteve enterrada (trechos D, E, F), em geral, apresentou piores condições. Com o uso do ultra-som foi possível confirmar que trechos visualmente mais danificados, realmente apresentaram velocidade de propagação bem superior se comparada aos trechos menos atingidos por insetos, ou mesmo, pela ação da intempérie.

Com relação ao ensaio de flexão, observando os resultados obtidos pôde-se verificar que o material perdeu, praticamente, toda a sua capacidade de resistir à flexão depois de ficar exposto às intempéries por três meses, como pôde-se observar nas tabelas apresentadas. O melhor desempenho quanto à flexão foi conseguido para a madeira compensada tratada com epoxi. Então, os tratamentos recomendados foram com esmalte sintético e epoxi.

CAPÍTULO 6 – CONCLUSÃO

O estudo dos painéis portantes de madeira e derivados apresentou resultados muito satisfatórios quanto ao desempenho estrutural destes painéis e também quanto à durabilidade das chapas constituintes do painel.

Como pôde-se observar nos resultados apresentados no Capítulo 4, tanto os painéis verticais quanto os painéis horizontais mostraram grande capacidade portante, podendo receber às solicitações provenientes de telhados e/ou outros pavimentos. Em geral, as solicitações em edificações residenciais, considerando que todas as cargas atuantes são de, aproximadamente, 6 kN/m e os painéis portantes estudados mostraram ser capazes de suportar cargas superiores a estas solicitações normais de uma residência. Assim, aparecem como uma alternativa interessante para ser empregada na construção civil, não apenas para a construção de casas, como também em diversas aplicações construtivas.

No Capítulo 5 foram apresentados resultados da durabilidade das chapas de madeira aglomerada e compensada expostas às intempéries. Foram realizados alguns tratamentos no material e, pôde-se observar que o esmalte sintético e o epoxi apresentaram melhores desempenhos nas chapas, quando expostos às variações climáticas e, também, estando em contato direto como o solo.

A partir dos resultados obtidos nos ensaios estruturais e de durabilidade das chapas, verificou-se que este trabalho introduz a necessidade de realiza estudos de painéis portantes de madeira e derivados, entretanto, verificou-se que estudos complementares a este devem ser desenvolvidos, procurando enfocar o desempenho térmico e acústico dos painéis, formas e detalhes de encaixe entre painéis e painel/esquadria e a viabilidade econômica do sistema construtivo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABPM – Associação Brasileira de Produtores de Madeira (1990). Catálogos de Normas de Madeira Serrada. Curitiba/PR.
- ALVES, R. (1985). Introdução ao jogo e suas regras. 1ª ed. São Paulo, Atlas.
- ALVES, I.A.R.; MARTUCCI, R. (1995). Processos construtivos flexíveis: Informática na integração do projeto e produção. In: Qualidade e Tecnologia na Habitação, ENTAC 95, Rio de Janeiro.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (1996). ASTM D 2830-69 - Primed wood products with preservative finish coats (CD ROM), 11p.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (1995). ASTM D 1037-60 - Tentative Methods of evaluating the properties of wood-based fiber and particle. (CD ROM), 16p.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (1995). ASTM E-72 - Conducting strength tests of panels for building construction (CD ROM) 11p.
- ANDREWS, H.J. (1967). An introduction to timber engineering. Oxford: Pergamon Press.
- ARENDDT, H. (1991) Textbook of wood technology. V.I, Second edition. McGraw-Hill Book Comapny.
- BENEVENTE, V.A. (1992). Durabilidade em construções de madeira – Diretrizes de projeto. São Carlos. Dissertação (Mestrado). Departamento de Arquitetura. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- BITTENCOURT, R.S. (1995). Concepção arquitetônica da habitação em madeira. São Paulo. Tese (Doutorado). EPUSP. Universidade de São Paulo.
- BLACHÉRE, G. (1997). Tecnologias de la construcción industrializada. Editorial Gustavo Gilli S.A. Barcelona.
- BOLLE, W. (1994). Fisionomia da Metrópole Moderna. FAPESP / EDUSP. São Paulo.
- BONDUKI, N.G. (1994). Repensando a habitação no Brasil. Habitação popular – Contribuição para o estudo da evolução urbana de São Paulo. Rio de Janeiro.
- BORCHEREDET, H.; TRAUB, V. (1982) Casa unifamiliares en Estados Unidos. Editorial Gilli S.A. Barcelona.
- BROTERO, F.A. (1956) Madeiras nacionais – Tabelas de resultados de ensaios físicos e mecânicos. Boletim nº 31 – IPT / São Paulo.
- CARLOS, V. (1992). Como conservar a sua casa de madeira. In: Encontro Brasileiro de Madeira e Estruturas de Madeira. São Carlos, Anais. USP / EESC / SET / LaMEM. 6p.

- COOPER, P.A. (1974). Use of wood preservatives to protect wood in service. Vancouver. In: Architectural opportunities seminar.
- CORDEIRO, V.M. (1990). Casa de painéis de bambu-argamassa. São Carlos. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- CUNHA, U.V.L. (1978). Terra-cimento – Contribuição para o estudo da casa de baixo custo. São Carlos. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- DEL POZO (1994). Construire en bois. Editions du Moniteur.Presses Polytechniques Romandes. Paris.
- ELORZA, M. U. (1984). Especificaciones generales para la construcción de vivienda de intreses social a base de componentes de madera. Ciencia Florestal.
- FOREST PRODUCTS LABORATORY. (1991). Wood Handbook. Agriculture Handbook nº 72. Forest Products Laboratory U.S. Government Printing Office. Washington D.C.
- FOREST PRODUCT JOURNAL (1997), Wood Handbook: wood as a engineering product. Washington DC, U.S. Dept. of Agriculture, 466p.
- GONÇALVES, M.T.T. (2000). Processamento da madeira. Ed. USP – Bauru/SP.
- GRIEGER, P.A. (1990), Casa de Madeira para a Amazônia. São Carlos. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- HELLMEISTER, J.C. (1982). Sobre a determinação das características físicas da madeira. São Carlos. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- HELLMEISTER, L. A. V.(1995). A Casa Racionalizada. Dissertação (Mestrado em Arquitetura). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- HOOR, D. (1994). Construire en bois. Editions du Moniteur.Presses Polytechniques Romandes. Paris.
- INO, A. (1984). Papelão Ondulado - Viabilidade de Utilização. São Carlos. Dissertação (Mestrado em Arquitetura). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 208p.
- INO, A. (1992). Sistema estrutural modular em Eucalipto roliço para habitação. São Carlos. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO / IPT. (1984). Manual de Diseño para Madeiras del Grupo Andino. PADT –REFORT - JUNAC. Lima/Peru.
- PIQUE, J. (1984). Manual para maderas del Grupo Andino. PADT / REFORT. Junta del Acuerdo de Cartagena. 3ª Ed. Lima.

- JESUS, H. (1986). Secagem ao ar livre e secagem solar de madeiras aplicadas a Construção Civil. São Carlos. Dissertação (Mestrado em Arquitetura). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- JESUS, L.L.H. (1987). Preservação da Madeira de *Pinnus* spp. São Carlos. Dissertação (Mestrado em Arquitetura). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- JUNAC – PADT – REFORT. (1980). Junta del Acuerdo de Cartagena e Proyectos Andinos de desarrollo tecnológico en área de los recursos florestales tropicales. Cartilla de promoción para la construcción com madera. Lima/Peru.
- JUNTA DE ACUERDO DE CARTAGENA (1984). Manual de diseño para maderas del Grupo Andino. Lima/Peru – PADT-REFORT – JUNAC.
- KEEBLER, H. (1982). Effects of wood on humidity in homes. Forest Products Journal, Madison.
- KEENAN, F. J. (1987). Maderas Tropicales como material de construcción en los países del grupo andino de America do Sul. Ottawa : CIID.
- KOENIGSHOF, G. A. (1989). Performace and quality - Control standards for composite floor wall, and truss flaming. Nova Iorque.
- LEPAGE, E.S. et al. (1986). Manual de preservação de madeira, IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, Divisão de Madeiras. São Paulo. Vol. 2.
- MAGALHÃES, A.M. (1991). Transferências de Tecnologias para a auto construção em madeira-argamassa. São Carlos. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- MALONEY, T.M. (1996). The family of wood composite materials. Forest Products Journal. v.46, n°2, p19-26.
- MARTUCCI, R. (1990). Projeto tecnológico para edificações habitacionais: utopia ou desafio? Tese (Doutorado). Faculdade de Arquitetura de Urbanismo. Universidade de São Paulo.
- MAYO, A. P. (1984). Assessing the performance of timber frame wall panels subject to racking loads. Garston. BRE (Building Research Establishment).
- MESQUITA, A. (1986). Sistema de Construção Pré-Fabricada - Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- MITIDIERI, (1992). Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT – São Paulo.
- MÖHLER, K. (1994). Construire en bois. Editions du Moniteur.Presses Polytechniques Romandes. Paris.

- MOSLEMI A.A., GARCIA J.F., HOFSTRAND A.D. (1.983) - Effect of various tratments an additives on wood-Portland cement-water system.
- MOSLEMI A.A., LIM Y.T. (1984). Compatibility of southern hardwoods with Portland cement.
- MOURA, J.D.M. (1990). Reutilização da Engenharia de Estruturas - pinus e subprodutos de serraria na construção da habitação. São Carlos. Dissertação (Mestrado em Arquitetura). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- NATTERER, J.; WINTER, W. (1988). El futuro de la construccion en madera, en Europa, entre Tradicion e Industrialización y entre Técnica y Arquitetura. Informes de la Construcción.
- NATTERER, J; HEZOG, T. (1994). Construire en bois 2. Presses Techniques Romandes, Lauzanne.
- NOCK, P. (1977). Tecnologia das Casas Pré-Fabricadas – Brasil Madeira - Informe Geral.
- PEREZ, V. A. G. (1978). Manual de Construciones en Madera - Manual nº 10 -Instituto Florestal do Chile - Departamento de Construciones en Madera.. Chile.
- PEREZ, V. A. G. (1983). Sistemas Constructivos y otros Elementos en Madera - In : Manual de Construccões en Madera. Chile.
- POLENSIK, A. (1982). Effect of construccion variables on performace of wood - stud walls. Forest Products Journal, Madison 32(5), p.37.
- PROJETO DE ESTRUTURAS DE MADEIRA (1997). ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7190. Rio de Janeiro.
- SIMAS, R. S. (1985). Estudo de Algumas Características Físicas e Mecânicas das Chapas Duras de Fibras de Madeira. Dissertação (Mestrado em Arquitetura). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 100p.
- SOUZA, R. ; MITIDIERI, V. C. F. (1996). Avaliação do Desempenho de Sistema Construtivo Destinado à Habitação Popular, Conceituação e Metodologia - IPT - SP.
- STERN, E. G. (1973). Potencial of buiding with wood in South America. Forest Products Journal, Madison, 2310, p.10-12
- SZÜCS, C.P. (1979). Utilização da Madeira na Construção da Habitação. São Carlos. Dissertação (Mestrado em Arquitetura). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- TIMBER RESEARCH AND DEVELOPMENT ASSOCIATION (TRADA). (1991). Introducing Wood. London: Trada. (Wood Information – Section 2/3 Sheet 28).

- TONISSI, J. L. (1985) Madeira e seus Derivados na Construção, São Carlos. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 129p.
- TRIGO, J. T. (1978). Tecnologias da Construção de Habitação - Lisboa : Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- UCHÔA, S.B.B. (1989). Condutividade Térmica da Madeira. São Carlos Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- VARGAS, N. (1996). Cultura para construir. São Paulo. Revista da Madeira, nº 2521.