

JORGE LUIS MONTEIRO DE MATOS

Ciclo da Prensa em Chapas de Partículas Estruturais  
**“Waferboards”**

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

CURITIBA

1988

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

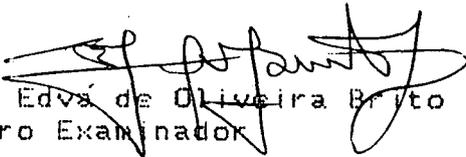
P A R E C E R

Os membros da Comissão Examinadora designada pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado apresentada pelo candidato **JORGE LUIS MONTEIRO DE MATOS**, sob o título "**CICLO DA PRENSA EM CHAPAS DE PARTICULAS ESTRUTURASIS "WAFERBOARDS".**" para obtenção do grau de Mestre em Ciências Florestais - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná. Área de concentração: **TECNOLOGIA E UTILIZAÇÃO DE PRODUTOS FLORESTAIS**, após haver analisado o referido trabalho e arguido o candidato, são de parecer pela "**APROVAÇÃO**" da dissertação completando assim os requisitos necessários para receber o grau e o Diploma de Mestre em Ciências Florestais.

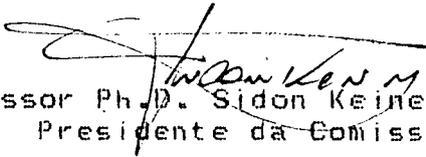
Observação

O critério de aprovação da Dissertação e Defesa da mesma a partir de novembro de 1980 é apenas, **APROVADA OU NÃO APROVADA**

Curitiba, 02 agosto de 1988

  
Professor M.Sc. Edva de Oliveira Brito  
Primeiro Examinador

  
Professor Ph.D. Benedito Rocha Vital  
Segundo Examinador

  
Professor Ph.D. Sidon Keinert Junior  
Presidente da Comissão



## AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. Sidon Keinert Júnior pela orientação, apoio e estímulo na execução deste trabalho.

Ao professor Dr. Ivan Tomaselli pela co-orientação e sugestões indispensáveis.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA - CNPq, pela oportunidade concedida e suporte.

A empresa EMBRASCA pelo fornecimento da matéria-prima empregada para elaboração deste trabalho.

## BIOGRAFIA DO AUTOR

JORGE LUIS MONTEIRO DE MATOS, filho de Auri Garcia de Matos e Justina Monteiro de Matos, nasceu em Santa Maria, Estado do Rio Grande do Sul, em 23 de janeiro de 1960.

Realizou os estudos de primeiro grau no Grupo Escolar Fontoura Ilha e no Colégio Santa Maria, e os estudos de segundo grau no Colégio Estadual Manoel Ribas, em Santa Maria-RS.

Ingressou no Curso de Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal de Santa Maria em março de 1978, tendo colado grau em julho de 1982.

Ingressou no Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus- AM, em fevereiro de 1983 ocupando o cargo de pesquisador na área de Produtos Florestais, até hoje.

Em março de 1985, ingressou no curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal, área de concentração Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais a nível de mestrado, na Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

## SUMARIO

	LISTA DE TABELAS .....	vii
	LISTA DE ILUSTRAÇÕES .....	viii
	RESUMO .....	xii
1	INTRODUÇÃO .....	01
1.1	OBJETIVOS .....	04
1.2	JUSTIFICATIVA .....	04
2	REVISÃO DE LITERATURA .....	06
2.1	TEOR DE UMIDADE DAS PARTICULAS .....	07
2.2	TEMPO DE FECHAMENTO DA PRENSA .....	09
2.3	TEMPO DE PRENSAGEM .....	11
2.4	TEMPERATURA DA PRENSA .....	13
2.5	PRESSÃO .....	15
2.6	GRADIENTE VERTICAL DE DENSIDADE .....	17
2.7	MECANISMO DE TRANSFERENCIA DE CALOR, PERDA DE UMIDADE E CONSOLIDAÇÃO DAS CHAPAS .....	18
3	MATERIAL E METODOS .....	22
3.1	MATERIA-PRIMA .....	22
3.2	DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DA ESPECIE .....	22
3.3	PREPARAÇÃO DA MATERIA-PRIMA .....	25
3.3.1	Obtenção das partículas .....	25
3.3.2	Secagem das partículas .....	25
3.3.3	Dimensões das partículas .....	26
3.4	FORMAÇÃO DAS CHAPAS .....	28

3.4.1	Cálculo da quantidade de material neces- sário .....	28
3.4.2	Aplicação de resina e parafina .....	29
3.4.3	Formação do colchão .....	30
3.4.3.1	Uso de termopares .....	30
3.5	PRENSAGEM .....	33
3.5.1	Tempo de fechamento .....	33
3.5.2	Tempo de prensagem .....	33
3.6	CONDICIONAMENTO .....	34
3.7	AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DOS PAINÉIS .....	35
3.8	GRADIENTE VERTICAL DE DENSIDADE .....	36
3.9	CONSIDERAÇÕES SOBRE O PLANO EXPERIMENTAL .....	40
4	<u>RESULTADOS E DISCUSSÃO</u> .....	44
4.1	TESTE DE NORMALIDADE DOS DADOS .....	44
4.2	TEOR DE UMIDADE DAS PARTICULAS .....	45
4.2.1	Análise dos efeitos da umidade pelo desenvolvi- mento da temperatura .....	46
4.2.2	Análise dos efeitos da umidade sobre o gradien- te vertical de densidade .....	49
4.3	TEMPO DE FECHAMENTO DA PRENSA .....	51
4.3.1	Análise dos efeitos do tempo de fechamento pelo desenvolvimento da temperatura .....	52
4.3.2	Análise dos efeitos do tempo de fechamento sobre o gradiente vertical de densidade .....	56
4.4	TEMPO DE PRENSAGEM .....	61
4.5	PRESSÃO .....	62
4.6	ANALISE DOS EFEITOS DAS DIVERSAS VARIÁVEIS SOBRE AS PROPRIEDADES DOS PAINÉIS .....	63

4.6.1	Propriedades de resistência .....	63
4.6.1.1	Módulo de Ruptura (MOR) .....	63
4.6.1.2	Módulo de Elasticidade (MOE) .....	69
4.6.1.3	Ligação Interna (LI) .....	75
4.6.1.4	Resistência ao arrancamento de parafuso (RAP)	78
4.6.2	Propriedades dimensionais .....	81
4.6.2.1	Varição em espessura (VE) .....	81
4.6.2.2	Absorção de água (AA) .....	91
4.6.3	Propriedades físicas .....	98
4.6.3.1	Taxa de variação em espessura não recuperável (springback) .....	98
4.6.3.2	Densidade das chapas .....	105
4.7	AVALIAÇÃO DE CORRELAÇÕES E INFLUENCIA DE OUTRAS VARIA- VEIS SOBRE AS PROPRIEDADES DOS PAINÉIS .....	108
5	<u>CONCLUSÕES</u> .....	119
	<u>SUMMARY</u> .....	125
	<u>ANEXOS</u> .....	126
	ANEXO 1: .....	127
	ANEXO 2: .....	159
	<u>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS</u> .....	161

## LISTA DE TABELAS

### TABELA

1	DIMENSÕES MÉDIAS DAS PARTÍCULAS RETIDAS EM CADA FRACÇÃO DE MALHA DA PENEIRA .....	27
2	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL .....	43
3	VALORES MÉDIOS DE MÓDULO DE RUPTURA (MOR) .....	66
4	VALORES MÉDIOS DE MÓDULO DE ELASTICIDADE (MOE) ....	74
5	VALORES MÉDIOS DE LIGAÇÃO INTERNA (LI) .....	76
6	VALORES MÉDIOS DE RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO DE PARAFUSO (RAP) .....	79
7	VALORES MÉDIOS DE VARIACÃO EM ESPESSURA (VE) .....	83
8	VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA (AA), BASE PESO .....	93
9	VALORES MÉDIOS DE TAXA DE NÃO RETORNO EM ESPESSURA (SPRINGBACK) .....	101
10	VALORES MÉDIOS DE DENSIDADE DOS PAINEIS .....	107
11	VALORES DE CORRELAÇÃO (R) ENTRE AS DIVERSAS VARIA- VEIS DO CICLO DA PRENSA .....	110
12	VALORES DE CORRELAÇÃO (R) ENTRE AS PROPRIEDADES AVALIADAS NO CICLO DA PRENSA .....	112

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

### FIGURA

1	METODO DE OBTENÇÃO DOS CORPOS DE PROVA PARA DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DAS ARVORES .....	23
2	VALORES MEDIOS DE DENSIDADE EM RELAÇÃO A POSIÇÃO NO TRONCO OBTIDAS PARA <i>Pinus taeda</i> .....	24
3	POSICIONAMENTO DOS TERMOPARES NO MOMENTO DE FORMAÇÃO DO COLCHÃO .....	32
4	DIAGRAMA DE APLICAÇÃO DE PRESSÃO DURANTE A PRENSAGEM DOS PAINÉIS .....	34
5	ESQUEMA DE DISTRIBUIÇÃO DOS CORPOS DE PROVA NOS PAINÉIS PARA AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES .....	36
6	SEQUENCIA DE PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA PARA AVALIAÇÃO DO GRADIENTE DE DENSIDADE .....	39
7	EFEITO DA UMIDADE DAS PARTICULAS SOBRE O DESENVOLVIMENTO DA TEMPERATURA EM DIFERENTES POSIÇÕES NOS PAINÉIS .....	48
8	EFEITO DA UMIDADE SOBRE O GRADIENTE VERTICAL DE DENSIDADE DOS PAINÉIS .....	50

## FIGURA

9	DESENVOLVIMENTO DA TEMPERATURA EM DIFERENTES POSIÇÕES NOS PAINÉIS INFLUENCIADO PELO TEMPO DE FECHAMENTO (TF) DA PRENSA - UMIDADE DAS PARTICULAS 10% .....	54
10	DESENVOLVIMENTO DA TEMPERATURA EM DIFERENTES POSIÇÕES NOS PAINÉIS INFLUENCIADO PELO TEMPO DE FECHAMENTO (TF) DA PRENSA - UMIDADE DAS PARTICULAS 5% .....	55
11	INFLUENCIA DA UMIDADE DAS PARTICULAS E O TEMPO DE FECHAMENTO SOBRE O GRADIENTE VERTICAL DE DENSIDADE ....	58
12	GRADIENTES DE TEMPERATURA DESENVOLVIDOS DURANTE A PRENSAGEM DOS PAINÉIS, SOB DIFERENTES CONDIÇÕES .....	60
13	INFLUENCIA DO TEMPO DE PRENSAGEM SOBRE O GRADIENTE VERTICAL DE DENSIDADE .....	61
14	VALORES MEDIOS AJUSTADOS DE MÓDULO DE RUPTURA (MOR) SOB AS DIFERENTES CONDIÇÕES IMPOSTAS .....	68
15	VALORES MEDIOS AJUSTADOS DE MÓDULO DE ELASTICIDADE (MOE), SOB AS DIFERENTES CONDIÇÕES IMPOSTAS .....	71
16	VALORES MEDIOS AJUSTADOS DE LIGAÇÃO INTERNA (LI), SOB AS DIFERENTES CONDIÇÕES IMPOSTAS .....	77
17	VALORES MEDIOS AJUSTADOS DE RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO DE PARAFUSO (RAP), SOB AS DIFERENTES CONDIÇÕES IMPOSTAS .....	80

FIGURA

18	VALORES MEDIOS AJUSTADOS DE VARIAÇÃO EM ESPESSURA (VE) SOB AS DIFERENTES CONDIÇÕES IMPOSTAS, APOS PERIODOS DE 2 E 24 HORAS DE IMERSÃO EM AGUA .....	86
19	DIFERENÇAS DE VARIAÇÃO EM ESPESSURA (VE) APOS PERIODOS DE 2 E 24 HORAS DE IMERSÃO EM AGUA .....	90
20	VALORES MEDIOS AJUSTADOS DE ABSORÇÃO DE AGUA (AA), BASE PESO, SOB AS DIFERENTES CONDIÇÕES IMPOSTAS, APOS PERIODOS DE 2 E 24 HORAS DE IMERSÃO EM AGUA ....	95
21	DIFERENÇAS DE ABSORÇÃO DE AGUA (AA), BASE PESO, APOS PERIODOS DE 2 E 24 HORAS DE IMERSÃO EM AGUA ....	97
22	VALORES MEDIOS AJUSTADOS DE TAXA DE NÃO RETORNO EM ESPESSURA (SPRINGBACK), SOB AS DIFERENTES CONDIÇÕES IMPOSTAS .....	104
23	RELAÇÃO LINEAR ENTRE O MODULO DE ELASTICIDADE (Y) E O TEMPO DE FECHAMENTO DA PRENSA (X) .....	113
24	RELAÇÃO LINEAR ENTRE A VARIAÇÃO EM ESPESSURA APOS 24 HS (Y) E A TAXA DE EVAPORAÇÃO (X) .....	114
25	RELAÇÃO LINEAR ENTRE A VARIAÇÃO EM ESPESSURA APOS 24 HS (Y) E A UMIDADE DO COLCHÃO (X) .....	115
26	RELAÇÃO LINEAR ENTRE O SPRINGBACK (Y) E A UMIDADE DO COLCHÃO (X) .....	116

FIGURA

27	RELAÇÃO LINEAR ENTRE O SPRINGBACK (Y) E A TAXA DE EVAPORAÇÃO (X) .....	117
28	RELAÇÃO LINEAR ENTRE O MODULO DE RUPTURA (Y) E O MODULO DE ELASTICIDADE (X) .....	118

## RESUMO

Esta pesquisa enfocou o estudo do ciclo da prensa na produção de chapas de partículas do tipo wafer empregando-se a espécie *Pinus taeda*. Foram analisados os efeitos das variáveis umidade das partículas (3%, 5% e 10%), tempo de fechamento dos pratos da prensa (35 e 100 s.), tempo de prensagem (8 e 15 min.) e a aplicação de 1% de parafina às partículas. Teores de umidade elevados no material proporcionaram mais rápida transferência de calor ao centro dos painéis e as mais elevadas temperaturas neste local. O tempo de fechamento de 35 s. foi o que proporcionou resultados mais positivos sobre as propriedades de resistência dos painéis. Teor de umidade de 10% contido nas partículas proporcionou menor variação em espessura, absorção de água dos painéis e taxa de não retorno em espessura. O tempo de prensagem não influiu sobre as propriedades de resistência mas para as propriedades relacionadas com a estabilidade dimensional, tempos de 15 min. proporcionaram menor variação. Também a aplicação de 1% de parafina sobre as partículas proporcionou incremento nas propriedades de estabilidade dimensional. As interações entre as variáveis estudadas foram mais pronunciadas nas propriedades de variação em espessura, absorção de água e taxa de não retorno em espessura, onde a combinação de uma ou mais variáveis proporcionou incrementos sensíveis na propriedade.

## 1 INTRODUÇÃO

A indústria de produtos florestais tem evoluído muito nos últimos anos e continua em expansão. A busca de melhor aproveitamento de recursos naturais, motivados pela escassez de matéria-prima contribui para esta evolução.

A tecnologia na produção tem sido renovada e a qualidade dos produtos ofertados aprimorada através de inúmeras pesquisas desenvolvidas visando solucionar problemas de produção.

No Brasil a indústria florestal, especialmente no setor de painéis de madeira, tem tendência a absorver mais lentamente as inovações. E como as tecnologias são na maioria das vezes importadas, a sua adequabilidade a nossas condições depende de maiores subsídios técnicos. Neste estudo dá-se prosseguimento a uma linha de pesquisas que vem sendo desenvolvidas no Setor de Tecnologia da Madeira, da Universidade Federal do Paraná, no sentido de estudar e desenvolver recursos técnicos para a introdução de novos produtos.

O processo de introdução de um novo produto no mercado deve atender a requisitos de natureza econômica como; necessidade do bem, potencial de consumo e preços de produção compatíveis. Sob o ponto de vista técnico ele deve atender a estes requisitos, possuindo ainda a melhor qualidade possível para ser atrativo ao consumidor. Desta forma o estudo de meios de

produção que otimizem estas condicionantes é imperioso.

Painéis reconstituídos de madeira possuem uma série de variáveis que podem afetar o produto final. Estas variáveis compreendem desde a espécie de madeira utilizada até a sua consolidação no estágio final de produção.

O objetivo deste trabalho é estudar o efeito de diversos parâmetros do ciclo de prensagem na produção de chapas de partículas do tipo *wafer*, verificando-se seu comportamento sob as diversas condições impostas, adequando-os ao uso final pretendido.

No Brasil o tipo mais comum de chapa de composição é conhecida como aglomerado. Os painéis estruturais *waferboard* diferem dos aglomerados pelas dimensões das partículas com que são fabricados. As partículas são maiores e as quantidades de resina necessárias menores. Este produto apresenta inúmeras aplicações como forros, assoalhos, paredes e móveis e outras aplicações onde hoje os compensados são amplamente utilizados.

Painéis de partículas do tipo *wafer* quando comparados com painéis de partículas tradicionais, apresentam algumas vantagens tais como:

- a) Produto de propriedades físico-mecânicas superiores.
- b) Produto com condições de uso estrutural.
- c) Apresenta boa trabalhabilidade.
- d) Processo de formação uniforme.
- e) Ótimo aspecto estético.
- f) Tal como as chapas de partículas convencionais, a matéria-prima não necessita de dimensões e qualidade supe-

riores.

g) Sua obtenção exigiria poucas alterações na linha de produção convencional.

h) Necessita baixos percentuais de resina sintética para a consolidação.

Como desvantagens citaríamos a necessidade de introdução de novos equipamentos de geração de partículas, adequação de estações formadoras e controle de propriedades como a estabilidade dimensional, que pode ser controlada pelo uso de aditivos como a parafina ou tratamentos especiais posteriores a formação, além do controle das variáveis envolvidas no ciclo da prensa, podendo-se então eliminar total ou parcialmente esta desvantagem.

O estudo do ciclo de prensagem torna-se relevante porque é uma das fases mais importantes do processo de produção. É onde as partículas sob condições controladas de pressão e temperatura são consolidadas no produto final. É também o estágio em que são conferidas a maior parte das propriedades e formas de uso final do produto.

A seção de prensagem tem sofrido avanços tecnológicos visando não somente a melhoria das condições de prensagem, mas também o aumento da produtividade. Surgiram inicialmente as prensas de aberturas simples que ainda continuam em uso, posteriormente surgiram as prensas de aberturas múltiplas com alta capacidade de produção, permitindo a prensagem simultânea de até 40 painéis. Também existem em operação sistemas de prensagem contínua onde as chapas são consolidadas em menos de

30 segundos, dependendo da espessura dos painéis e do tipo de resina e catalizador empregados.

### 1.1 OBJETIVOS

- Estudar o ciclo da prensa para chapas de partículas do tipo **wafer**, controlando-se e observando-se, individualmente e em conjunto o efeito das variáveis envolvidas no processo sobre as propriedades do produto final.

- Dar prosseguimento a estudos já realizados, fornecendo informações adicionais ao processo de produção deste produto.

#### . Objetivos Específicos:

- Estudar os parâmetros que influem mais acentuadamente no desenvolvimento de gradientes verticais de densidade tais como: teor de umidade das partículas, tempo de fechamento da prensa, temperatura, tempo de prensagem.

- Estudar o grau de associação entre o desenvolvimento de gradientes de densidade e as propriedades dos painéis.

- Identificar as variáveis mais importantes a serem consideradas no ciclo de prensagem para produção de painéis com características específicas, como por exemplo os requisitos para obtenção de chapas com elevada resistência, ou chapas com boa estabilidade dimensional.

### 1.2 JUSTIFICATIVA

Na produção de chapas de partículas o ciclo da prensa é

considerado uma das fases mais importantes do processo, pois é onde são definidas muitas das propriedades e características de uso final do produto. Sob o aspecto econômico é também considerado de relevância, pois a velocidade de produção é controlada pelo tempo requerido para consolidação dos painéis.

A importância científica procede da necessidade de maiores estudos sobre o processo de produção de chapas do tipo wafer. Este produto possui características de uso mais amplos que as chapas de partículas convencionais, fundamentalmente o uso estrutural.

A tecnologia de produção de chapas do tipo wafer já é desenvolvida em alguns países. Para introdução desta tecnologia no Brasil tornam-se necessários estudos de adequação às nossas condições. Trabalhos neste sentido já foram realizados por KEINERT JR.<sup>18</sup> e BRITO<sup>5</sup>. Neste trabalho pretende-se fornecer informações adicionais sobre o processo.

## 2 RÉVISÃO DE LITERATURA

Na indústria de chapas de partículas o termo ciclo da prensa é usado para definir o conjunto de condições sob as quais as partículas são prensadas e consolidadas em uma chapa, tais como: temperatura, pressão, tempo de prensagem. É considerada uma das etapas mais importantes no processo de fabricação de chapas de madeira aglomerada. É nesta fase do processo que ocorre a consolidação do material e na qual são definidas, em grande parte, as propriedades finais do produto. Também sob o aspecto econômico pode-se atribuir maior importância a esta fase. O tempo de prensagem afeta o fluxo de produção na indústria e o consumo de energia influenciando no preço final por unidade produzida.

O ciclo da prensa envolve uma série de fatores que associados conferem características distintas às chapas. O perfeito controle destas variáveis é de fundamental importância pois dele depende em grande parte a qualidade final do produto que inclusive definirá sua utilização.

Muitos trabalhos científicos têm sido realizados visando estudar os efeitos de diversas variáveis envolvidas neste processo e sua relevância para melhoria das propriedades. Entre as variáveis, maior atenção é conferida ao tempo de fechamento da prensa, ao teor de umidade das partículas, a

temperatura da prensa e ao tempo de prensagem (KELLY<sup>19</sup>,  
 HEEBINK et alii<sup>15</sup>, LEHMANN et alii<sup>21</sup>, MOSLEMI<sup>24</sup> ).

## 2.1 TEOR DE UMIDADE DAS PARTICULAS

A importância do teor de umidade do material, no ciclo da prensa, deve-se a influência que exerce sobre a resistência da madeira a compressão. Partículas com teor de umidade elevado requerem um tempo menor para atingir, sob pressão, uma desejada espessura. A umidade e a temperatura em conjunto proporcionam uma maior plasticização da madeira que oferecerá menor resistência a compactação. Também a transferência de calor desde a superfície até o miolo é facilitado em maiores teores de umidade. Há um movimento mais rápido de vapor para as camadas internas facilitando o aquecimento e a cura da resina. Por outro lado, elevados teores de umidade requerem tempos mais longos de prensagem até que uma quantidade suficiente de vapor seja liberada e permita a adesão entre partículas de camadas interiores. Segundo KELLY<sup>19</sup> uma umidade excessiva interfere na reação química de polimerização da resina, e isto ocorre especialmente nas camadas mais internas pois, assim que os pratos aquecidos da prensa tocam o material, há transferência de calor entre camadas e a umidade das camadas superficiais, mais aquecidas, migra para o interior da chapa, menos aquecido, o que dificulta o processo de cura da resina.

Importantes conclusões foram obtidas em trabalho realiza

do por MAKU <sup>\*</sup> et alii<sup>24</sup>, citados por MOSLEMI<sup>24</sup> e KELLY<sup>19</sup>. Aqueles pesquisadores estudaram a distribuição da umidade e temperatura no interior de chapas de partículas no decurso da prensagem e observaram que quando o centro do painel atinge a temperatura do ponto de evaporação, todo o calor transferido para esta camada é consumido na evaporação da água existente. Quanto maior a quantidade de água presente, um maior período de tempo é necessário para que a temperatura torne a subir no miolo da chapa e, conseqüentemente, permita a cura do adesivo. Também<sup>15</sup> HEEBINK et alii<sup>15</sup> estudando meios de reduzir o tempo de prensagem de chapas de partículas, observaram que altos teores de umidade do material requerem tempos de prensagem mais longos para que uma quantidade suficiente de umidade seja evaporada e se possa obter uma maior ligação interna. Estes autores testaram níveis de umidade nas partículas de 8%, 10%, 12% e 14% e concluíram que níveis de 10% e 12%, distribuídos uniformemente, foram os melhores para as propriedades dos painéis.

A quantidade e a distribuição da umidade no material também influi consideravelmente no gradiente vertical de densidade, que surge como resultado da desuniformidade de compactação no sentido vertical da espessura do painel, isto é, o painel não apresenta a mesma densidade nas camadas que compõem o seu perfil. O gradiente de densidade é resultante da interação de diversos fatores envolvidos no ciclo de prensagem.

---

\*MAKU, T; HAMADA R., SASAKI, H. Studies of particleboard. Part 4  
 Temperature and moisture distribution in particleboard  
 during hot pressing. Wood res., Kyoto Univ. 21:34-50, 1959

## 2.2 TEMPO DE FECHAMENTO DA PRENSA

O tempo de fechamento da prensa é o tempo de compressão das partículas desde o contato dos pratos da prensa com o material, até atingir a espessura desejada.

Normalmente o tempo de fechamento é estabelecido pelo ajuste da pressão inicial de prensagem havendo equipamentos que permitem mantê-la constante. Para altas pressões iniciais o tempo de fechamento é rápido e o material é mais densificado nas camadas superficiais que nas camadas internas. Segundo <sup>19</sup> KELLY o aquecimento das camadas superficiais ocorre rapidamente e permite a compressão das partículas destas camadas antes do aquecimento do interior (miolo). Deste modo não há uma boa distribuição da compressão através do material, proporcionando um aumento no gradiente vertical de densidade. O mecanismo de criação do gradiente de densidade através da espessura da chapa é analisado por <sup>23</sup> MALONEY como sendo devido a transmissão de calor das faces do material até o miolo. A umidade, que exerce grande influência no tempo de fechamento da prensa, vaporiza e plastifica a madeira, tornando mais fácil a compressão. A plastificação ocorre inicialmente nas camadas superficiais e, para um rápido tempo de fechamento, o miolo ainda frio torna-se mais resistente a aplicação da pressão. Em um tempo de fechamento mais lento há pouca pressão sendo exercida sobre o material e conseqüentemente, pouca compressão das camadas superficiais. Uma distribuição mais uniforme de densidade é obtida ao longo do painel.

<sup>34</sup>

Para SUCHSLAND a densificação do colchão durante o

tempo de fechamento não é uniforme ao longo da chapa, devido ao efeito do teor de umidade e temperatura na deformação de compressão. Cada camada de partículas é comprimida de acordo com a última força de compressão atingida durante o tempo de fechamento.

15

HEEBINK *et alii* realizando estudos visando reduzir o tempo de prensagem de chapas de partículas, constataram que para um tempo mais lento de fechamento da prensa a densidade no miolo dos painéis tende a aumentar, enquanto que a densidade das camadas superficiais tende a decrescer, resultando em painéis com elevada ligação interna mas baixas propriedades de resistência.

19

Para KELLY um tempo muito longo de fechamento faz com que a resina nas partículas em contato com os pratos aquecidos da prensa polimerize antes que um contato suficiente entre as partículas tenha ocorrido, resultando na redução da adesão do material e causando pré-cura nas camadas superficiais, o que reduz as propriedades de resistência.

Estudos sobre a influência da velocidade de fechamento da prensa para produção de chapas tipo waferboard foram realizados por SMITH<sup>29</sup> que encontrou maiores propriedades de resistência (MOR, MOE) para um rápido fechamento da prensa (30 s.) e em painéis de maior densidade, entretanto contrariando as observações de outros autores (HEEBINK *et alii*<sup>15</sup>, KELLY<sup>19</sup>, MALONEY<sup>23</sup>, MOSLEMI<sup>24</sup>), o pesquisador registrou elevados valores de ligação interna para painéis de alta densidade, prensados sob um tempo de fechamento mais rápido (30 s.). O

autor concluiu que outros fatores não determinados em seu trabalho podem ter influido no mecanismo de ligação interna das chapas wafer. Segundo ele, um tempo menor para o fechamento da prensa seria o mais indicado para a fabricação deste tipo de painel, desde que permita uma aceitável permeabilidade do miolo das chapas, isto é, uma rápida dissipação de vapor interno.

### 2.3 TEMPO DE PRENSAGEM

Quando espaçadores são empregados na prensagem de chapas de partículas, o tempo de prensagem refere-se ao intervalo de tempo decorrido desde o momento em que os espaçadores são atingidos pelos pratos da prensa até o momento em que a prensa é reaberta.

No decorrer da prensagem ocorre a transferência de calor para as camadas interiores da chapa, o que provoca a liberação de umidade sob a forma de vapor e permite a cura da resina nestas camadas. O tempo mínimo requerido para a prensagem, na opinião de LEHMANN <sup>21</sup> et alii, depende basicamente da transferência de calor através do painel, da temperatura da prensa, do tempo de fechamento da prensa e da distribuição da umidade nas partículas.

Reduções no tempo de consolidação das chapas são mais desejáveis economicamente pois implicam em uma maior produção por unidade de tempo decorrido. Estudos procurando reduzir <sup>15</sup> tempos de prensagem foram realizados por HEEBINK et alii que estudando a interação de diversas variáveis observaram que o

principal efeito do decréscimo no tempo de prensagem é a redução nas propriedades de resistência. Estes pesquisadores apontaram uma redução na ligação interna dos painéis de aproximadamente  $1,75 \text{ Kg/cm}^2$  para cada minuto reduzido no tempo de prensagem. Também observaram sensíveis aumentos na espessura das chapas após retiradas da prensa como efeito da redução no tempo de prensagem. Isto é compreensível pois tempos mínimos são necessários para que ocorra a cura da resina e a perda de uma certa quantidade de umidade.

<sup>24</sup>MOSLEMI diz que um tempo relativamente longo de prensagem influi no teor de umidade da chapa retirada da prensa. Isto conduz a uma redução no não retorno em espessura (spring-back) já que uma polimerização mais completa ocorre no material comprimido tornando-o capaz de reter a consolidação forçada. <sup>24</sup>MOSLEMI acrescenta que o desenvolvimento de adesivos com capacidade de cura mais rápida pode contribuir para a redução dos tempos de prensagem. Atualmente segundo o autor, o tempo de prensagem necessário em prensas de múltiplas aberturas à temperatura de  $163 \text{ C}^\circ$  é de aproximadamente 12 a 21 s. para cada milímetro de espessura de chapa com teor de umidade de  $8 \pm 2\%$ . Para prensas de abertura simples, com temperatura de  $180 \text{ a } 200 \text{ C}^\circ$  o tempo de prensagem pode variar de 6 a 11 s. por milímetro de espessura de chapa. Mas conforme observam LEHMANN <sup>21</sup> et alii, KELLY <sup>19</sup>, HEEBINK <sup>15</sup> et alii, outros fatores devem ser considerados.

## 2.4 TEMPERATURA DA PRENSA

A principal função da temperatura da prensa na produção de aglomerados é auxiliar na consolidação das chapas na densidade e espessura desejados pela aceleração da polimerização do adesivo distribuído entre as partículas e a plasticização da madeira, reduzindo a resistência a compressão.

Se a prensa não é suficientemente aquecida, MOSLEMI<sup>24</sup> afirma que a pressão necessária para densificar o material e aumentar a área de contato entre as partículas é muito elevada. O aquecimento das partículas permite também uma redução na viscosidade da cola reduzindo sua tensão superficial e permitindo seu escoamento e recobrimento de maior superfície de partículas. A redução da viscosidade da cola é um processo muito rápido e após alguns segundos aumenta, resultando na cura do adesivo (MOSLEMI<sup>24</sup>).

Para KELLY<sup>19</sup> a transferência de calor não sendo uniforme através da espessura das chapas faz com que partículas de camadas superficiais tenham tendência a curar mais rapidamente que partículas de camadas centrais. Para elevadas temperaturas da prensa há uma transferência mais rápida de calor para o miolo, mas esta velocidade depende de outros fatores como a umidade das partículas e a uniformidade de sua distribuição. Temperaturas elevadas podem reduzir o tempo de prensagem.

Uma redução de 1 a 2 minutos no tempo de prensagem foi conseguido por HEEBINK et alii<sup>15</sup> usando partículas com distribuição uniforme de umidade, quando a temperatura da prensa foi aumentada de 190 a 246 C. As propriedades de resistência das

chapas decresceram levemente, enquanto que a ligação interna aumentou como resultado das mudanças de gradiente de densidade produzidos pela alta temperatura. Semelhantes conclusões são apontadas por KELLY<sup>19</sup> que cita o resultado de um trabalho realizado por LIIRI<sup>\*</sup> que observou uma diminuição na pressão máxima necessária para compactar uma quantidade de material a medida que a temperatura foi aumentada. Este fato torna-se compreensível pois com o aumento da temperatura a madeira torna-se menos resistente a compressão.

Estudos realizados por SMITH<sup>29</sup> sobre ciclos de prensagem mais adequados para produção de chapas wafer demonstraram que o tempo necessário para que o centro de chapas de 19 milímetros de espessura atingissem a temperatura de 149 °C, permitindo a cura da resina fenólica empregada, foi menor em um tempo de fechamento de 30 segundos a uma temperatura da prensa de 210 °C. LEHMANN et alii<sup>21</sup>, que empregaram catalizadores em resinas fenólica e uréica na produção de chapas de partículas, observaram que um tempo mínimo de 20 segundos à temperatura de 105 °C no miolo das chapas foi suficiente para a cura de resinas uréica. Já para as resinas fenólicas o tempo necessário para a cura foi de 96 segundos. Os adesivos fenólicos demonstraram ser mais sensíveis ao teor de umidade no interior do colchão durante a prensagem, ao contrário das resinas uréicas.

-----  
 \*LIIRI, O. The pressure in the particleboard production. Holz Roh-Werkst, 27(10):371-378. 1969.

## 2.5 PRESSÃO

A importância da pressão aplicada sobre as partículas deve-se a influência que exerce sobre a área de contato do material, e sobre a consolidação do painel através da compressão das partículas até a espessura desejada.

<sup>24</sup>  
MOSLEMI analisando a influência da pressão na consolidação de chapas de partículas afirma que se uma grande área de contato entre as superfícies for conseguida, o resultado serão chapas com elevada resistência. Isto pode ser atribuído ao efeito de uma melhor distribuição do adesivo sobre a superfície das partículas. Quando pouca resina é aplicada há a necessidade de aplicação de pressões elevadas de modo a permitir um maior contato do material.

Quantidades elevadas de umidade permitem a compressão mais fácil das partículas, reduzindo a pressão necessária para levar-se o material a espessuras desejadas devido ao efeito de plasticização da madeira.

A compressão do colchão sob determinada pressão não é instantânea, segundo SUCHSLAND <sup>34</sup>, isto é devido as alterações em temperatura e umidade do material em função do tempo e localização, fazendo com que a compressão torne-se um fenômeno gradativo.

O desenvolvimento da pressão é distinto quando espaçadores são empregados para limitar a espessura dos painéis. Quando o material é comprimido até a espessura desejada, atingindo os espaçadores, a pressão aplicada sobre as partículas tende a diminuir sendo em parte transferida para os

36  
espaçadores. Para SUCHSLAND & WOODSON a pressão na chapa diminui em função do tempo, devido as variações em temperatura e teor de umidade que ocorrem no material imediatamente após o contato com os pratos aquecidos da prensa. Durante os primeiros instantes em que o material é comprimido a pressão necessária para a compactação é elevada, diminuindo quando a espessura desejada é obtida.

Além destes fatores mais diretamente relacionados ao ciclo de prensagem, outros parâmetros exercem influência sobre o desenvolvimento da prensagem.

Pesquisadores têm feito referências a importância que se deve atribuir a quantidade e tipo de resina aplicada às partículas, e o efeito desta variável sobre o processo de consolidação dos painéis. A associação com as variáveis do ciclo de prensagem se dá através do tempo requerido para cura, distribuição sobre as partículas, áreas de contato entre as superfícies, o que condiciona aquelas variáveis a valores mínimos indispensáveis.

As espécies florestais empregadas também exercem influência sobre os parâmetros de prensagem. Isto é compreensível pois as características anatômicas particulares estão presentes nas partículas submetidas a condição de compressão, o que influi na resistência oferecida a compactação sob condições de pressão e temperatura.

A geometria das partículas representa uma função particular permitindo ou dificultando a transferência de calor através da espessura do painel submetido a prensagem.

MAKU <sup>\*</sup> *et alii* citados por MOSLEMI <sup>24</sup> e KELLY <sup>19</sup>, constataram que partículas do tipo granular permitiram uma maior liberação de vapor e transferência de calor ao longo da chapa que aquelas produzidas de partículas do tipo flake.

## 2.6 GRADIENTE VERTICAL DE DENSIDADE

É a variação existente na distribuição da densidade ao longo da espessura da chapa de partículas.

O efeito da combinação das variáveis do processo de prensagem sobre as características do painel, pode ser analisado através da observação do comportamento do gradiente vertical de densidade. Algumas propriedades, como a ligação interna, a resistência ao arrancamento de parafuso e flexão estática, estão diretamente associados a composição do perfil de densidade (SUCHSLAND & WOODSON <sup>36</sup>, KELLY <sup>19</sup>, GEIMER <sup>12</sup> *et alii* ).

A diferenciação de densidade ao longo da chapa ocorre durante a prensagem. Quando a velocidade de fechamento dos pratos é rápida a espessura final é atingida antes que suficiente quantidade de calor seja transferida ao miolo do material. Como as camadas superficiais estão mais aquecidas, oferecerão menor resistência a compressão do que as camadas interiores ainda frias. O efeito é a maior compactação destas camadas em relação as interiores. Entretanto, se uma velocidade menor de fechamento dos pratos é aplicada, há tempo

-----  
\* obra citada página 8

suficiente para que a temperatura aumente no interior do material, permitindo uniforme distribuição da pressão aplicada sobre o colchão e densificação mais uniforme, antes de atingir a espessura final.

29

Esta constatação foi feita também por SMITH prensando chapas tipo wafer de 19mm de espessura em tempos de fechamento da prensa de 30 e 100 segundos. No primeiro caso o perfil de densidade dos painéis assumiu a forma de U. Na segunda situação o perfil apresentou formato de M, atribuído a elevadas concentrações de umidade nas camadas intermediárias do colchão.

36

SUCHSLAND & WOODSON analisando os efeitos de variáveis do ciclo de prensagem sobre o gradiente de densidade de chapas de fibras de média densidade, concluíram que a distribuição da densidade ao longo da espessura das chapas pode ser controlada em uma prensa convencional variando a pressão e temperatura dos pratos. Boa distribuição de densidades também pode ser obtida pré-prensando o material à frio e posteriormente à quente. Dizem ainda que a distribuição da densidade em chapas MDF não foi diferente das desenvolvidas em chapas de partículas.

## 2.7 MECANISMOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR, PERDA DE UMIDADE E CONSOLIDAÇÃO DAS CHAPAS

Uma importante análise dos efeitos da umidade presente no colchão de partículas e o mecanismo de consolidação dos painéis foi apresentado por STRICKLER .

32

"Quando os pratos aquecidos da prensa tocam o colchão de partículas, um gradiente decrescente de temperatura se estabelece entre a superfície do colchão e o centro. Este gradiente diminui a medida que a temperatura do centro aumenta. Um segundo gradiente decrescente de temperatura se estabelece do meio da chapa para as bordas quando o calor atinge o centro. O calor somente fluirá enquanto existir um gradiente de temperatura, e o fluxo de calor se dá por três modos: condução, convecção e radiação. A radiação contribui um pouco para o fluxo de calor através dos espaços de ar, portanto seu efeito é considerado desprezível.

A madeira é pobre condutora. A compactação através da pressão aplicada aumenta a condutibilidade térmica da madeira, mas a convecção é a causa da mais rápida penetração de calor na chapa. O fato que a umidade contribui mais que a pressão para a rápida penetração de calor ao centro da chapa suporta esta teoria.

Quando os pratos da prensa aquecida fecham sobre um colchão de partículas, as placas de alumínio aquecem muito rapidamente. A temperatura da superfície dos pratos é reduzida temporariamente. Dependendo do sistema de suprimento de calor da prensa, os pratos podem recuperar a temperatura máxima para as quais foram regulados em 1 ou 2 minutos. Logo que a superfície do colchão iguala-se a temperatura dos pratos a razão de transferência de calor dos pratos para a madeira é governada pelo gradiente de temperatura e não pelo teor de umidade. Entretanto a razão com que o calor move-se através da chapa

desde a superfície é função primeiramente do teor de umidade. Conseqüentemente o teor de umidade controla a razão com que o gradiente de temperatura muda. A umidade na superfície das partículas instantaneamente passa a vapor segundos após o fechamento da prensa. A pressão de vapor nos espaços de ar na superfície também aumenta. Então um gradiente de pressão de vapor é estabelecido desde a superfície da chapa até o centro, em resposta ao gradiente de temperatura. Do mesmo modo um gradiente de pressão de vapor concomitante é estabelecido da área central da chapa para as bordas. E o gradiente de pressão que faz com que o vapor flua através do plano central da chapa para as bordas. A transmissão de calor por convecção pode ser observada como sendo um efeito do gradiente de temperatura por meio do correspondente gradiente de pressão de vapor.

Como as camadas superficiais secam com o decorrer do tempo, a pressão de vapor é reduzida nestas camadas enquanto acumula-se umidade nas camadas centrais e a pressão de vapor aumenta correspondentemente.

Deste modo o gradiente de pressão de vapor estabelecido desde a superfície ao centro, no início do ciclo de prensagem, tende a reverter por si mesmo. Entretanto a umidade não pode fluir para a superfície porque o gradiente de temperatura repele esta tendência.

O vapor de água necessita então, seguir a linha de menor resistência e, conseqüentemente fluir ao longo do gradiente de pressão de vapor em direção as bordas da chapa. Isto mostra que aumentos no teor de umidade causam rápida razão de pene-

tração de calor ao centro da chapa.

Pode-se observar que um constante ciclo de formação de vapor, fluxo de vapor às áreas frias e conseqüentemente condensação pode ocorrer. A umidade condensada acumula-se nas camadas centrais mais frias da chapa até que a umidade perdida pelos bordos exceda a migração de umidade das camadas superficiais para as camadas centrais.

O processo de acúmulo de umidade nas áreas de baixa temperatura é confirmado pelo fato que imediatamente após a prensagem, as áreas das bordas das chapas possuem maior teor de umidade que as áreas centrais. As bordas das chapas durante a prensagem são naturalmente mais frias que o centro já que é permitido ao calor escapar somente pelas bordas. A menor temperatura nas bordas permite maior concentração de umidade condensada nesta região que nas áreas centrais.

As leis naturais de pressão de vapor não se aplicam diretamente às chapas de partículas porque a umidade nas chapas não está no estado livre, a menos que o teor de umidade exceda o ponto de saturação das fibras. Se o teor de umidade não excede o PSF, a pressão de vapor é a mesma que aquela da água livre a uma certa temperatura."

### 3 MATERIAL E METODOS

#### 3.1 MATERIA-PRIMA

Foi empregada a espécie *Pinus taeda* com árvores provenientes de um povoamento localizado no município de São José dos Pinhais-Pr, altitude de 930m, latitude  $25^{\circ} 45'$ , longitude  $49^{\circ} 2' 30''$ , espaçamento entre árvores de 2,5 X 2,5 metros com idade de 9 anos. Foram coletadas aleatoriamente 32 árvores com diâmetro médio de 18,85 cm, altura média de 11,1 m. Após o abate as árvores foram seccionadas em toretes de 2 m. de comprimento sendo devidamente identificadas para posterior determinação da densidade. A escolha desta espécie deveu-se a estudos anteriores realizados por BRITO<sup>5</sup> e por sua vasta ocorrência no estado do Paraná.

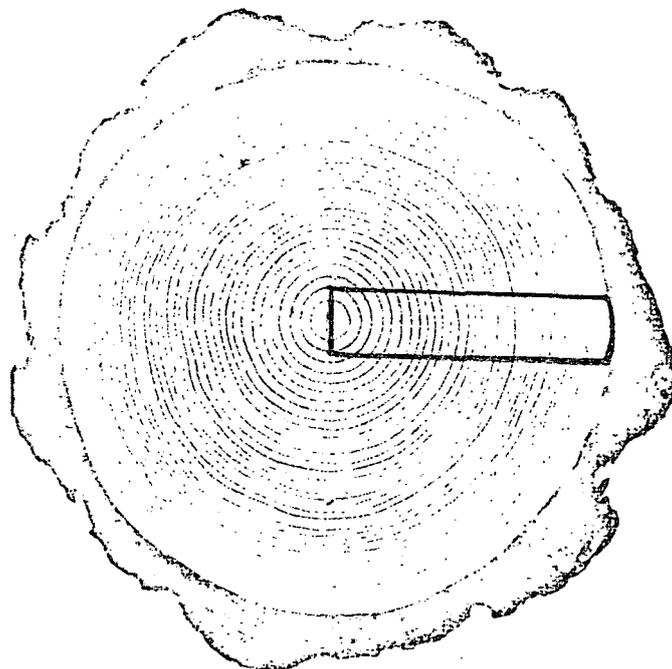
#### 3.2 DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DA ESPECIE

Tendo sido obtidos em média 3 toretes de 2 m. por árvore, tornou-se a seccioná-los em comprimento de 1 m., sendo retirada uma fração da parte inferior para extração de corpos de prova a serem usados na determinação da densidade. Deste modo, de cada uma das 32 árvores foram retirados em média 6 corpos de prova ao longo do comprimento do tronco nas dimen-

sões de 2,5 X 2,5 cm. com comprimento igual a distância da medula até a casca, excetuando-se esta. Por meio deste procedimento obteve-se nos corpos de prova frações de todos os anéis de crescimento (Figura 1).

Adotou-se esta metodologia procurando-se abranger as variações de densidade no sentido medula casca e no sentido da base ao topo das árvores.

FIGURA 1. METODO DE OBTENÇÃO DOS CORPOS DE PROVA PARA DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DAS ARVORES



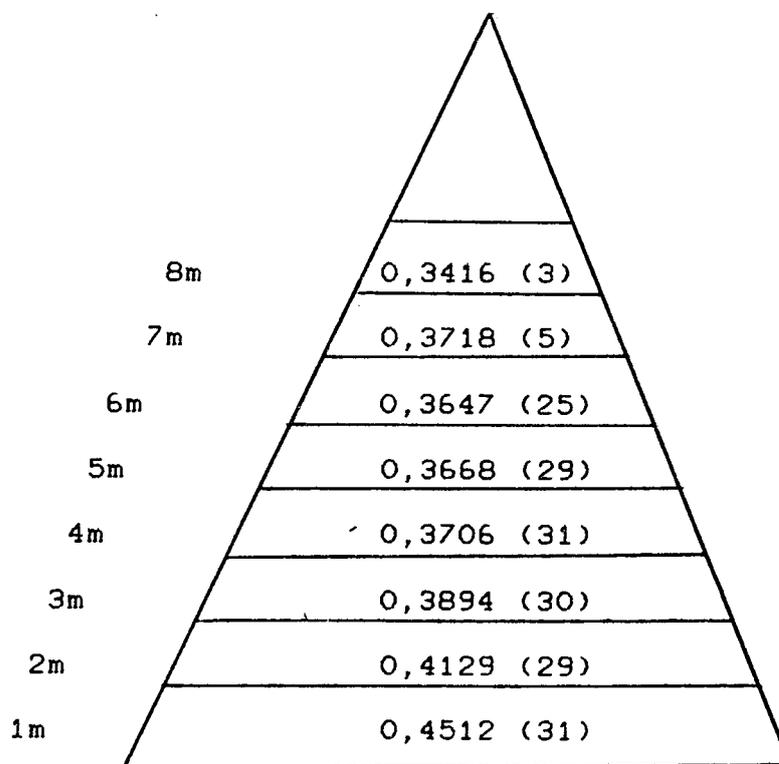
Como o comprimento dos corpos de prova foi variável, optou-se pela utilização dos procedimentos descritos na norma

ASTM D 2395/69<sup>1</sup> Método B, que compreende o envolvimento dos corpos de prova com fina camada de parafina e obtenção do volume por imersão em água. O peso foi obtido após condicionamento para uma umidade de equilíbrio de 12% em câmara com umidade relativa de 65% e temperatura de 20 °C.

Os valores médios de densidade em diferentes posições no tronco são apresentados na Figura 2.

FIGURA 2. VALORES MEDIOS DE DENSIDADE EM RELAÇÃO A POSIÇÃO NO TRONCO OBTIDAS PARA *Pinus taeda*

(Os números entre parênteses representam o número de árvores que constituem a média)



Densidade Média = 0,3836 g/cm<sup>3</sup>

Altura Média = 11,1 m

Diâmetro Médio = 18,85 cm

### 3.3 PREPARAÇÃO DA MATERIA PRIMA

#### 3.3.1 Obtenção das partículas

Tendo-se retirado a casca das árvores, o procedimento seguinte constou no corte do material através de serra fita, em frações menores que permitissem um manuseio mais prático e se adequassem as dimensões do gerador de partículas tipo disco. Assim sendo, logo após os pequenos blocos de madeira ainda verde foram submetidos ao corte em partículas.

O comprimento pode ser regulado através do ajuste de pequenas protuberâncias do disco anteriores às facas de corte.

O sentido de corte foi tangencial às fibras e a espessura de corte foi regulada de forma a obter-se uma espessura média para as partículas quando secas de 0,5mm e comprimento de 3,0cm. A largura das partículas não foi controlada.

#### 3.3.2 Secagem das partículas

A variável umidade das partículas é ponto de um acompanhamento específico neste trabalho e, portanto a condução da secagem seguiu alguns cuidados especiais. Primeiramente, após a obtenção das partículas estas foram expostas ao ar livre para permitir a perda da umidade excessiva e após, apresentando um teor de umidade entre 15 a 20% foram colocadas em estufa com ventilação a base de ar forçado, à temperatura de 80<sup>o</sup> C. O volume do material colocado na estufa foi estimado de forma a obter-se, ao final da secagem, um peso em torno de 3Kg de partículas secas, equivalente ao peso neces-

sário para fabricação de um painel. O tempo de secagem oscilou em função do percentual de umidade requerido (3%, 5% ou 10%). O acompanhamento da perda de umidade foi feito através de amostras sucessivas. Ao final de cinco medições consecutivas, com percentual de umidade constante, o material era retirado da estufa e acondicionado em embalagens plásticas para ser posteriormente peneirado eliminando-se os finos. A malha utilizada na peneira foi de 10 mesh.

### 3.3.3 Dimensões das partículas

Após a secagem e peneiração procedeu-se a uma avaliação das dimensões das partículas. Tendo-se distribuído o material em embalagens individuais, de cada uma delas retirou-se uma amostra de 25g de partículas. Estas amostras foram colocadas em uma peneira vibratória provida de malhas nas dimensões de 3/8", 3/4", 1" e 1 1/4" (polegadas).

Cada porção retida pelas malhas foi pesada e medidas a largura, comprimento e espessura das partículas. As dimensões médias são apresentadas na Tabela 1.

TABELA 1. DIMENSÕES MÉDIAS DAS PARTÍCULAS RETIDAS EM CADA  
FRAÇÃO DE MALHA DA PENEIRA (78 amostras medidas)

Malha (polegadas)	Média percentual de peso retido	Média espesura (mm)	Média da largura (cm)	Média do comprimento (cm)
1 1/4	8,2	0,4997	4,08	3,73
1	10,4	0,4855	3,52	3,57
3/4	24,6	0,4809	2,69	3,33
3/8	43,6	0,4789	1,98	2,87
0 Resíduos	13,2	0,4367	0,946	2,33

### 3.4 FORMAÇÃO DAS CHAPAS

#### 3.4.1 Cálculo da quantidade de material necessário

Na pesagem da quantidade de partículas requeridas para cada painel, adotou-se os seguintes procedimentos:

1. A densidade desejada para as chapas seria de  $0,7 \text{ g/cm}^3$  após condicionadas para uma umidade de equilíbrio de 12%. Considerando-se que as dimensões de cada painel seriam de  $50 \text{ cm} \times 50 \text{ cm} \times 1,3 \text{ cm}$ , teríamos:

$$D = \frac{P}{V}$$

$$P = D \times V$$

$$P = 0,7 \text{ g/cm}^3 \times 3575 \text{ cm}^3$$

$$P = 2502,5 \text{ gramas} \cong 2503 \text{ g}$$

onde:

$D =$  densidade do painel ( $\text{g/cm}^3$ );

$P =$  peso do painel após condicionado a 12% (gramas)

$V =$  volume do painel ( $\text{cm}^3$ ).

2. Levando-se em consideração que neste peso calculado devem estar incluídos o percentual de sólidos resinosos e de parafina (quando utilizada) e também 12% de umidade, teríamos este peso distribuído da seguinte forma:

100% - partículas secas a 0%

1% - parafina

5% - resina

12% - água (após o condicionamento)

-----  
118% - total

De onde se extrai:

100%	- partículas secas	=	2121,0 g
1%	- parafina	=	21,2 g
5%	- sólidos resina	=	106,0 g
12%	- água	=	254,5 g
118%	- Total	=	<u>2503,0 g</u>

3. Como temos diferentes teores de umidade requeridos para os tratamentos, o peso equivalente das partículas úmidas nos percentuais de 3%, 5% e 10% será encontrado do seguinte modo abaixo exemplificado para partículas com 5% :

$$\text{Púmido} = 2121 \text{ g} \times 1,05\% = 2227 \text{ g de partículas com umidade de 5\%}$$

4. Os percentuais de resina e parafina a serem aplicados são baseados no peso sólido a ser aplicado sobre o peso de partículas secas a 0%;

$$5\% \text{ resina} = 106 \text{ g sólidos}$$

$$1\% \text{ parafina} = 21,2 \text{ g sólidos.}$$

#### 3.4.2 Aplicação de resina e parafina

No delineamento experimental previu-se a aplicação de 5% de resina fenol-formaldeído e 1% de parafina (base peso seco) sobre as partículas. Esta última podendo ou não ser aplicada em função do tratamento.

O percentual de sólidos da resina fenólica foi de 46,67%. A metodologia aplicada para verificação deste percentual se-

guiu os procedimentos recomendados pela ASTM D 1582-60 (81) <sup>2</sup>.

O teor de sólidos da parafina foi de 34%.

O ph medido da resina fenólica foi de 12 e a viscosidade medida em viscosímetro BROOKFIELD foi de 738 Cpa. Como a resina se apresentasse excessivamente viscosa para aplicação através de aspersores houve a necessidade de adicionar-se um percentual de 2% de água, seguindo-se recomendação do fabricante. Neste caso houve redução da viscosidade para 477 Cpa e do percentual de sólidos para 45,41%.

A aplicação de resina e parafina sobre as partículas foi feita em um tambor rotativo através de pistola de ar comprimido, de modo a haver uma aspersão uniforme sobre o material.

### 3.4.3 Formação do colchão

As partículas já com parafina e resina aplicados foram depositadas manualmente em uma caixa de formação nas dimensões de 50 x 55 cm. Foram utilizadas placas de alumínio nas superfícies para evitar o contato direto do material com os pratos da prensa.

3.4.3.1 Uso de termopares - Desejava-se efetuar o acompanhamento do desenvolvimento da temperatura no interior dos painéis no momento da prensagem à quente. A solução encontrada foi a instalação no interior do colchão, de canais termopares ligados a um aparelho registrador. O princípio de funcionamento do aparelho potenciômetro consta na medição e registro da diferença de resistência a passagem de corrente elétrica entre dois materiais condutores diferentes sob deter-

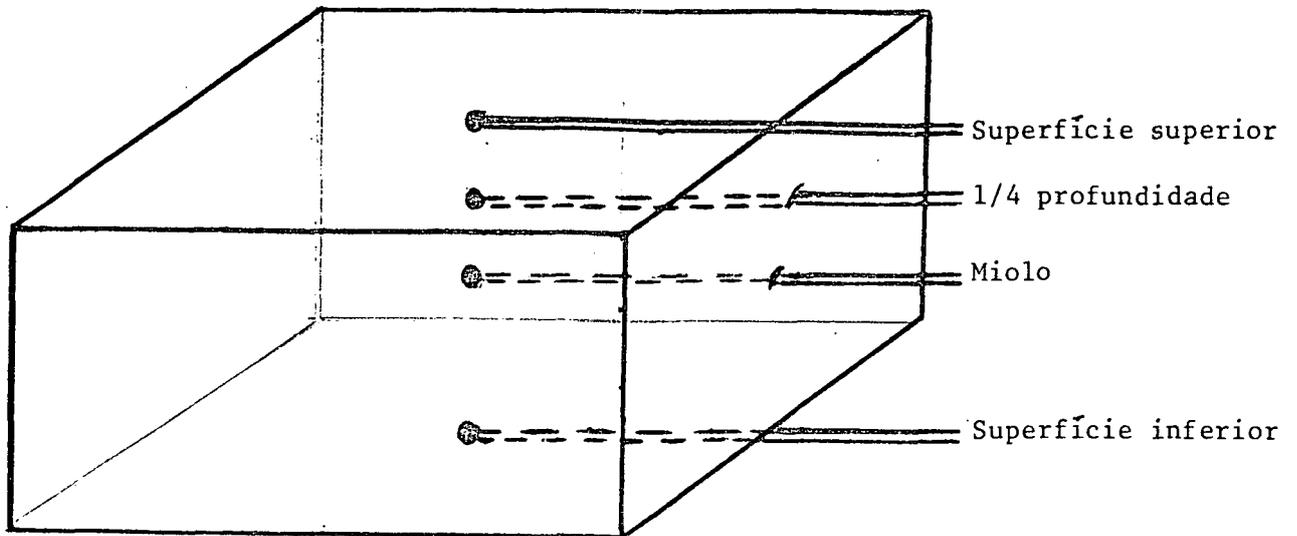
minada temperatura.

Estes pares foram instalados nas 78 chapas produzidas, em diferentes camadas, o processo adotado constou do seguinte:

Logo após a aplicação de resina e parafina (quando utilizada) as partículas foram pesadas. Com base no peso total, após a deposição de 50% deste peso na formadora, posicionava-se um termopar no centro do painel. A seguir distribuía-se mais 25% do peso restante de partículas, quando se teria atingido teoricamente,  $2/3$  da espessura do colchão. Um segundo termopar foi posicionado nesta camada e então, o restante das partículas era distribuído.

Sobre as superfícies superior e inferior das chapas também foram colocados termopares, tendo-se condições de acompanhar a evolução da temperatura em quatro pontos do colchão de partículas a ser consolidado: superfícies superior e inferior,  $1/4$  da espessura e  $1/2$  da espessura. Evidentemente este posicionamento não foi rígido em virtude das dificuldades de se estabelecer precisamente as posições no colchão (Figura 3).

FIGURA 3. POSICIONAMENTO DOS TERMOPARES NO MOMENTO DE FORMAÇÃO DO COLCHÃO



### 3.5 PRENSAGEM

Tendo-se concluído o processo de formação, o colchão formado foi conduzido a prensa.

#### 3.5.1 Tempo de fechamento

Uma das variáveis do plano experimental constituía-se no controle do tempo de fechamento dos pratos da prensa, que foi regulado para 35 ou 100 segundos conforme estabelecido.

Mantendo-se a pressão específica constante em  $40 \text{ Kg/cm}^2$  a regulagem do tempo de fechamento foi realizada através de uma válvula pressostática que permitia a aceleração ou redução da velocidade de avanço do pistão hidráulico através de graduação específica do fluxo de óleo. Pequenas variações ocorreram devidas a constituição de cada colchão de partículas.

A contagem do tempo iniciava-se no momento em que a superfície superior do colchão era atingida até o encontro com os espaçadores quando então iniciava-se a cronometragem do tempo de prensagem.

#### 3.5.2 Tempo de prensagem

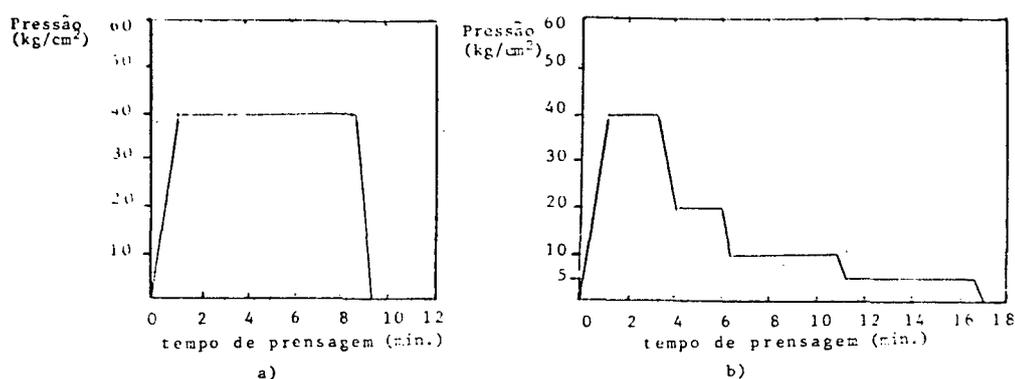
Também constituiu-se em uma variável experimental sendo em parte dos tratamentos de 8 minutos e de 15 minutos nos demais. Para o tempo de prensagem de 8 min. a pressão específica foi mantida constante, enquanto que para o tempo de 15 min. de prensagem a pressão foi assim aplicada:

Pressão específica de prensagem:

8 minutos:  $40 \text{ Kg/cm}^2$

15 minutos:	2 min. -	40 Kg/cm <sup>2</sup>	2
	2 min. -	20 Kg/cm <sup>2</sup>	2
	5 min. -	10 Kg/cm <sup>2</sup>	2
	6 min. -	5 Kg/cm <sup>2</sup>	2
Total	15 min.		

FIGURA 4. DIAGRAMA DE APLICAÇÃO DE PRESSÃO DURANTE A PRENSAGEM DOS PAINÉIS



Encerrado o ciclo de prensagem as chapas foram retiradas da prensa e imediatamente pesadas.

Uma observação importante que deve ser feita refere-se ao tempo total de prensagem que compreende a soma do tempo de fechamento mais o tempo de prensagem. Sendo portanto variável em função do tratamento aplicado.

### 3.6 CONDICIONAMENTO

Tendo sido devidamente identificados e esquadrejados os painéis foram acondicionados em câmara de climatização à temperatura de  $20 \pm 3$  °C e umidade relativa do ar de 65%, esperan-

do-se obter uma umidade de equilíbrio média de 12%.

### 3.7 AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DOS PAINÉIS

Para avaliação das propriedades dos painéis adotou-se os procedimentos recomendados pela norma americana ASTM D-1037<sup>3</sup>.

As propriedades avaliadas foram:

. Propriedades de resistência:

- Módulo de ruptura - 3 corpos de prova por painel
- Módulo de elasticidade - 3 corpos de prova por painel
- Ligação interna - 3 corpos de prova por painel
- Arrancamento de parafuso - 1 corpo de prova por painel

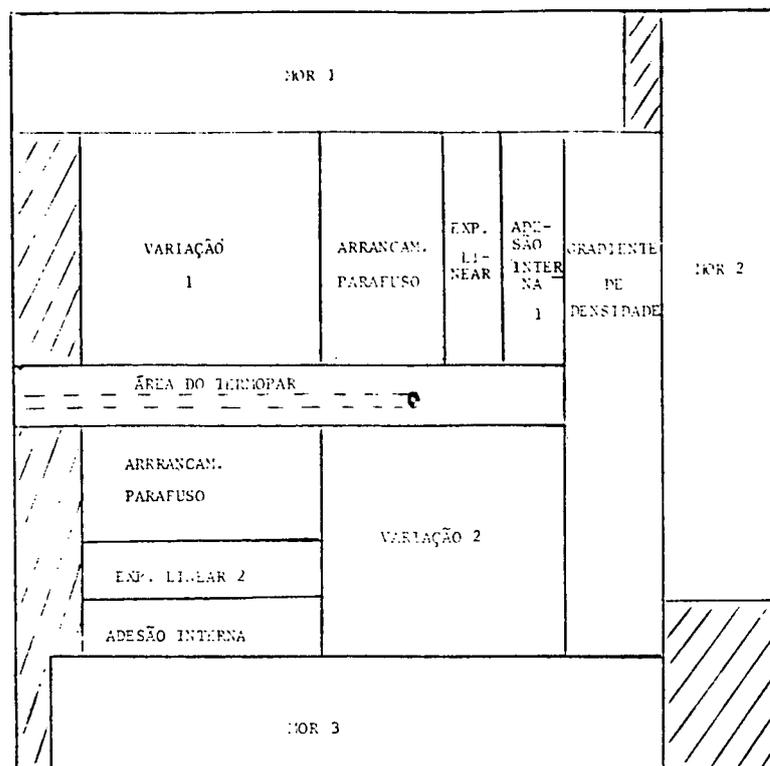
. Estabilidade dimensional:

- Absorção de água e variação em espessura - 2 corpos de prova por painel.

A única avaliação de propriedade que não seguiu a norma ASTM D 1037<sup>3</sup> foi o teste de ligação interna. Neste caso os procedimentos adotados basearam-se em um método proposto por SUCHSLAND<sup>35</sup> baseado na relação existente entre a tensão de cisalhamento com a ligação interna. Em princípio os corpos de prova rompiam superficialmente tendo sido necessário acepillar 1 milímetro das superfícies superior e inferior para retirada das camadas menos densas e evitar que o corpo de prova rompesse na linha mais degradada e melhor representasse a variação interna.

A distribuição dos corpos de prova em cada painel é apresentada na Figura 5.

FIGURA 5. ESQUEMA DE DISTRIBUIÇÃO DOS CORPOS DE PROVA NOS PAINÉIS PARA AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES



### 3.8 GRADIENTE VERTICAL DE DENSIDADE

Para uma melhor avaliação dos efeitos dos tratamentos aplicados sobre a consolidação dos painéis, decidiu-se proceder a uma análise minuciosa da densidade das camadas de partículas constituintes da espessura das chapas.

O método adotado consistiu no que segue:

1. Tomando-se corpos de prova de 6 cm x 35 cm x 1,3 cm (1 por painel) após sua pesagem e medição das dimensões, dividia-se este corpo de prova ao meio, obtendo-se duas partes de 2,8

cm x 35 cm x 1,3 cm (Figura 6a).

2. Uma das partes era virada ao contrário e ambas acepilhadas para redução a uma espessura comum (Figura 6b).

3. Posteriormente as partes eram coladas uma sobre a outra medindo-se as novas dimensões e peso (Figura 6c).

A partir deste ponto, através de passagens sucessivas em acepilhadeira, eram retiradas camadas de partículas de 0,5 mm de espessura. O corpo de prova era novamente pesado e medido a cada passagem, sucessivas vezes, até atingir-se o miolo da chapa.

O total de corpos de prova utilizados foi de 78, sendo 5 para cada tratamento aplicado, excetuando-se duas perdas. O número médio de passagens para cada corpo de prova foi de 22. Onze passagens a partir da superfície superior ao miolo e, onze passagens da superfície inferior ao miolo.

Os métodos de cálculo da densidade de cada camada e a posição desta camada em relação a espessura original são apresentados a seguir:

1. Densidade do corpo de prova original

$$D = \frac{\text{Peso}}{\text{Espessura} \times \text{largura} \times \text{comprimento}}$$

$$D = \frac{\text{Peso}}{1,3 \text{ cm} \times 6,0 \text{ cm} \times 35,0 \text{ cm}}$$

2. Densidade da camada de partículas retirada

$$D = \frac{P_1 - P_2}{(E_1 - E_2) \times \text{largura} \times \text{comprimento}}$$

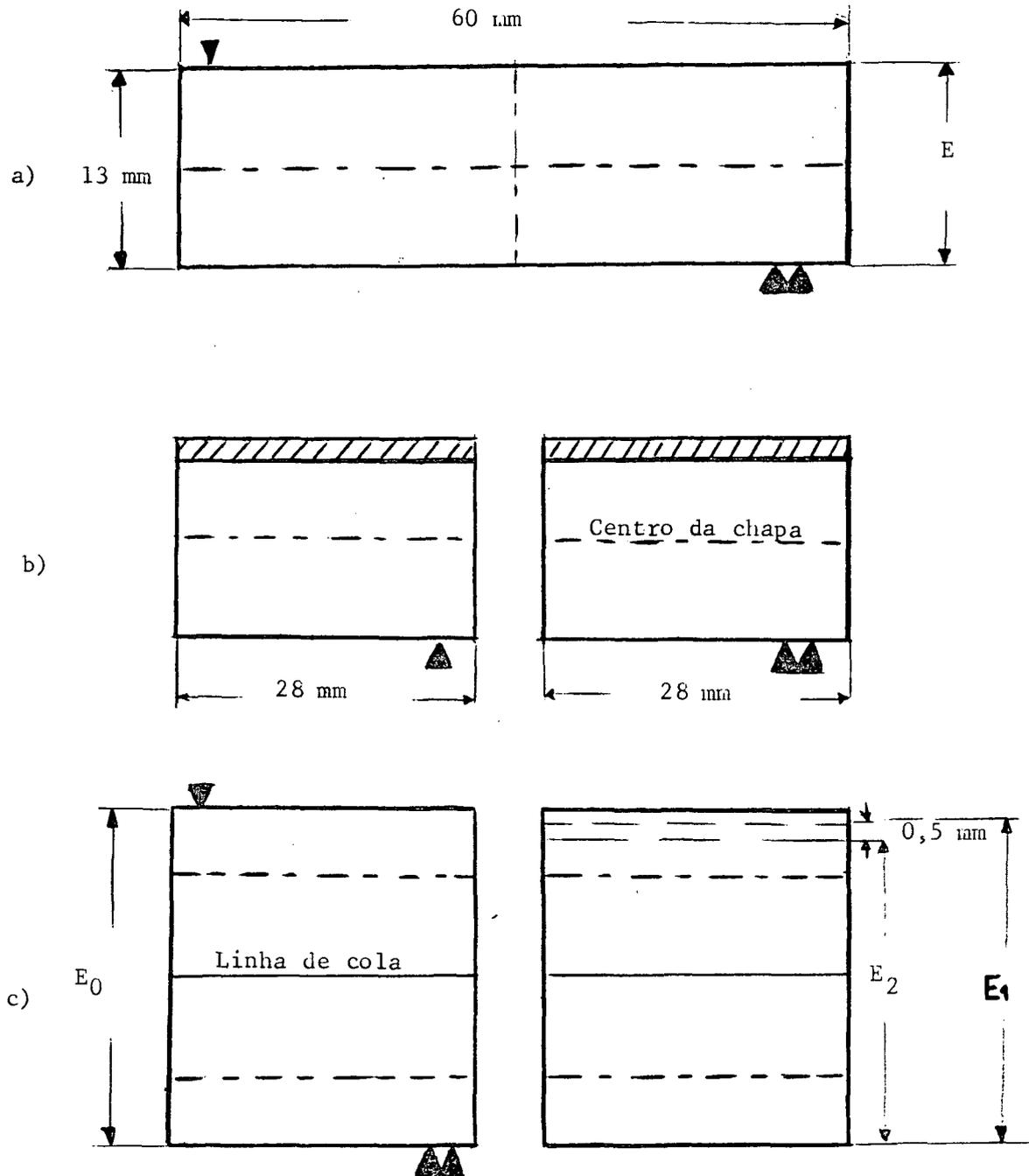
onde:

$E_1 - E_2$  = diferença em espessura entre duas passagens;

$P_1 - P_2 =$  diferença do peso do corpo de prova entre duas passagens:

$D =$  densidade da camada ( $\text{g/cm}^3$ )

FIGURA 6. SEQUENCIA DE PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA PARA AVALIAÇÃO DO GRADIENTE DE DENSIDADE



3. Posição relativa da camada retirada em relação a espessura original

$$Pr = \frac{E - E_1}{E_1} \times 100$$

onde:

Pr = Posição relativa da camada (%)

Pr = 0% (para a superfície);

Pr = 50% (para o miolo);

E = espessura original da chapa;

E1 = espessura do corpo de prova após retirada da camada.

### 3.9 CONSIDERAÇÕES SOBRE O PLANO EXPERIMENTAL

Foram selecionados três percentuais de umidade nas partículas para serem testados; 3% , 5% e 10% .

Para partículas com percentual de 10% de umidade o tempo de prensagem mínimo requerido, verificado através de testes preliminares, foi de 15 min., tempo abaixo do qual os painéis estourariam devido ao excesso de vapor contido em seu interior.

A umidade do colchão foi variável em função da aplicação ou não de 1% de parafina ao material. Mas de modo geral o teor de umidade médio foi de 8%, 9,5% e 13% para os colchões constituídos de partículas com teor de umidade médio de 3%, 5% e 10% respectivamente.

Para avaliar-se os efeitos do tempo de prensagem sobre as propriedades dos painéis, resolveu-se adotar dois tempos de

prensagem para as partículas com 5% de umidade (8 e 15 min.). Deste modo poderia-se avaliar a influência do tempo de prensagem entre painéis com teores de umidade diferentes (5% x 3% - 8 min.), (5% x 10% - 15 min.) e para um mesmo percentual de umidade (5% - 8min. x 5% - 15 min.).

Adotou-se também dois tempos de fechamento da prensa; 35 e 100 segundos, bastante distintos para uma comparação mais completa. Estes tempos para o fechamento dos pratos não foram absolutamente rígidos em função da constituição de cada colchão, envolvendo percentuais de umidade diferentes, presença de parafina, distribuição das partículas, etc.

Pelo uso da parafina procurava-se estudar a influência deste aditivo bem como sua contribuição para um dos problemas de produção de chapas do tipo waferboard; a estabilidade dimensional. Salienta-se que a aplicação de parafina em percentual de 1% envolvia a aplicação de mais água às partículas e, conseqüentemente, a umidade total contida no material estava influenciada por esta variável.

A temperatura dos pratos da prensa foi mantida constante em 180 C. A pressão específica aplicada foi de 40 Kg/cm<sup>2</sup> e mantida constante para as chapas prensadas em 8 min., entretanto para o tempo de prensagem de 15 min. a pressão foi reduzida em patamares de 40-20-10-5 Kg/cm<sup>2</sup> após tempo de prensagem de 2-2-5-6 min. respectivamente.

Com base neste delineamento a análise estatística foi feita da seguinte forma:

a) Comparação das propriedades das chapas com diferentes

umidades de partículas (5% x 10%), (5% x 3%), sendo aplicado 1% ou 0% de parafina e dois tempos de fechamento da prensa (35 e 100 s.);

b) Comparação das propriedades de chapas com igual umidade nas partículas mas com diferentes tempos de prensagem (8 e 15 min.), aplicando-se 1% ou 0% de parafina e tempos de fechamento de 35 e 100 s.

A análise estatística escolhida foi a análise fatorial de covariância que forneceria maiores informações sobre os tratamentos, podendo-se avaliar o efeito das variáveis principais (umidade, tempo de fechamento, parafina e tempo de prensagem), bem como o efeito das interações entre as variáveis principais, ou seja, o comportamento de uma em presença ou ausência de outra.

A análise de covariância foi devida a dificuldade de poder-se controlar a densidade dos painéis em laboratório, havendo a necessidade de ajuste dos valores das propriedades a uma densidade média (covariável).

Portanto as comparações entre médias são ajustadas aos valores médios de densidade de cada grupo de observações. Assim para o módulo de ruptura, Tabela 2, por exemplo, temos 3 comparações possíveis com os valores médios da propriedade e densidade ajustados para cada comparação. (3% x 5%), (5% x 10%) e (5% x 5%)

O nível de significância utilizado foi de 95% e o teste de comparação de médias utilizado foi o teste t de student.

TABELA 2. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Espécie: <i>Pinus taeda</i>																
Espessura: 13 mm																
Densidade: 0,7 g/cm <sup>3</sup>																
Temperatura: 180°C																
Pressão: 40 kg/cm <sup>2</sup>																
Umidade das partículas	3%				5%								10%			
Tempo de fechamento (seg)	35		100		35		100		35		100		35		100	
Resina + parafina (%)	5+0	5+1	5+0	5+1	5+0	5+1	5+0	5+1	5+0	5+1	5+0	5+1	5+0	5+1	5+0	5+1
Tempo prensagem (min.)	8				8				15				15			
Número de repetições	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	4	5	5	5

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 TESTE DE NORMALIDADE DOS DADOS

Para poder-se aplicar corretamente os diversos conceitos estatísticos na análise dos dados coletados para as diferentes propriedades, houve primeiramente a necessidade de determinar-se a função de distribuição que melhor representasse a variabilidade destes dados. BODIG & JAYNE<sup>4</sup> afirmam que é importante não apenas conhecer-se a distribuição estatística apropriada para um conjunto de dados, mas também, entender-se as relações existentes entre os dados físicos e as distribuições.

Para representar a variabilidade de propriedades físico-mecânicas da madeira, as distribuições de frequência normal, log-normal e Weibull são as mais utilizadas (LISBOA & MATOS<sup>22</sup>).

Tendo-se optado por trabalhar com conceitos estatísticos da distribuição normal, realizou-se um teste de normalidade baseado no método dos escores padronizados. Nas situações em que os dados não seguiram esta distribuição, a normalização foi procedida através de transformações do tipo  $\log x_i$ . Apenas os testes de ligação interna, variação em espessura e absorção de água apresentaram dados não normalmente distribuídos. As

inferências estatísticas foram feitas com os dados transformados e, posteriormente, os resultados finais foram reconvertidos.

#### 4.2 TEOR DE UMIDADE DAS PARTICULAS

O principal efeito da umidade consiste na capacidade de rápida transferência de calor até as camadas mais internas do painel. As partículas com elevado teor de umidade tornam-se também menos resistentes a compressão e portanto, a consolidação se desenvolve mais facilmente, com menor acúmulo de tensões residuais.

Estas considerações teóricas puderam ser verificadas pela observação do comportamento da temperatura no interior do painel, no momento de sua consolidação.

Foi evidenciado o alto grau de associação existente entre o teor de umidade do material e o comportamento da temperatura. Uma outra forma de avaliar-se o efeito da umidade sobre a consolidação dos painéis, consistiu na análise do gradiente vertical de densidade. Neste caso comprovou-se a ação da umidade sobre a redução da resistência a compactação, muito embora isto não tenha sido evidenciado nos efeitos causados pela umidade sobre as propriedades de estabilidade dimensional dos painéis.

#### 4.2.1 Análise dos efeitos da umidade pelo desenvolvimento da temperatura

A um mesmo tempo de fechamento a temperatura desenvolvida no centro dos painéis foi mais elevada para teores de umidade maiores. Isto teria contribuído para a cura da resina de maneira mais uniforme entre as camadas de partículas. Muito embora elevados teores de umidade requeiram tempos mais longos de prensagem para uma evaporação suficiente de umidade.

Podemos observar nas Figuras 7a e 7b que mantidos constantes o tempo de fechamento e o tempo de prensagem, a temperatura no centro do painel após decorridos 4 minutos, é mais elevada para aqueles painéis com 10% de umidade nas partículas (13% no colchão) que aqueles com 5% de umidade (9,5% no colchão). Esta tendência permanece por aproximadamente 8 minutos, quando ocorre uma reversão; a temperatura tende a decrescer para chapas com 10% de umidade enquanto que as de 5% de umidade aumentam.

É importante observar que a temperatura é crescente até o 4-<sup>o</sup> minuto decorrido de prensagem, a partir deste ponto a temperatura não eleva-se tornando-se constante para aquelas chapas de menor umidade. Para painéis com maior umidade há ainda um acréscimo em temperatura, mas logo a seguir tende a constância.

Este intervalo de tempo entre o 4-<sup>o</sup> min. e o 13-<sup>o</sup> min. de prensagem é o período de evaporação intensiva da água existente no interior do painel. Mesmo com o suprimento constante de temperatura desde os pratos da prensa a

temperatura no interior do colchão não eleva-se, sendo dissipada com a evaporação da umidade, daí a constância da linha de temperatura.

Para os painéis com menor umidade este período encerra-se mais cedo, e há progressiva ascensão da temperatura com o decurso de tempo. Já para os colchões mais úmidos há ainda uma queda na temperatura motivada pelo maior volume de água a ser evaporado.

DENISOV & JUSKOV<sup>11</sup> denominam o tempo decorrido até o 4<sup>o</sup> minuto como tempo para o aquecimento da camada central e a partir da obtenção da temperatura de evaporação passam a denominar de tempo de aquecimento do colchão que afirmam é uma grandeza variável que depende da permeabilidade do colchão e também do tamanho da superfície disponível para a troca do material com o meio.

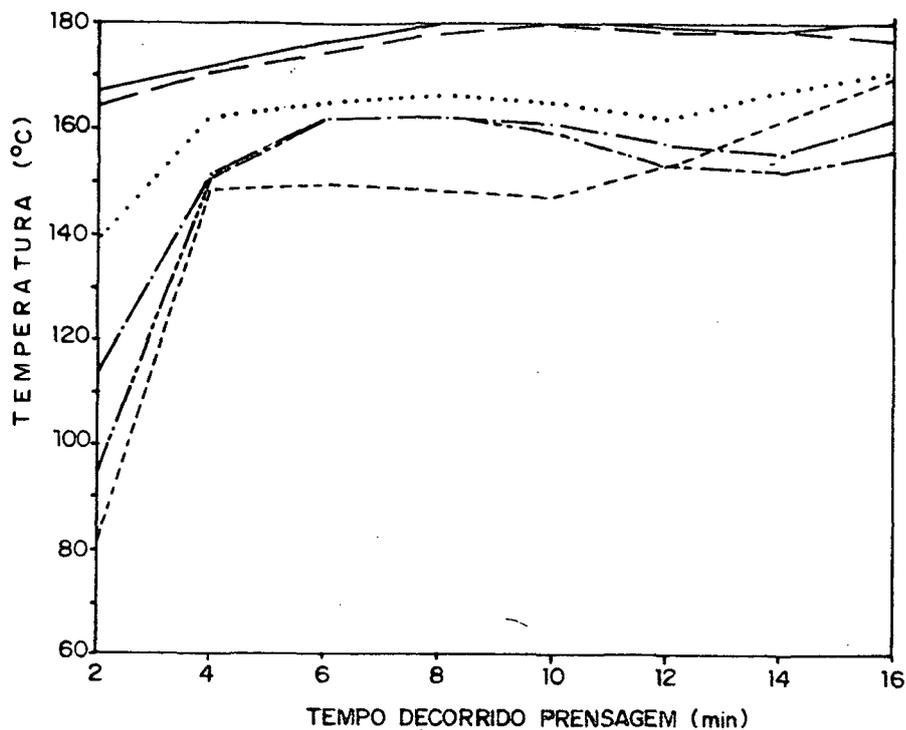
FIGURA 7. EFEITO DA UMIDADE DAS PARTICULAS SOBRE O DESENVOLVIMENTO DA TEMPERATURA EM DIFERENTES POSIÇÕES NOS PAINÉIS PRENSADOS EM 15 MIN. A TEMPERATURA DE 180 °C

a. Tempo de fechamento 35 s.  
b. Tempo de fechamento 100 s.

**LEGENDA**

SUPERFICIE 5%  
—  
1/4 ESPES. 5%  
·····  
CENTRO 5%  
- - -  
SUPERFICIE 10%  
—  
1/4 ESPES. 10%  
- - -  
CENTRO 10%  
- - -

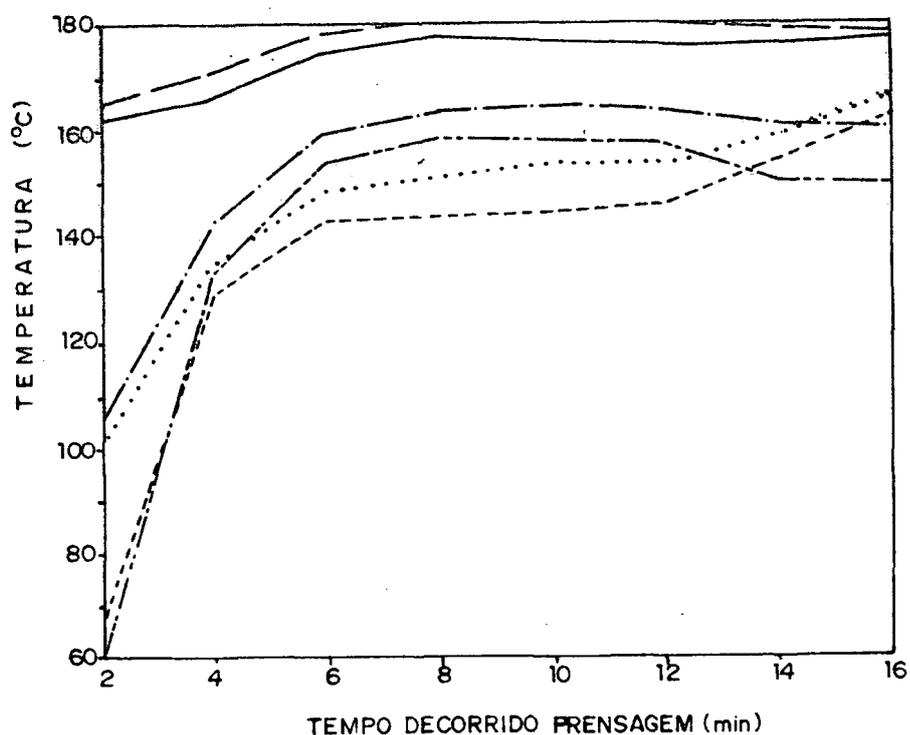
a)



**LEGENDA**

SUPERFICIE 5%  
—  
1/4 ESPES. 5%  
·····  
CENTRO 5%  
- - -  
SUPERFICIE 10%  
—  
1/4 ESPES. 10%  
- - -  
CENTRO 10%  
- - -

b)



Outro aspecto relevante a ser observado é a proximidade das linhas representativas do desenvolvimento da temperatura no centro dos painéis e aquela representativa da profundidade de 1/4 da espessura. Estas linhas evoluem muito próximas nos primeiros 4 min., demonstrando a uniformidade de distribuição da temperatura ao longo da chapa. Esta forma de evolução da temperatura relacionada com os teores de umidade, apresentou efeitos sensíveis sobre as propriedades dos painéis, conforme será exposto mais tarde.

#### 4.2.2 Análise dos efeitos da umidade sobre o gradiente vertical de densidade

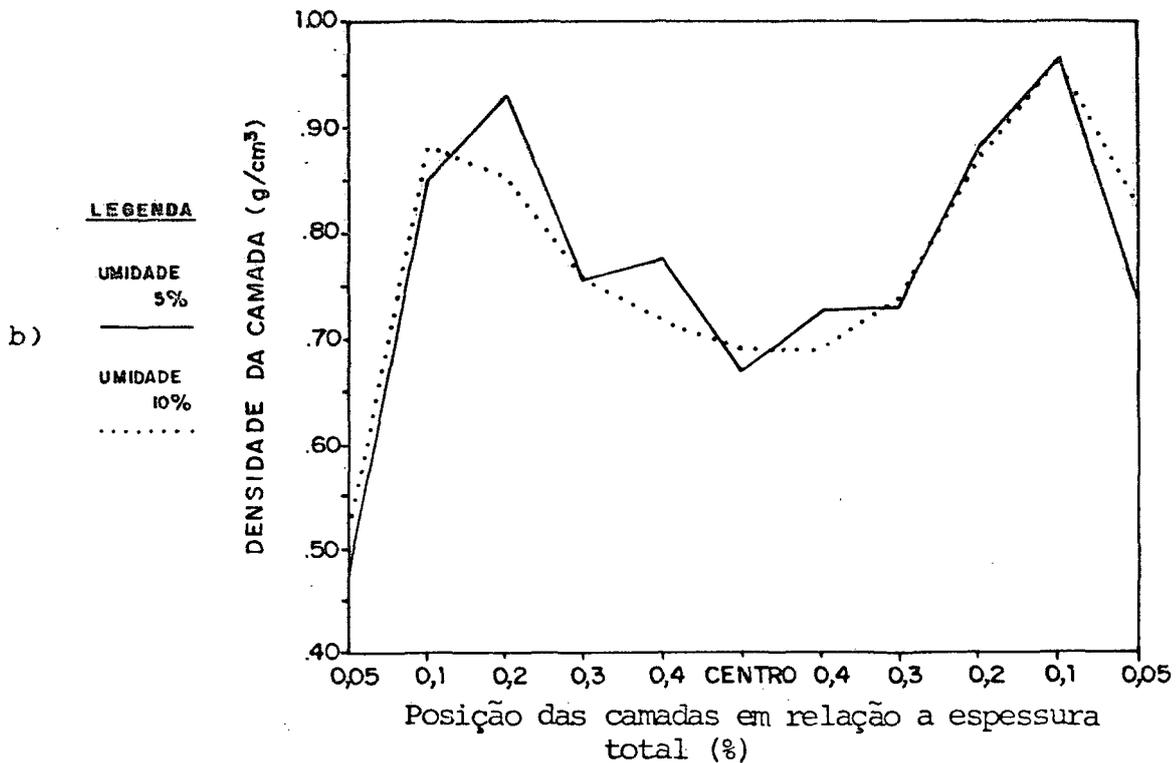
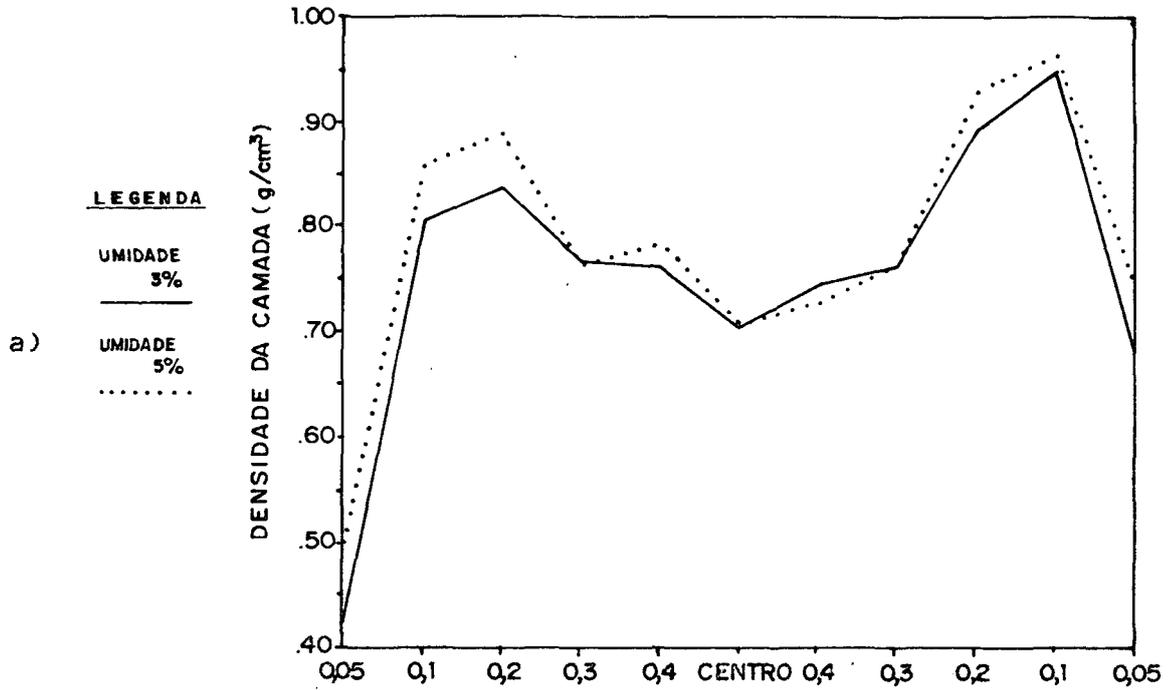
Não houve uma diferenciação mais acentuada no gradiente vertical de densidade das chapas à diferentes umidades. Este gradiente está mais associado ao tempo de fechamento da prensa, mesmo sabendo-se que a umidade contribua sensivelmente. Observa-se um aspecto contraditório quando verificamos que temperaturas mais elevadas ao longo do perfil dos painéis são obtidas sob umidades maiores, entretanto a polimerização ou cura do adesivo fica prejudicada pela redução de temperatura na evaporação da umidade excessiva. Em umidades menores, pelo contrário, a possibilidade de cura é maior mas como a transferência de calor às camadas interiores é mais lenta e a resistência a compressão é maior, o processo de adesão fica prejudicado. Assim diferenciações acentuadas no grau de densificação das camadas de partículas não foram verificadas ou podem ser atribuídas a umidade (Figura 8).

FIGURA 8. EFEITO DA UMIDADE SOBRE O GRADIENTE VERTICAL DE DENSIDADE DOS PAINÉIS

(Cada linha representa a média de 10 painéis)

a. Tempo de fechamento 35 s.  
Tempo de prensagem 8 min.

b. Tempo de fechamento 35 s.  
Tempo de prensagem 15 min.



#### 4.3 TEMPO DE FECHAMENTO DA PRENSA

O tempo de fechamento compreende o intervalo de tempo decorrido desde o momento em que os pratos da prensa atingem o colchão de partículas até que a espessura final seja obtida ou, que os espaçadores sejam atingidos.

O mecanismo de ação do tempo de fechamento sobre a consolidação do colchão de partículas está associado a uniformidade de transferência de pressão e calor às camadas interiores. Em um rápido tempo de fechamento as camadas superficiais densificam mais rapidamente, não ocorrendo uma compressão uniforme através do material pois com o miolo ainda frio há uma maior resistência a compactação nestas camadas. Assim, o gradiente vertical de densidade é mais pronunciado com grande densificação nas camadas superficiais e densidades menores no miolo. Por outro lado, para um tempo de fechamento mais lento esperaria-se uma distribuição mais uniforme da densificação das camadas de partículas devido a compressão gradual associada com a penetração de calor às camadas interiores.

Alguns autores associam o tempo de fechamento com as pressões iniciais de prensagem; para maior pressão, tempo de fechamento mais rápido e vice-versa (MOSLEMI<sup>24</sup>, SMITH<sup>29</sup>), entretanto neste trabalho, o equipamento utilizado permitia a manutenção da pressão constante e, através de dispositivo apropriado podia-se regular a velocidade de avanço dos pratos. Esta observação é importante por se supor que o uso de diferentes pressões para fechamento lento ou rápido dos pratos

contribua acentuadamente para formação do gradiente vertical de densidade.

Também neste caso, uma melhor avaliação do efeito do tempo de fechamento sobre a consolidação dos painéis foi realizada pela observação do comportamento da temperatura e do gradiente de densidade.

#### 4.3.1 Análise dos efeitos do tempo de fechamento pelo desenvolvimento da temperatura

Para o mais alto teor de umidade das partículas (10%) ou do colchão (13%), podemos observar que para o tempo de fechamento mais rápido (35 s.) a temperatura atingida no miolo das chapas é maior que aquela de tempo de fechamento mais longo. Esta tendência se mantém até o 10<sup>o</sup> min. da prensagem quando ocorre uma ligeira reversão (Figura 9). Também para umidades menores esta condição se mantém, embora a temperatura atingida no miolo das chapas, até o completo fechamento dos pratos, seja inferior.

As diferenças de temperatura entre a superfície, a 1/4 da espessura e no centro dos painéis são mais acentuadas naqueles painéis com menor teor de umidade.

A uniformidade da temperatura ao longo do perfil das chapas com elevados teores de umidade já foi discutida na análise do efeito da umidade das partículas. O efeito do tempo de fechamento mais rápido, proporcionando temperaturas mais elevadas no decurso da prensagem pode ser atribuído a rapidez com que o colchão é levado a espessura final, fazendo com que a

temperatura dos pratos da prensa seja transferida mais rapidamente ao longo das camadas de partículas e espaços de ar. A distância a ser percorrida é aparentemente menor, já que há uma brusca redução da espessura do colchão. Por outro lado em um tempo de fechamento mais prolongado a transferência de calor ocorre mais lentamente em função da distância a ser percorrida entre as camadas de partículas e espaços de ar, até atingir-se os espaçadores mesmo a elevados teores de umidade (Figuras 9 e 10).

FIGURA 9. DESENVOLVIMENTO DA TEMPERATURA EM DIFERENTES POSIÇÕES NOS PAINÉIS INFLUENCIADO PELO TEMPO DE FECHAMENTO (TF) DA PRENSA

Umidade das partículas 10%

Tempo de prensagem 15 min.

(Cada linha representa a média de 5 painéis)

**LEGENDA**

SUPERFICIE  
TF-35

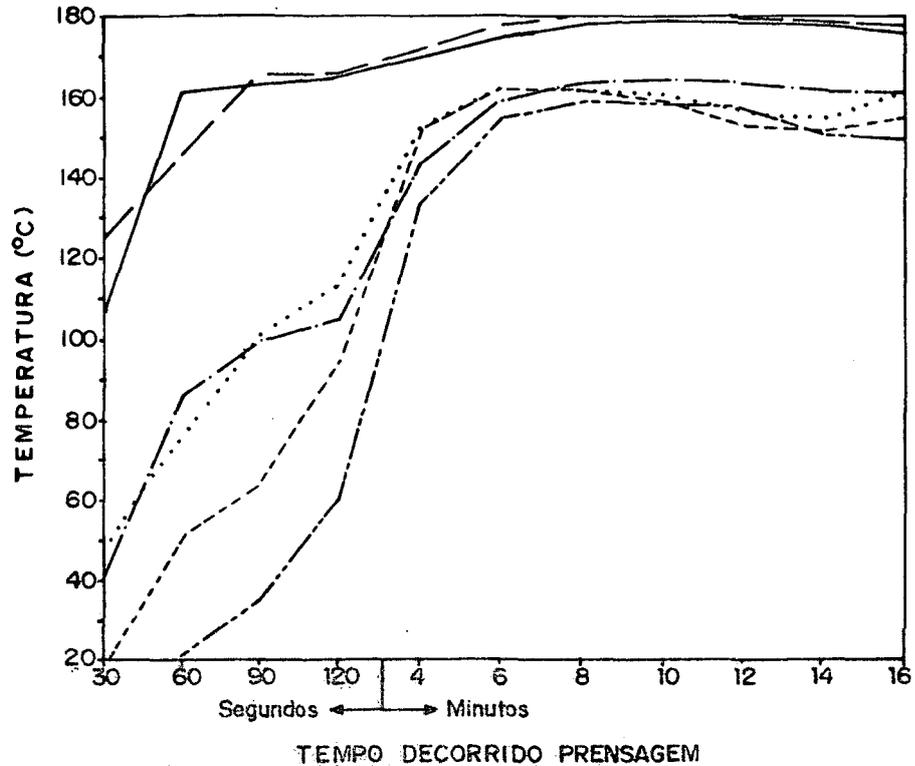
1/4 ESSES  
TF-35

CENTRO  
TF-35

SUPERFICIE  
TF-100

1/4 ESSES  
TF-100

CENTRO  
TF-100



O segundo minuto (120 s.) é o momento em que os espaçadores já foram atingidos. Observa-se que a temperatura continua em ascensão atingindo um ponto máximo em torno de 4 minutos decorridos da prensagem. Ponto a partir do qual torna-se aproximadamente constante. Supõe-se que a temperatura se mantém constante devido ao consumo de energia com a evaporação de umidade que migra desde as camadas superficiais para o interior da chapa.

FIGURA 10. DESENVOLVIMENTO DA TEMPERATURA EM DIFERENTES POSIÇÕES NOS PAINÉIS INFLUENCIADO PELO TEMPO DE FECHAMENTO (TF) DA PRENSA

Umidade das partículas 5%  
 Tempo de prensagem 15 min.  
 (Cada linha representa a média de 5 painéis)

**LEGENDA**

SUPERFICIE  
TF-35  
—

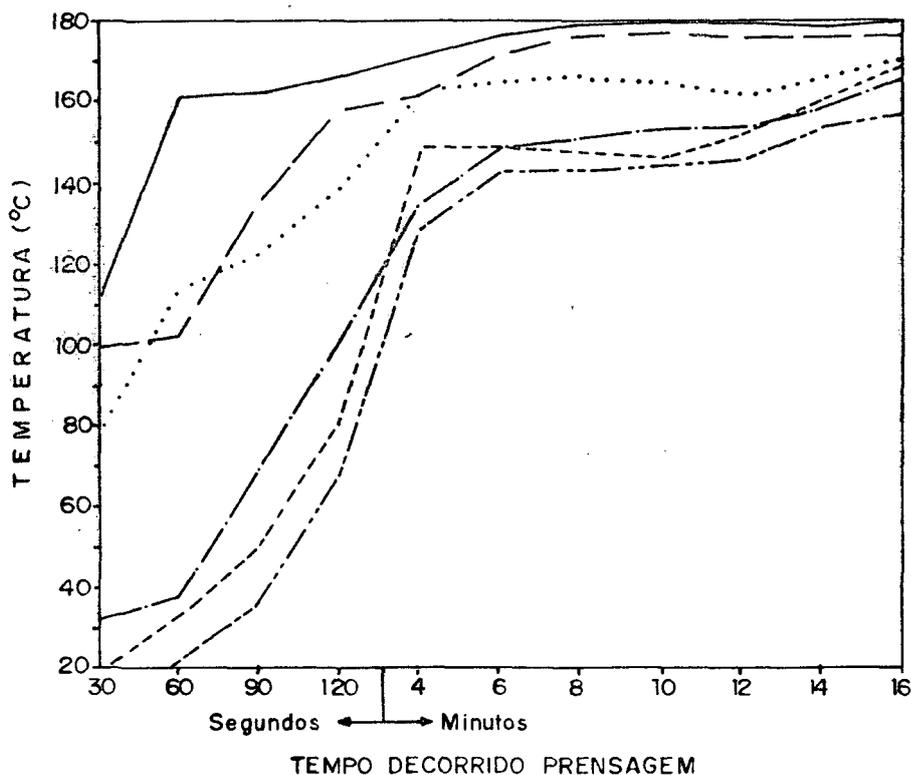
1/4 ESPES  
TF-35  
.....

CENTRO  
TF-35  
- - -

SUPERFICIE  
TF-100  
—

1/4 ESPES  
TF-100  
- - -

CENTRO  
TF-100  
- - -



As maiores diferenciações do comportamento da temperatura ocorrem justamente no período compreendido entre o início e o término do tempo de fechamento. Posteriormente as tendências da evolução da temperatura já estão definidas e esta tende a constância.

Para umidades menores (5% nas partículas ou 9,5% no colchão) o gradiente de temperatura não é muito acentuado para os diferentes tempos de fechamento, pelo menos no miolo das chapas. Já para umidade de 10% nas partículas (13% no colchão) o gradiente de temperatura é mais acentuado e as diferenças entre a aplicação dos tempos de fechamento, medidas pela evolução da temperatura, são mais evidenciadas.

O aspecto mais importante das variações do tempo de fechamento (35 ou 100 s.) relacionado com a temperatura, está no fato que o tempo de fechamento mais rápido proporciona maior rapidez de transferência de calor da superfície ao miolo, (Figura 12) proporcionando cura mais rápida da resina apresentando como desvantagem o fato de densificar o colchão de modo desuniforme. Este aspecto influi diretamente sobre as propriedades dos painéis especialmente sobre as propriedades de resistência conforme será exposto.

#### 4.3.2 Análise dos efeitos do tempo de fechamento sobre o gradiente vertical de densidade

Na literatura afirma-se que para tempos de fechamento mais rápidos as camadas superficiais densificariam mais rapidamente devido ao efeito da rápida compactação do colchão

associado com a transferência de temperatura às camadas internas (KELLY<sup>19</sup>, SUCHSLAND<sup>34</sup>, MOSLEMI<sup>24</sup>). Em um curto tempo de fechamento as camadas interiores ainda frias ofereceriam maior resistência a compressão enquanto que as camadas superficiais estariam sob efeito de elevadas temperaturas, o que promoveria uma rápida plasticização das partículas e conseqüentemente mais fácil densificação. Em conjunto com estas condições estaria associado o efeito da umidade do material facilitando a transferência de calor.

Para tempos de fechamento mais prolongados haveria a transferência de calor de modo mais uniforme ao longo do perfil da chapa e também uma distribuição mais uniforme dos esforços de compressão, o que de certa forma contribuiria para a redução do gradiente vertical de densidade.

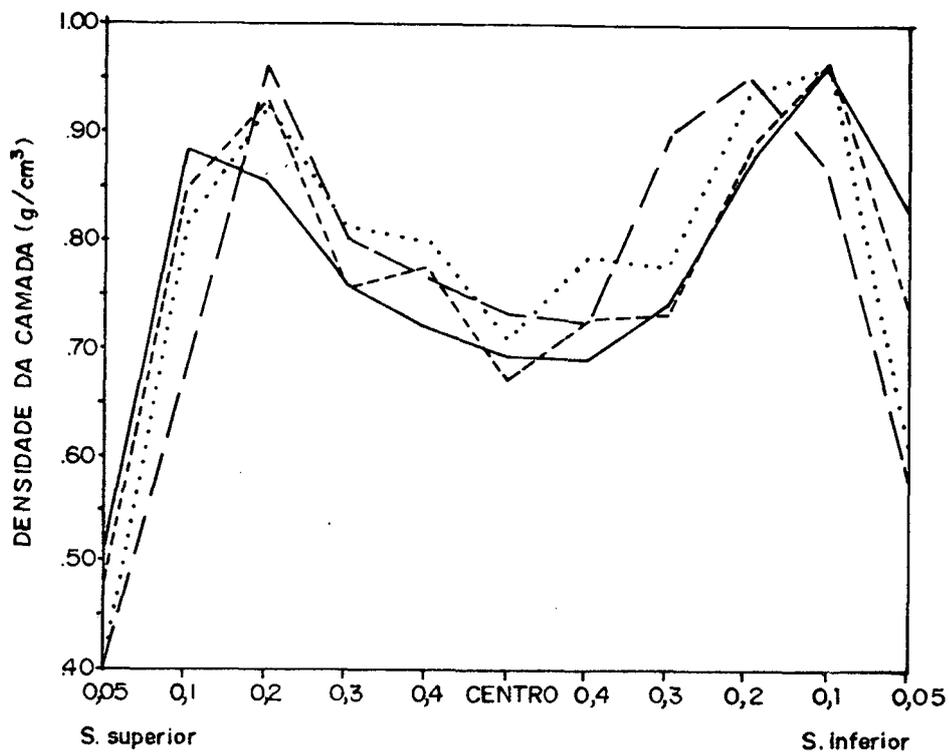
Observa-se que um tempo de fechamento mais lento (100 s.) proporciona um ligeiro deslocamento do ponto de maior densificação para camadas mais interiores dos painéis (Figura 11) e uma tendência das camadas mais centrais das chapas apresentarem um aumento na densificação.

Outro aspecto a ser observado é que até o ponto de maior densificação alcançado pelos painéis, o tempo de fechamento de 35 s. proporciona densidades maiores. Já a partir deste ponto de máxima há uma reversão nas grandezas, as maiores densidades ou a linha de densificação torna-se mais acentuada para chapas em que o tempo de fechamento foi de 100 s. Este fato acentua a afirmação de que para um tempo de fechamento mais rápido há uma grande densificação das camadas superficiais

FIGURA 11. INFLUENCIA DA UMIDADE DAS PARTICULAS E O TEMPO DE FECHAMENTO SOBRE O GRADIENTE VERTICAL DE DENSIDADE (Cada linha representa a média de 10 painéis)

**LEGENDA**

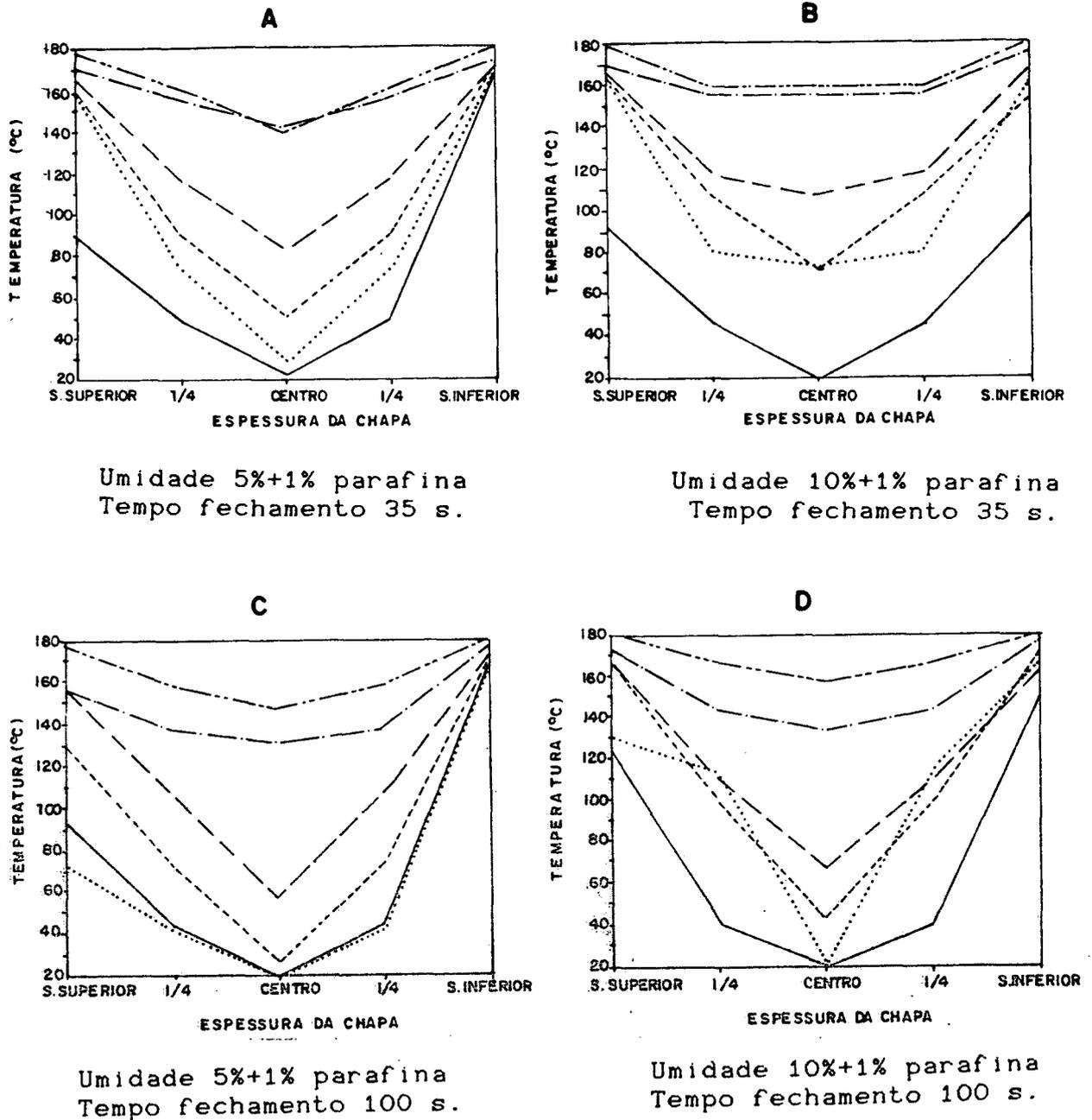
- TF-35  
10%  
—
- TF-100  
10%  
.....
- TF-35  
5%  
- - -
- TF-100  
5%  
—



Posição das camadas em relação a espessura total (%)

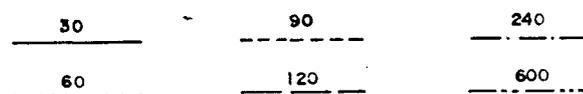
motivadas pela maior compressão nestas camadas enquanto que, para longo tempo de fechamento há uma distribuição de esforços mais gradativa. Observa-se também que as camadas superficiais de partículas da face superior dos painéis apresentam menores densidades que aquelas da face inferior (Figura 11). Supõe-se que isto se deva ao fato da aplicação de carga a partir da superfície proporcionar maior degradação das partículas e das ligações de colagem entre estas partículas e também do maior tempo de exposição a temperatura no prato móvel inferior da prensa. Devemos salientar também o fato que, mesmo em tempos de fechamento mais prolongados a densificação das camadas interiores não é tão acentuada. A tendência seria uma redução do gradiente conforme já observado. Se ocorre uma melhor distribuição dos esforços de compressão deveria ocorrer, proporcionalmente, uma densificação uniforme. Podemos analisar esta constatação sob dois aspectos: o primeiro seria a influência das perdas em temperatura devidas a evaporação de umidade nas camadas centrais. Tendo sido dispendida energia na evaporação de umidade o tempo e temperatura disponíveis para cura da resina seriam insuficientes. Acrescente-se o fato de que a umidade influiria sobre a reação química. Outro aspecto que pode ser sugerido é a influência do uso de espaçadores sobre a distribuição da densidade. Mesmo que houvesse condições para uma densificação uniforme da superfície ao miolo, o fato de a espessura final já ter sido atingida e estar regulada pelos espaçadores, impediria a continuidade da compactação pois parte da carga aplicada seria retida pelos espaçadores.

FIGURA 12. GRADIENTES DE TEMPERATURA DESENVOLVIDOS DURANTE A PRENSAGEM DOS PAINÉIS, SOB DIFERENTES CONDIÇÕES



**LEGENDA**

Tempo decorrido de  
prensagem (segundos)



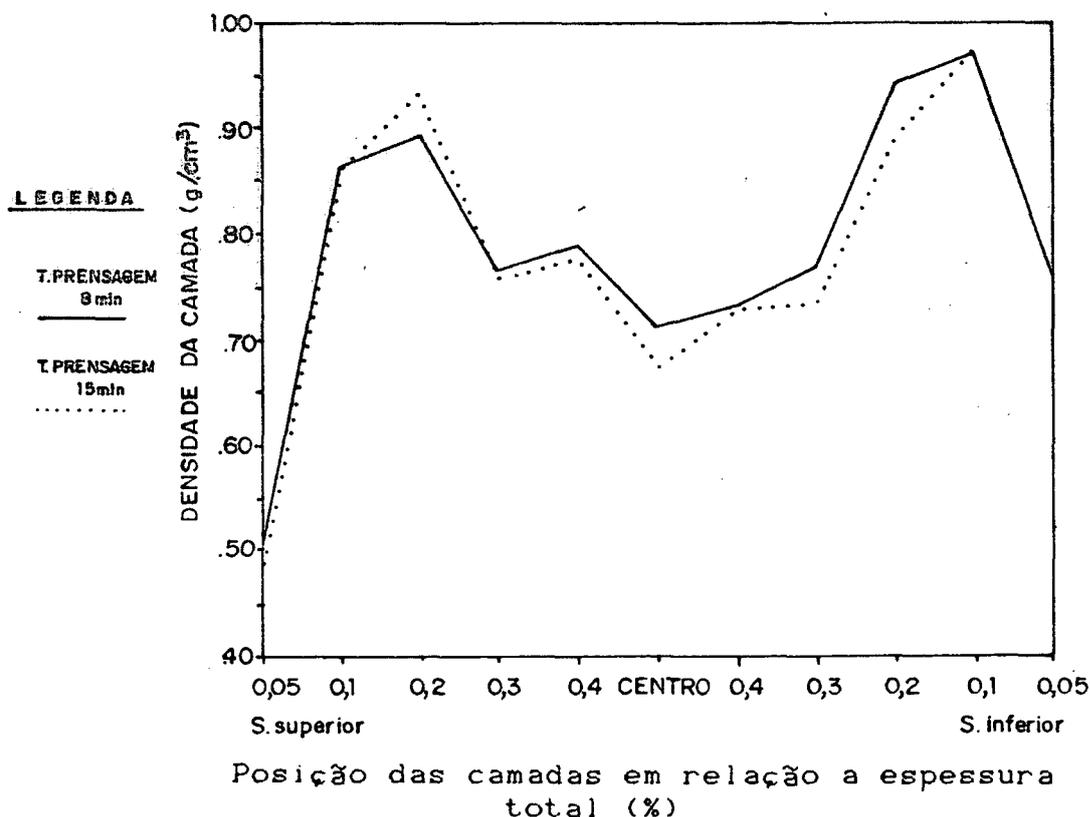
#### 4.4 TEMPO DE PRENSAGEM

A avaliação dos efeitos do tempo de prensagem foi feita apenas em chapas com 5% de umidade nas partículas, que foram prensadas em 8 e 15 minutos. Observa-se que o gradiente de densidade é ligeiramente inferior (Figura 13) naqueles painéis prensados por um período de tempo mais prolongado. Supõe-se que possa ter ocorrido degradação das ligações de colagem nestas camadas pela aplicação de tempos muito longos de prensagem, ou talvez, pelo fato de ter-se promovido a liberação gradual da pressão aplicada ao material em tempos de prensagem de 15 min.

O tempo de prensagem apresentou maior influência sobre as propriedades relacionadas com a estabilidade dimensional, ponto que será abordado mais tarde neste trabalho.

FIGURA 13. INFLUENCIA DO TEMPO DE PRENSAGEM SOBRE O GRADIENTE VERTICAL DE DENSIDADE

(Cada linha representa a média de 5 painéis)



#### 4.5 PRESSÃO

Conforme descrito anteriormente a pressão aplicada aos painéis foi mantida constante para aquelas chapas prensadas em 8 minutos e com teor de umidade nas partículas de 3% e 5%. Entretanto, em chapas com teor de umidade de 5% e 10% nas partículas, prensadas durante 15 minutos, optou-se pela liberação gradual da pressão em intervalos de tempo. Este procedimento foi adotado porque seria injustificável manter-se a pressão específica em  $40 \text{ Kg/cm}^2$  por um período de tempo tão longo; e também porque havendo diminuição da resistência a compressão pelo colchão de partículas a pressão necessária para consolidação tenderia a ser menor.

Na literatura a pressão inicial é associada ao tempo de fechamento (MOSLEMI<sup>24</sup>, SMITH<sup>29</sup>, LEHMANN et alii<sup>21</sup>, STRICKLER<sup>32</sup>), entretanto supomos que a utilização de diferentes pressões para o fechamento da prensa exercerá maior influência sobre a compactação das camadas superficiais de partículas, atribuindo-se assim ao tempo de fechamento, uma densificação das camadas superficiais que deveria ser atribuída a pressão inicial. Neste trabalho a manutenção da pressão constante, mesmo para tempos de fechamento diferenciados (35 e 100 s.), comprovou que efetivamente há uma certa diferenciação na compactação das camadas superficiais dos painéis devida ao tempo de fechamento (ver item 4.3.2 deste trabalho), entretanto as diferenciações que possam ser causadas pela pressão inicial aplicada e a velocidade de fechamento propriamente, devem ser melhor estudadas.

Outro aspecto importante é o da utilização ou não de espaçadores para controle da espessura final. Uma avaliação correta da pressão necessária para atingir-se os espaçadores sem aplicação de carga desnecessária sobre eles deve ser realizada, uma vez que o colchão cede em resistência a medida <sup>24</sup> que a consolidação ocorre (MOSLEMI ).

#### 4.6 ANALISE DOS EFEITOS DAS DIVERSAS VARIÁVEIS SOBRE AS PROPRIEDADES DOS PAINÉIS

##### 4.6.1 Propriedades de resistência

4.6.1.1 Módulo de Ruptura (MOR) - O módulo de ruptura é um importante parâmetro para determinação da capacidade de uso final dos painéis.

##### . Efeito da Umidade

A umidade das partículas não foi um fator que pudesse produzir diferenças significativas a um nível de 95% de probabilidade nos valores médios obtidos para as três condições impostas como tratamentos (3%, 5% e 10% de umidade nas partículas ou 8%, 9,5% e 13% de umidade no colchão).

Muitos autores associam elevados valores de MOR com uma maior densificação das camadas superficiais de partículas (KELLY <sup>19</sup>, SUCHSLAND <sup>34</sup>, LEHMANN et alii <sup>21</sup>). Pela análise do efeito da umidade sobre o gradiente vertical de densidade podemos observar que não houve diferenciação pronunciada entre as várias camadas (Figura 8). Se também associarmos o MOR ao

gradiente de densidade justificaríamos a inexistência de diferenciação causada pela umidade.

Outro aspecto a considerar seria a influência da temperatura associada a cura ou polimerização da resina conferindo maior resistência aos painéis. Para maiores teores de umidade presentes no material a temperatura no interior foi mais elevada entretanto, conforme já discutido, a presença de umidade excessiva poderia prejudicar a reação química de colagem e mesmo grande parte do calor transferido ao miolo seria utilizado na evaporação desta umidade. Considere-se também que com maior umidade as partículas ofereceriam menor resistência a compressão e densificariam mais facilmente o que implicaria em maiores valores de MOR. Isto não ocorreu, ou as diferenças registradas não foram tão acentuadas que pudessem causar diferenciação de médias (Figura 14).

#### . Efeito do tempo de fechamento

Sob o aspecto de velocidade de fechamento da prensa e conseqüente velocidade de compactação, sob todas as condições testadas, as médias obtidas para o MOR foram diferenciadas e maiores para um tempo de fechamento de 35 s.

Segundo o conceito de que uma maior compactação das camadas superficiais proporciona maiores valores de MOR, a análise do gradiente de densidade (Figura 11) colabora com esta suposição já que observamos uma maior densificação superficial para tempo de fechamento de 35 s. (Figura 14).

### . Efeito do tempo de prensagem

Não houve diferenciação entre os valores médios de MOR obtidos para painéis com 5% de umidade prensados em 8 e 15 min. Se também associarmos esta verificação ao gradiente de densidade teremos uma diferenciação não pronunciada devida ao tempo de prensagem.

TABELA 3. VALORES MEDIOS DE MODULO DE RUPTURA (MOR)

Umidade das partículas(%)	3				5				5				10				5				5			
Tempo de prensagem (min.)	8								15								8				15			
Tempo de fechamento (seg.)	35	100	35	100	35	100	35	100	35	100	35	100	35	100	35	100	35	100	35	100	35	100	35	100
Parafina (%)	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
Módulo de Ruptura (kg/cm <sup>2</sup> )	335,7	296,8	284,7	270,7	366,1	308,3	283,7	262,0	350,4	346,8	279,3	258,3	340,0	406,3	309,9	321,1	366,1	308,3	283,7	262,0	350,4	346,8	279,3	258,3
Valores médios ajustados para densidade (g/cm <sup>3</sup> )	.776								.769								.771							
Médias ajustadas (kg/cm <sup>2</sup> )	336,6	302,1	301,2	273,0	361,1	296,0	280,9	257,1	351,9	350,5	289,5	275,3	343,9	382,5	306,5	312,1	363,6	303,3	281,9	259,5	351,2	348,3	282,9	264,2
Nº repetições	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5

### . Efeito da aplicação de parafina

A parafina foi um aditivo utilizado visando-se estudar a sua influência especialmente sobre a estabilidade dimensional dos painéis, no entanto constatou-se que a aplicação de 1% de parafina às partículas com 3% e 5% de umidade proporcionou aumento no MOR das chapas (Figura 14).

A contribuição da parafina para o incremento do MOR não foi muito bem definida. Sabe-se que aplicações de parafina acima de 1% baseado no peso seco do material causam reduções nas propriedades de resistência (KELLY <sup>19</sup>) pela influência sobre a reação de cura do adesivo.

Uma suposição que poderia ser feita refere-se ao acréscimo de umidade às partículas com a adição da parafina. A tendência seria a menor resistência a compactação pelo aumento da plasticização devido a adição de umidade, com a menor resistência haveria uma polimerização maior da resina, pelo menos nas camadas superficiais. Entretanto há a necessidade de estudos complementares para melhor justificar esta evidência.

### . Efeito das interações entre as variáveis

Para o MOR não houve nenhuma combinação de variáveis que proporcionasse diferenças significativas entre as médias.

FIGURA 14. VALORES MEDIOS AJUSTADOS DE MODULO DE RUPTURA (MOR)  
SOB AS DIFERENTES CONDIÇÕES IMPOSTAS

LEGENDA

TF-35  
1% PAR



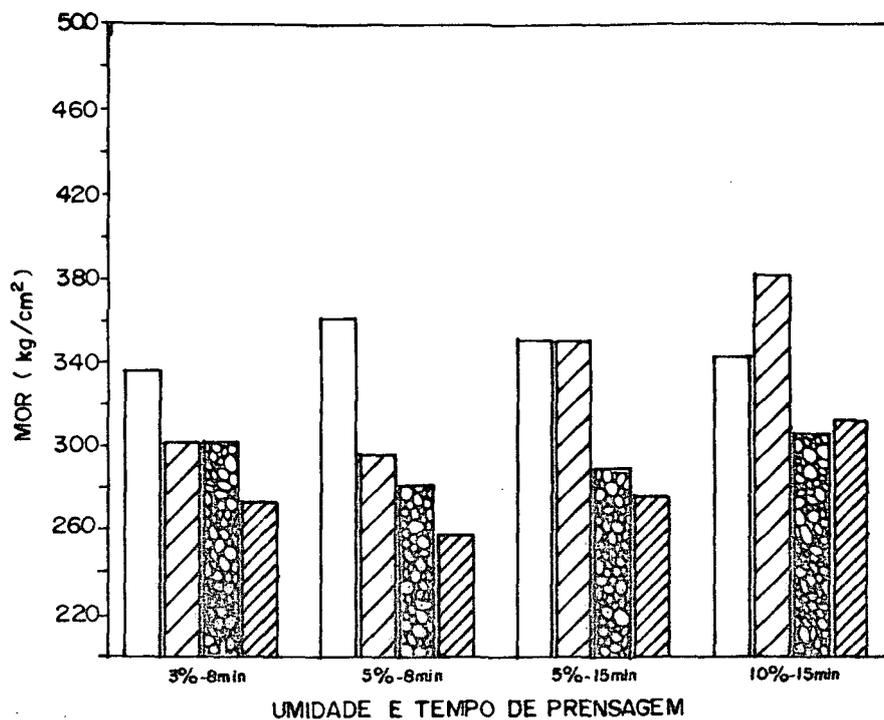
TF-35  
0% PAR



TF-100  
1% PAR



TF-100  
0% PAR



4.6.1.2 Módulo de Elasticidade (MOE) - O módulo de elasticidade (MOE) é a medida de dureza ou rigidez. Para um painel, o MOE é a medida de sua resistência a deflexão (WOOD HAND-<sup>37</sup>BOOK ).

#### . Efeito da umidade

Maiores valores médios de MOE foram obtidos em painéis cujas partículas apresentavam teor de umidade de 10%. Como MOR e MOE são parâmetros bastante correlatos e são afetados similarmente pelas variáveis do processo, é interessante o fato de a umidade ter causado diferenciação de médias apenas para esta propriedade uma vez que o MOR não foi afetado. Alguns pesquisadores associam os valores de MOR e MOE com a densidade das camadas externas e portanto, não se pode analisar os efeitos da umidade dissociado do gradiente vertical de densidade. Conforme já discutido, a presença de maiores teores de umidade proporcionam maior plasticização das partículas.

\*<sup>32</sup> KOLLMANN citado por STRICKLER afirma que superfícies de chapas de partículas que são prensadas com alto teor de umidade adquirem maiores propriedades de resistência e maior estabilidade dimensional.

Se altas temperaturas são atingidas nas camadas superficiais maiores alterações plásticas pode sofrer a madeira. A lignina torna-se cimentante e torna as superfícies mais rijas<sup>32</sup> (STRICKLER ).

\* KOLLMANN, F. The influence of differences in moisture content of wooden particles, before the pressing, upon the properties of chipboards. Holz als Roh-und Werkstoff 15(1):

Para umidades menores (5% e 3%) não houve diferenças significativas entre as médias ajustadas. Associados a temperatura estas observações implicam que a transferência de calor para as camadas interiores foi mais acentuada, isto é, obteve-se maiores temperaturas no interior das chapas de maior umidade. Ressaltamos também que o tempo de prensagem para chapas de 10% de umidade foi de 15 minutos. Muito embora entre painéis de 5% de umidade que permaneceram na prensa por 8 e 15 min. respectivamente, não houve diferenciação entre as médias. Evidencia-se, neste caso, que os efeitos da umidade foram mais acentuados que o tempo de prensagem para esta propriedade.

FIGURA 15. VALORES MEDIOS AJUSTADOS DE MODULO DE ELASTICIDADE (MOE), SOB AS DIFERENTES CONDIÇÕES IMPOSTAS

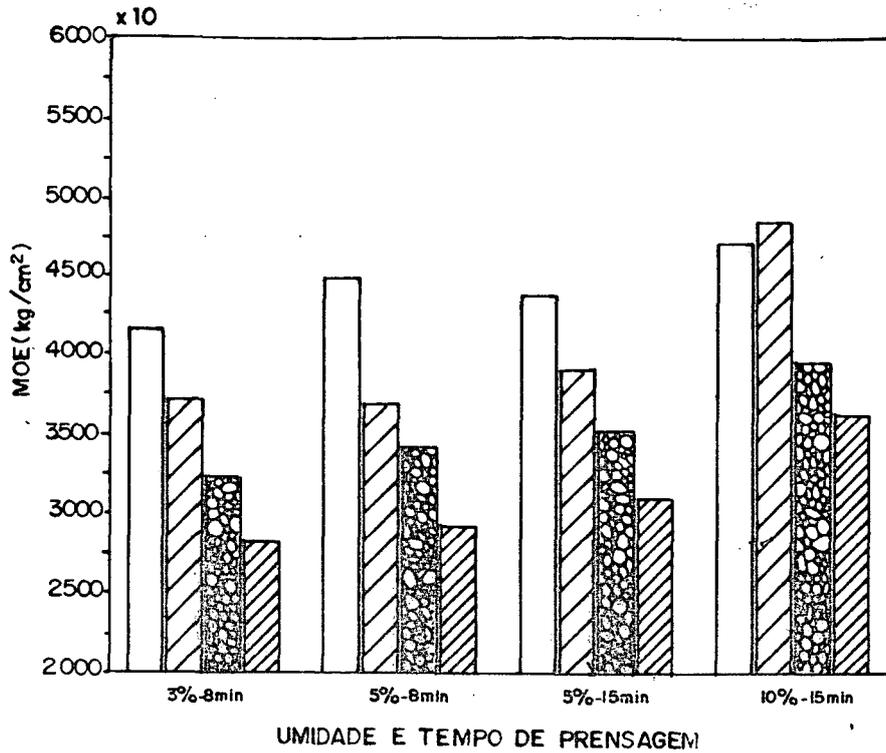
**LEGENDA**

TF-35  
1% PAR

TF-35  
0% PAR

TF-100  
1% PAR

TF-100  
0% PAR



### . Efeito do tempo de fechamento

O módulo de elasticidade apresentou-se, a um nível de 95% de probabilidade, com maiores valores médios para os painéis em que o tempo de fechamento foi de 35 s. Esta superioridade foi observada para todas as possíveis comparações entre teores de umidade das partículas e tempos de prensagem (ver Tabela 4). Conforme já discutido o tempo de fechamento mais rápido contribui na densificação das camadas superficiais e associado com a temperatura, permite mais rápida compactação destas camadas, o que certamente contribuiu para o incremento do MOE (Figura 15).

### . Efeito do tempo de prensagem

As médias de módulo de elasticidade obtidas após tempos de prensagem de 8 e 15 min., semelhante ao ocorrido com o módulo de ruptura, não apresentaram diferenças significativas (Figura 15).

### . Efeito da aplicação de parafina

Como observado para módulo de ruptura, a aplicação de 1% de parafina às partículas também foi um fator que contribuiu para o incremento do módulo de elasticidade. Neste caso valem as considerações apresentadas para o MOR (Figura 15).

### . Efeito das interações

#### Umidade das partículas x Aplicação de parafina

No estudo das interações significativas a um nível de 95% de probabilidade, a aplicação de 1% de parafina em partículas com 10% de umidade proporcionou maior valor médio de MOE. Entretanto esta média não diferiu estatisticamente da média obtida para chapas com teor de umidade de 10% nas partículas em que a parafina não foi aplicada. Neste caso há a comprovação de que a umidade foi o fator mais importante atuando sobre esta propriedade. Relacionando-se com observações já referidas neste trabalho poderia-se atribuir o incremento da propriedade ao aumento da umidade do colchão e ao desenvolvimento de elevadas temperaturas no interior do painel.

Outras interações não apresentaram diferenças significativas para esta propriedade.

TABELA 4. VALORES MEDIOS DE MODULO DE ELASTICIDADE (MOE)

Unidade das partículas (%)	3				5				5				10				5				5			
Tempo de oven sagem (min.)	8								15								8				15			
Tempo de fecha- mento (seg.)	35	100	35	100	35	100	35	100	35	100	35	100	35	100	35	100	35	100	35	100	35	100	35	100
Parafina (%)	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
Módulo de elas- ticidade (kg/cm <sup>2</sup> )	41341	36692	30761	28001	45093	37797	34182	29435	43399	38570	34146	29521	46436	49833	39135	36390	45093	37797	34182	23435	43399	38570	34146	29521
Valores medios ajustados para densidade (g/cm <sup>3</sup> )	.776								.769								.771							
Médias ajusta- das (kg/cm <sup>2</sup> )	41414	37150	32197	28201	44658	36730	33948	29006	43506	38831	34878	30735	46710	48134	38690	35747	44787	37184	33973	29132	43500	38754	34588	30226
Nº Repetições	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5

4.6.1.3 Ligação interna (LI)- A ligação interna é uma importante propriedade avaliada em painéis de partículas pois serve como parâmetro de avaliação da agregação interna das partículas e da eficiência da colagem.

Normalmente atribui-se comportamento inverso entre as características de MOR,MOE de uma chapa e a ligação interna, ou seja, chapas de mesma densidade média e geometria de partículas ,com altos valores de MOR,MOE possuem baixa ligação interna devido a maior densificação nas camadas superficiais que nas camadas interiores e, ao contrário, quando a ligação interna é elevada implicaria em baixos valores de MOR e MOE isto porque a densificação no interior dos painéis é mais elevada.

Em contradição a este fato, neste experimento, a ligação interna mostrou-se significativa quando tempo de 35 segundos foi utilizado para fechamento da prensa (Figura 16),quando teoricamente, tempos mais longos seriam os mais indicados pelo fato que a compactação ao longo dos painéis seria mais uniforme. Entretanto a densificação das camadas interiores não apresentou uma correlação acentuada com a ligação interna. Até mesmo a presença de elevados teores de umidade no interior do colchão não influiu significativamente sobre a ligação interna. Já que na literatura é atribuído a elevados teores de umidade uma influência acentuada sobre a ligação interna (STRICKLER <sup>32</sup> , HEEBINK <sup>15</sup> et alii ).

TABELA 5. VALORES MEDIOS DE LIGAÇÃO INTERNA (LI)

Unidade das partículas (Z)	3				5				5				10				5				5			
Tempo de prensagem (min.)	8								15								8				15			
Tempo de fechamento (seg.)	35		100		35		100		35		100		35		100		35		100		35		100	
Parafina (Z)	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
Ligação interna (kg/cm <sup>2</sup> )	11,14	11,25	9,4	10,81	10,18	12,59	9,44	10,11	12,91	11,64	9,75	10,16	10,59	9,93	9,22	10,07	10,02	12,08	9,35	9,86	12,91	11,64	9,75	10,16
Valores médios ajustados para densidade (g/cm <sup>3</sup> )	.778								.767								.773							
Médias ajustadas (kg/cm <sup>2</sup> )	11,22	11,38	9,66	10,86	9,93	11,78	9,33	9,73	12,88	11,61	9,66	10,05	10,57	10,14	9,22	10,16	10,18	12,59	9,44	10,11	12,73	11,51	9,48	9,79
Nº repetições	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5

FIGURA 16. VALORES MEDIOS AJUSTADOS DE LIGAÇÃO INTERNA (LI),  
SOB AS DIFERENTES CONDIÇÕES IMPOSTAS

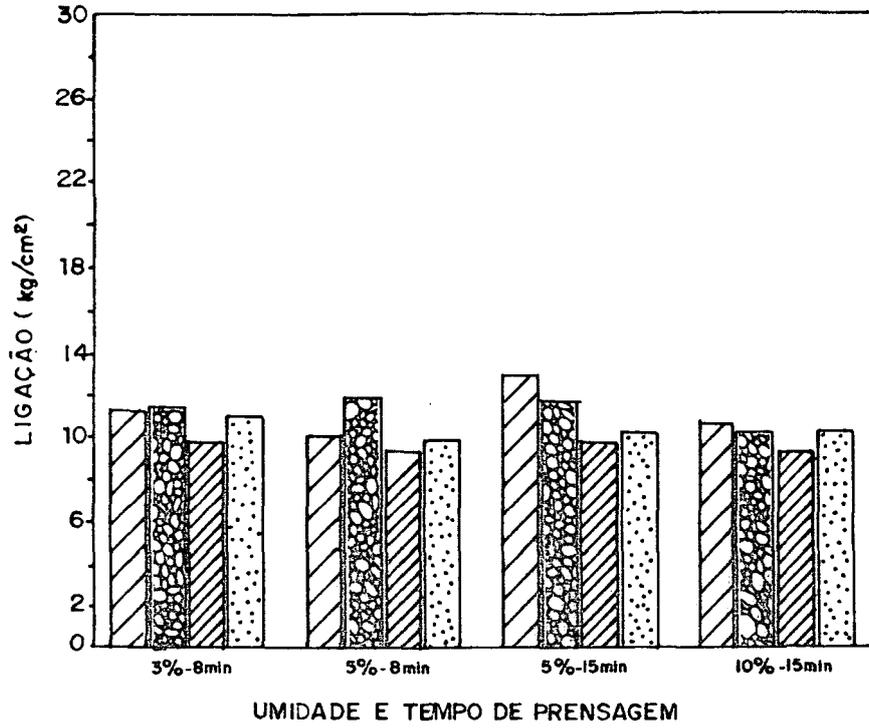
**LEGENDA**

TF-35  
1% PF

TF-35  
0% PF

TF-100  
1% PF

TF-100  
0% PF



Procurando-se encontrar outras variáveis presentes na experimentação e que pudessem estar correlacionadas com os valores obtidos de ligação interna, encontramos apenas uma pequena associação entre a ligação interna e o tempo de fechamento, o que confirma a análise estatística apresentada. Apesar disto os valores médios observados para a ligação interna são bastante elevados o que confirma as observações feitas por KEINERT JR.<sup>18</sup> e BRITO<sup>5</sup>, de que painéis do tipo wafer apresentam elevados valores de ligação interna. Outras variáveis correlacionadas de ordem de grandeza muito reduzida são apresentadas no item 4.7.

4.6.1.4 Resistência ao arrancamento de parafuso (RAP) - Esta propriedade apresenta especial importância quando utilizamos os painéis com fins moveleiros.

Neste trabalho as condições impostas às variáveis utilizadas no ciclo da prensa não apresentaram influência significativa sobre as médias dos painéis. A exceção apresentou-se no estudo das interações quando, em chapas cujos teores de umidade das partículas foram de 3% e 5% respectivamente e prensadas em 8 min., as médias da interação das variáveis principais umidade das partículas x tempo de fechamento apresentaram diferenças significativas.

Neste caso chapas com 5% de umidade nas partículas em que o tempo de fechamento foi de 35 s. apresentaram valores médios mais altos de resistência ao arrancamento de parafuso. (Fig.17)

TABELA 6. VALORES MEDIOS DE RESISTENCIA AO ARRANCAMENTO DE PARAFUSO (RAP)

Umidade das partículas (%)	3				5				5				10				5				5											
Tempo de prensagem (min.)	8								15								8				15											
Tempo de fechamento (seg.)	35	100	35	100	35	100	35	100	35	100	35	100	35	100	35	100	35	100	35	100	35	100	35	100								
Parafina (%)	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
Resistencia ao arrancamento parafuso (kg)	191	215	199	230	258	235	204	234	250	253	222	225	219	257	246	247	258	235	204	234	250	253	222	225								
Valores medios ajustados para densidade (g/cm <sup>3</sup> )	.776								.769								.771															
Médias ajustadas (kg)	197	217	204	231	257	231	203	232	252	257	234	245	223	230	242	237	253	224	200	228	252	256	229	238								
Nº repetições	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5								

FIGURA 17. VALORES MÉDIOS AJUSTADOS DE RESISTENCIA AO ARRANCA-  
MENTO DE PARAFUSO (RAP) SOB AS DIFERENTES CONDIÇÕES  
IMPOSTAS

LEGENDA

TF-35  
1% PF



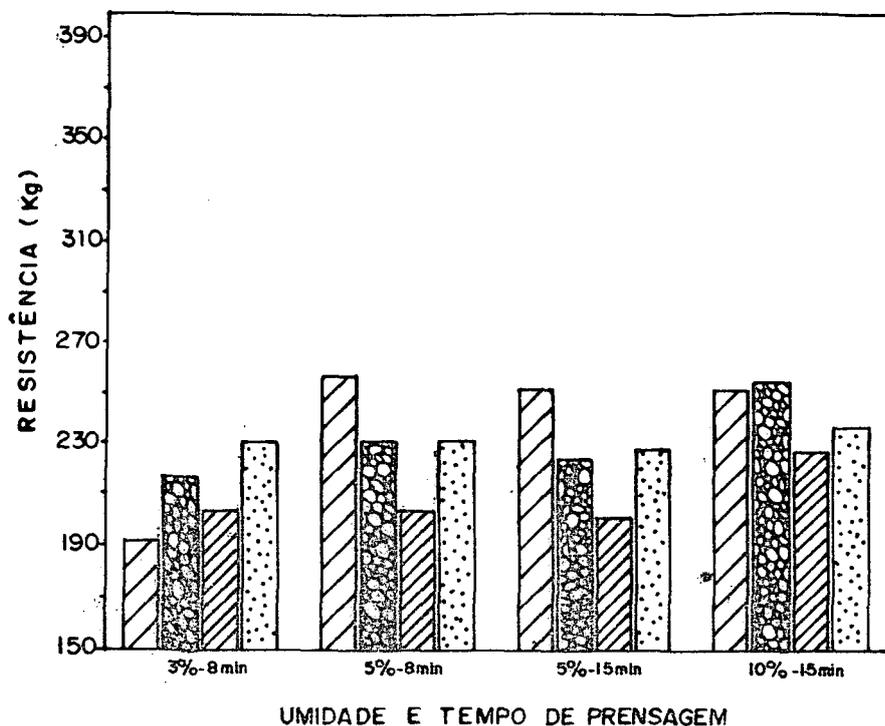
TF-35  
0% PF



TF-100  
1% PF



TF-100  
0% PF



#### 4.6.2 Propriedades dimensionais

4.6.2.1 Variação em espessura (VE)- A variação em espessura foi analisada em dois períodos; após a imersão dos corpos de prova em água por 2 horas e posteriormente 24 horas.

##### . Efeito da umidade

A variação em espessura após período de 2 horas foi menos pronunciada naqueles painéis em que as partículas apresentavam teor de umidade de 10% quando comparadas com aquelas de teor de umidade de 5%. No entanto, quando comparadas as médias de painéis de 3% e 5% de umidade respectivamente, não houve diferenciação significativa. (Figura 18)

Associado ao elevado teor de umidade está o fato de que painéis com 5% e 10% de umidade foram consolidados em 15 minutos o que permitiria melhor cura da resina.

Após 24 horas de embebição em água a tendência se manteve e a variação mais acentuada ocorreu em painéis com 5% de umidade prensados em 15 min. quando comparados com aqueles de 10% de umidade. Também neste caso comparações de médias de variação em espessura não foram diferenciadas em painéis com 5% e 3% de umidade prensados em 8 min.

Relacionamos estes resultados com o desenvolvimento de temperaturas interiores mais elevadas em painéis com 10% de umidade, isto contribuiu de modo significativo para que as partículas, ao final do processo, estivessem mais consolidadas e com menores tensões residuais de compressão. Segundo HALLIGAN

a variação em espessura de chapas de partículas é devida a variação em espessura da própria madeira e da liberação de tensões de compressão devidas a operação de prensagem.

Partículas mais secas tornam-se menos plásticas e oferecem maior resistência a compactação, as tensões finais de prensagem são maiores sob esta condição e quando o material é exposto a água tem tendência a liberar mais acentuadamente estas tensões. Também deve-se salientar que teores elevados de umidade associados com a temperatura são importante combinação de fatores na redução da variação em espessura pois, conforme observado, a transferência de calor mais rápida colabora na cura da resina com maior rapidez que em painéis com menor umidade.

#### . Efeito do tempo de fechamento

Outra variável do processo com grande influência sobre a estabilidade dimensional dos painéis foi o tempo de fechamento.

Comparações de médias de chapas obtidas com tempo de fechamento da prensa de 35 e 100 s. demonstraram maiores liberações de tensões e conseqüentemente, maior inchamento em espessura, naqueles painéis em que o tempo de fechamento foi mais longo (100 s.). Tanto nas observações de painéis com 5% e 10% de umidade nas partículas prensados em 15 min., como em painéis com 5% de umidade prensados em 8 e 15 min. para observações feitas após 2 horas como após 24 horas. A única exceção onde o tempo de fechamento não se mostrou significati-

TABELA 7. VALORES MEDIOS DE VARIAÇÃO EM ESPESSURA (VE)

Umidade das partículas(%)	3				5				5				10				5				5																													
Tempo de prensagem (min.)	8								15								8				15																													
Tempo de fechamento (seg.)	35		100		35		100		35		100		35		100		35		100		35		100																											
Parafina (%)	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0																										
Variação em 2 hs. espessura (%)	16,29	45,92	18,03	38,11	14,55	39,44	18,92	40,64	11,59	32,66	15,03	35,56	10,4	19,1	11,94	22,49	14,55	39,44	18,92	40,64	11,59	32,66	15,03	35,56																										
24 hs.	36,69	53,74	33,16	47,6	31,8	47,98	39,09	50,47	24,77	40,91	30,91	41,33	20,7	27,37	22,91	31,34	31,8	47,98	39,09	50,47	24,77	40,91	30,91	41,33																										
Valores médios ajustados para densidade (g/cm <sup>3</sup> )	.776								.769								.771																																	
Médias ajustadas(%)	2 hs.		16,33		46,02		18,11		38,11		14,52		39,26		18,92		40,64		11,64		33,04		15,56		35,58		10,54		17,66		11,8		21,83		14,69		40,18		19,05		41,02		11,53		32,43		14,82		34,75	
24 hs.	36,71		53,87		33,55		47,66		31,68		47,69		39,02		50,36		24,81		41,0		31,19		41,79		20,8		26,72		22,82		31,1		31,97		48,33		39,20		50,65		24,71		40,8		30,66		40,92			
Nº repetições	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5					

vo, foi na comparação das médias de variação em espessura de painéis com 5% e 3% de umidade prensados em 8 min., onde tanto após períodos de 2hs. como 24 hs. não houve diferenças nas médias devidas ao tempo de fechamento. Pode-se atribuir a uma diferenciação não acentuada em teor de umidade das partículas que pudesse alterar os efeitos da ação de um tempo de fechamento longo ou abreviado sobre a variação em espessura.

Observando-se o gradiente de densidade (Figura 11) notamos que nas camadas mais centrais obtidas em tempo de fechamento de 100 s. há uma densificação maior das camadas. Já na superfície a densificação é menor. Levando-se em consideração que a recuperação na deformação em compressão causada pela ação da prensagem é potencialmente maior em partes do colchão mais densificadas (SUCHSLAND <sup>34</sup>) a maior liberação destas tensões ocorreria em chapas cujo tempo de fechamento dos pratos foi de 100s. pois a densificação ao longo do perfil é mais acentuada que em tempo de fechamento menor.

#### **. Efeito do tempo de prensagem**

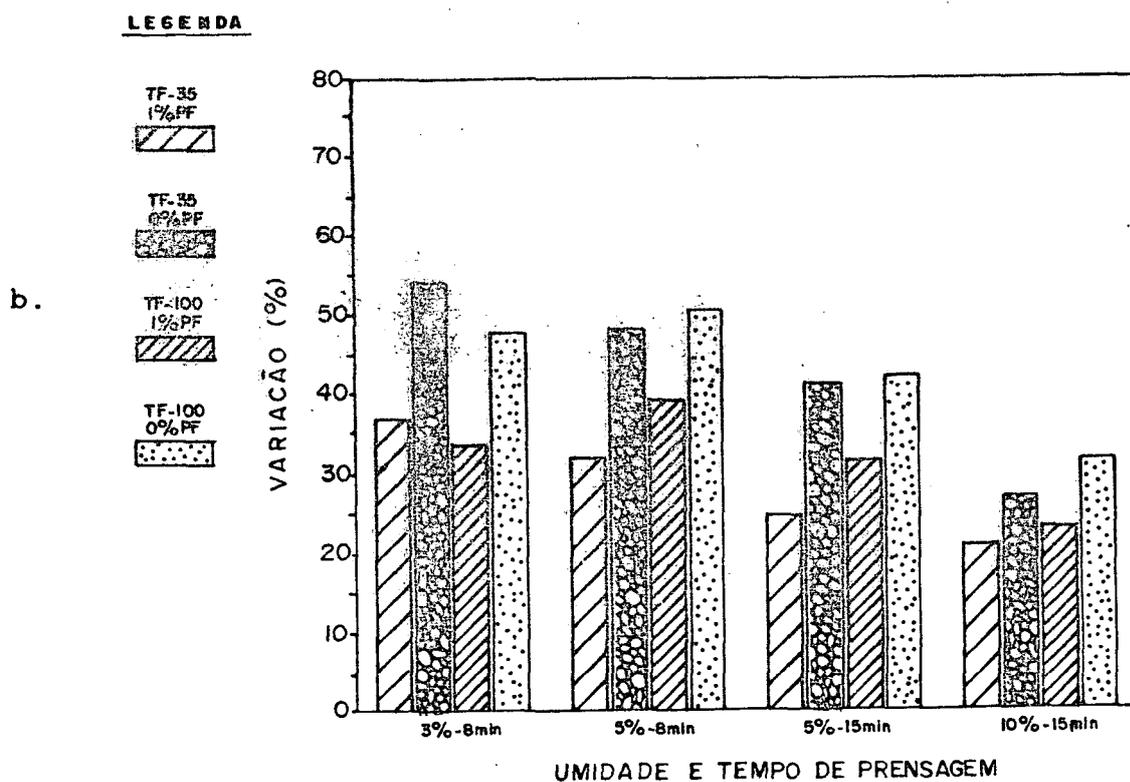
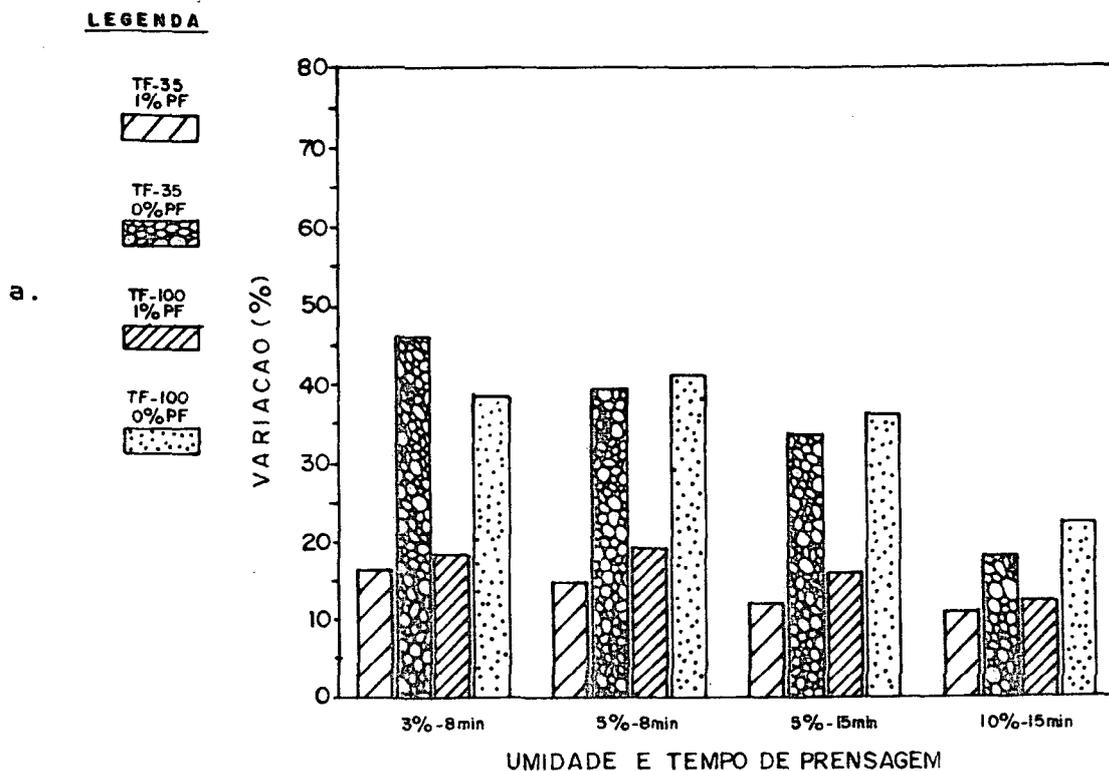
Ao se comparar os valores médios de variação em espessura para painéis com 5% de umidade nas partículas, prensados em tempo de 8 e 15 min. constatou-se que o inchamento em espessura foi maior para painéis prensados em tempo mais reduzido (8 min.). Compreende-se que a eficiência na cura da resina nas camadas mais interiores das chapas seja alcançada em períodos mais longos de prensagem, quando a temperatura nestas regiões seja suficiente para maior consolidação do painel.

### . Efeito da aplicação de parafina

Usada com o intuito de incrementar a resistência a ação da umidade, a parafina aplicada em percentual de 1% proporcionou a obtenção de painéis com maior estabilidade dimensional.

Em todas as condições analisadas a variação em espessura após períodos de imersão em água por 2 e 24 horas apresentou menores valores médios com a aplicação de 1% de parafina. Ocorreu sensível redução na higroscopicidade dos painéis.

FIGURA 18. VALORES MEDIOS DE VARIAÇÃO EM ESPESSURA (VE) SOB AS DIFERENTES CONDIÇÕES IMPOSTAS, APOS PERIODOS DE 2 (a) E 24 HORAS (b) DE IMERSÃO EM AGUA



## . Efeito das interações

### Umidade das partículas x Tempo de fechamento

A associação de umidade com tempo de fechamento produziu médias diferenciadas de variação em espessura, tanto após períodos de 2 horas de imersão em água como após 24 horas, para aqueles painéis cujas partículas apresentavam teores de umidade de 3% e 5% e que foram prensados em 8 minutos. Neste caso as menores médias de variação em espessura foram obtidas em painéis consolidados em tempo de fechamento de 35 s. e com 5% de umidade nas partículas e naqueles com 3% de umidade mas em tempo de fechamento de 100s. cujas médias não diferiram das primeiras.

Observamos que para umidade menor das partículas (3%) o tempo de fechamento mais longo foi mais propício a redução das tensões de compressão, permitindo talvez maior cura da resina. Para umidade maior (5%) associada com um tempo de fechamento mais rápido a variação em espessura foi mais reduzida.

No primeiro caso temos pouca transferência de calor às camadas interiores devido a baixa umidade, assim um tempo de fechamento mais longo foi o ideal. No segundo caso, para partículas com 5% de umidade, a transferência de calor ao miolo é mais rápida mas o tempo de fechamento mais abreviado foi o melhor porque permitiria maior evaporação de umidade já que, conforme comentado em seções anteriores, as temperaturas atingidas no miolo dos painéis são mais elevadas para tempo de fechamento mais curto.

#### Umidade das partículas x Aplicação de parafina

A aplicação de parafina sobre partículas cujo teor de umidade era de 10% proporcionou valores médios menores de variação em espessura após períodos de 2 e 24 horas de imersão em água.

Esta interação de umidade com parafina mostrou-se significativa apenas na comparação de médias de painéis com teor de umidade de 5% e 10% prensados em 15 minutos. Nas demais comparações não houve resposta a esta associação de variáveis, ou seja, as médias obtidas para a propriedade não diferiram estatisticamente quando se analisou a aplicação de 1% de parafina sobre partículas com 3% e 5% de umidade prensadas em 8 min., ou mesmo em partículas com mesma umidade (5%) com tempo de prensagem de 8 e 15 minutos.

A umidade elevada das partículas já havia proporcionado efeito significativo sobre a variação em espessura quando analisada individualmente, o mesmo ocorrendo com a aplicação de 1% de parafina. Neste caso, a combinação das duas variáveis proporcionou os menores valores médios de variação em espessura obtidos neste trabalho.

#### Tempo de fechamento x Aplicação de parafina

A presença de 1% de parafina nas partículas de painéis cuja consolidação ocorreu a partir de um tempo de fechamento de 35 s. apresentou os menores valores médios de variação em espessura. Este efeito causado pela existência de 1% de parafina sobre as partículas foi verificado na comparação de

médias de painéis com 3% e 5% de umidade prensados em 8 minutos após 24 hs. de imersão em água e painéis com 5% de umidade mas com tempos de prensagem de 8 e 15 min. após 2 e 24 hs. Neste caso, o efeito da interação se manifestou nas primeiras 2 horas e após 24 horas de imersão em água.

Sabemos através de análise individual que o tempo de fechamento mais rápido proporciona menor variação em espessura. Sabemos também que a aplicação de 1% de parafina mostra-se bastante eficiente na redução das variações. É compreensível que esta associação tenha-se mostrado mais eficiente.

Umidade das partículas x Tempo de fechamento x Aplicação de parafina

Esta interação foi significativa apenas quando se comparou valores médios de painéis com 5% e 10% de umidade nas partículas prensados em 15 minutos. Neste caso, confirmando as análises anteriores, a aplicação de 1% de parafina em partículas com 10% de umidade em que o tempo de fechamento foi de 35 s. ou 100 s., pois as médias são estatisticamente iguais, proporcionam os menores valores médios de variação em espessura após a exposição em água por 24 horas.

FIGURA 19. DIFERENÇAS DE VARIAÇÃO EM ESPESSURA (VE) ENTRE PERÍODOS DE 2 E 24 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA  
(As áreas não hachuradas correspondem as diferenças)

**LEGENDA**

TF-35  
1% PF



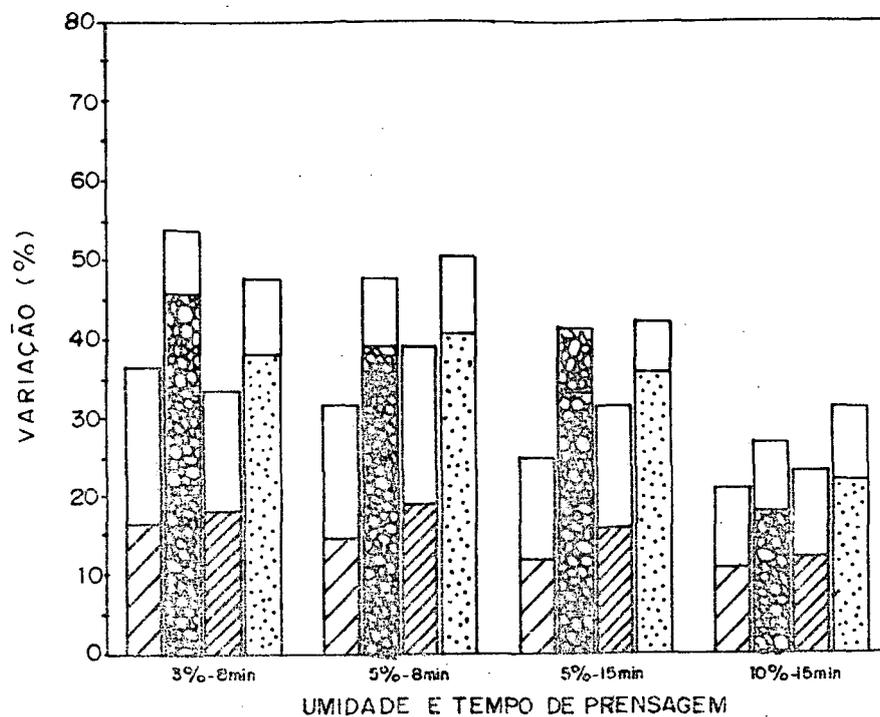
TF-35  
0% PF



TF-100  
1% PF



TF-100  
0% PF



4.6.2.2 Absorção de água (AA) - A variação em espessura está associada com a absorção de água, deste modo a análise estatística demonstrou que a resposta aos efeitos dos fatores analisados no processo foram muito semelhantes para estas propriedades.

#### . Efeito da umidade

Painéis com 10% de umidade prensados em 15 min. absorveram menos umidade quando expostos em água por períodos de 2 e 24 horas. Por outro lado não existiu diferença significativa entre as médias de absorção de água para painéis com 3% e 5% de umidade nas partículas prensados em 8 min. Como o que ocorre com a variação em espessura, a absorção de água está relacionada com a uniformidade de densificação no interior do painel motivada pela plasticidade das partículas que faz ocorrer diminuição dos espaços vazios no interior da chapa durante a prensagem, impossibilitando maior absorção de água.

#### . Efeito do tempo de fechamento

Reduções significativas nos valores médios de absorção de água tanto em períodos decorridos de 2 horas como de 24 horas ocorreram em painéis em que o fechamento dos pratos da prensa foi de 35 s. A única exceção foi a comparação de médias de painéis com 3% e 5% de umidade, com tempo de prensagem de 8 min., em que não houve diferenciação entre as médias obtidas em tempo de fechamento de 35 ou 100 s., após 2 horas de imersão em água e após 24 horas. Neste caso, como na variação em espessura, supõe-se que o efeito do tempo de fechamento não

tenha sido diferenciado em função da pequena distinção do gradiente de densificação vertical ao longo das chapas, para os dois tempos de fechamento. Sem maior diferenciação a variável de resposta comportaria-se de maneira semelhante, anulando as diferenças que pudessem ocorrer.

#### . Efeito do tempo de prensagem

Não houve a manifestação da influência do tempo de prensagem sobre a absorção de água quando se comparou as médias das chapas, após o decurso de 2 horas de imersão em água. Entretanto o tempo de prensagem mais longo (15 min.) é fator de diferenciação de médias que se manifesta após 24 horas de imersão dos corpos de prova, proporcionando maior estabilidade, com menor volume de água absorvido.

TABELA 8. VALORES MEDIOS DE ABSORÇÃO DE AGUA (AA), BASE PESO

Umidade das partículas (%)	3				5				5				10				5				5			
Tempo de prensagem (min.)	8								15								8				15			
Tempo de fechamento (seg.)	35		100		35		100		35		100		35		100		35		100		35		100	
Parafina (%)	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
Absorção de água (%) 2 hs	11,78	53,09	17,86	46,88	9,88	42,29	16,63	48,42	10,4	36,22	14,29	51,05	8,87	19,19	11,32	26,85	9,68	45,29	16,63	48,42	10,4	36,22	14,29	51,05
Absorção de água (%) 24 hs	35,13	75,09	40,4	71,39	34,57	71,59	45,2	74,15	30,15	57,03	39,91	71,81	24,5	35,03	27,96	43,32	34,57	71,59	45,2	74,15	30,15	57,03	39,91	71,81
Valores médios ajustados para densidade (g/cm)	.776								.769								.771							
Médias (%) 2 hs ajustadas	11,75	52,36	16,98	46,56	10,05	46,99	16,79	49,2	10,4	36,3	14,32	51,17	8,87	19,1	11,32	26,85	10,23	48,42	17,02	50,12	10,28	35,56	13,64	47,31
Médias (%) 24 hs ajustadas	35,08	77,79	39,46	71,26	34,86	72,28	45,35	74,43	29,98	56,61	38,73	69,87	24,06	37,76	28,35	44,36	35,91	74,26	46,11	75,48	29,71	56,22	37,98	68,74
Nº repetições	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5

### . Efeito da aplicação de parafina

Significativas reduções na absorção de água em períodos de 2 e 24 horas foram verificadas com a adição de 1% de parafina ao colchão. A impregnação das partículas com este aditivo proporcionou maior resistência a penetração de água nas chapas consolidadas.

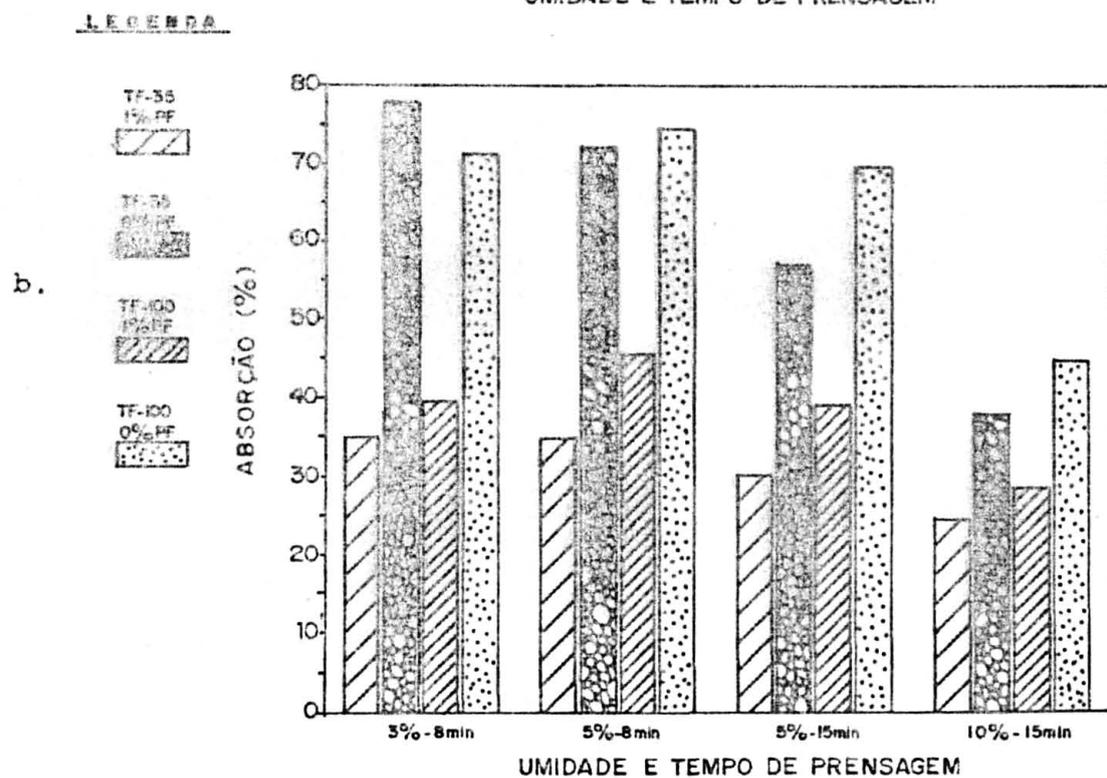
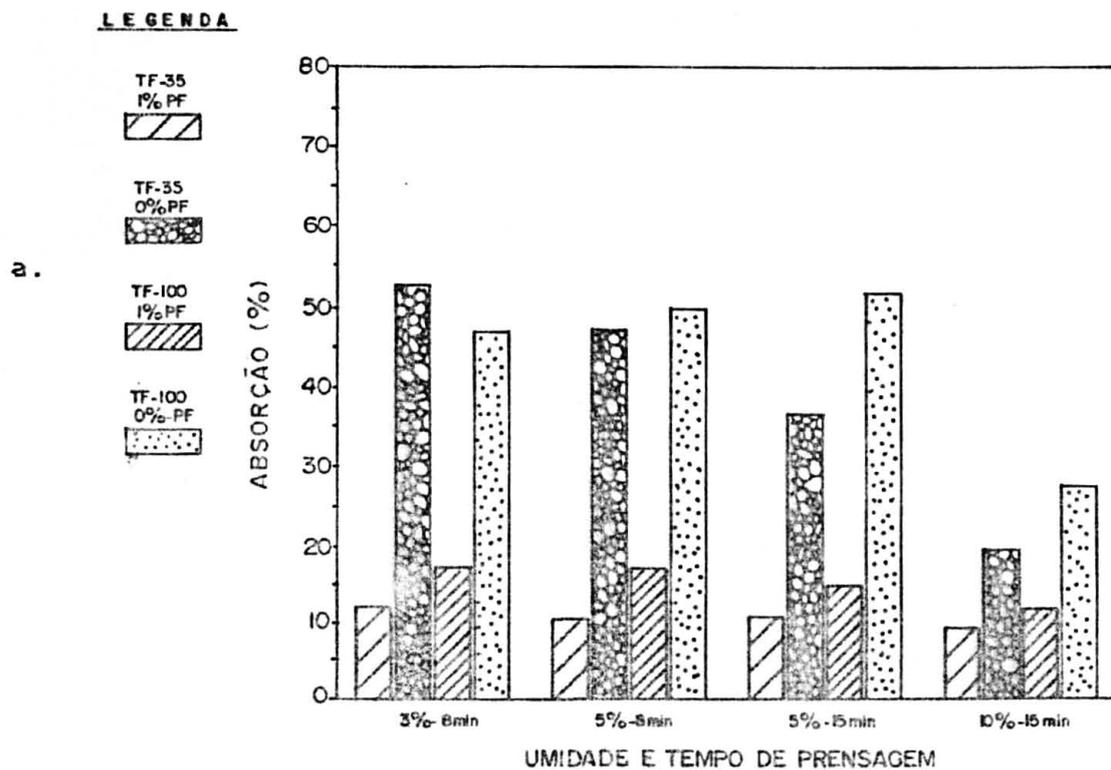
### . Efeito das interações

#### Umidade das partículas x Aplicação de parafina

A absorção de água medida após imersão dos corpos de prova em água por períodos de 2 e 24 horas foi menor para painéis em que se aplicou 1% de parafina às partículas com teor de umidade de 10%. Esta interação, similarmente ao que ocorreu com a variação em espessura, mostrou efeitos significativos sobre esta propriedade apenas quando se comparou painéis com 5% e 10% de umidade nas partículas e tempo de prensagem de 15 min. Nas demais comparações não apresentou diferenças estatísticas entre as médias.

A segunda melhor média com baixa absorção de água foi obtida com a aplicação de 1% de parafina sobre partículas com 5% de umidade. Este aspecto ressalta a importância da aplicação de parafina para redução da higroscopicidade dos painéis, bem como a importância da presença da umidade.

FIGURA 20. VALORES MEDIOS AJUSTADOS DE ABSORÇÃO DE AGUA (AA) BASE PESO, SOB AS DIFERENTES CONDIÇÕES IMPOSTAS, APOS PERIODOS DE 2(a) E 24 HORAS (b) DE IMERSÃO EM AGUA



### Tempo de fechamento x Aplicação de parafina

Esta interação mostrou-se significativa apenas no caso em que se comparou painéis prensados em 8 min. e cujas partículas apresentavam teor de umidade de 3% e 5%. O efeito da aplicação de parafina sobre as partículas, cujo tempo de fechamento dos pratos para consolidação foi de 35 s., resultou em valores médios de menor absorção de água.

Temos a ação da parafina tornando as partículas menos higroscópicas, associada a uma transferência de calor mais rápida ao centro do painel, causada pelo rápido tempo de fechamento.

FIGURA 21. DIFERENÇAS DE ABSORÇÃO DE AGUA (AA), BASE PESO, ENTRE PERÍODOS DE 2 E 24 HORAS DE IMERSÃO EM AGUA (As áreas não hachuradas correspondem as diferenças)

**LEGENDA**

TF-35  
1% PF



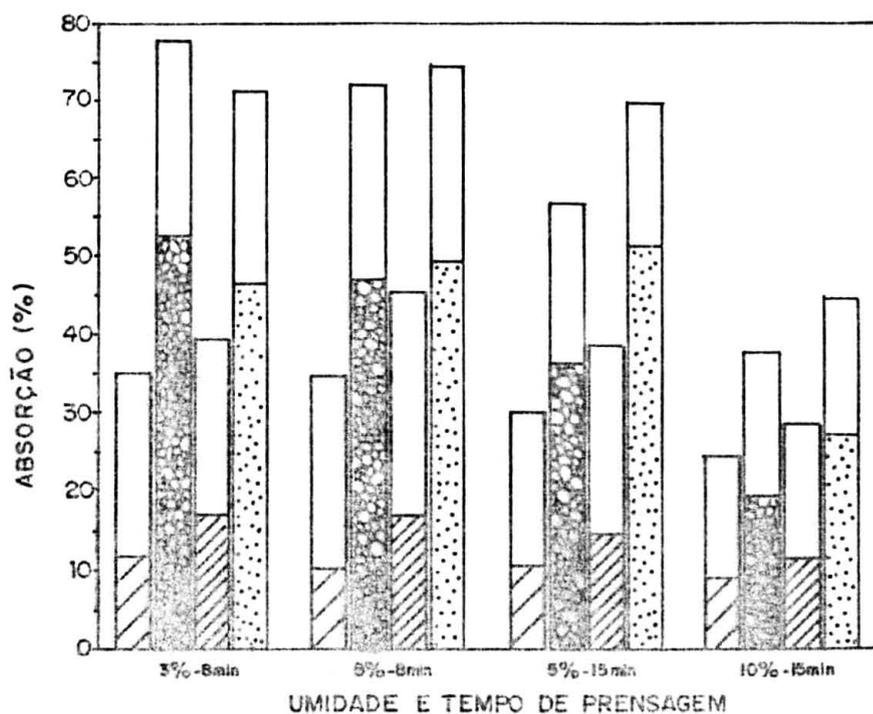
TF-35  
0% PF



TF-100  
1% PF



TF-100  
0% PF



#### 4.6.3 Propriedades físicas

##### 4.6.3.1 Taxa de variação em Espessura não Recuperável

(Springback)- A variação em espessura não recuperável ocorre quando submetemos uma chapa de partículas em umidade de equilíbrio com o ambiente a elevadas condições de umidade ou água por um certo período de tempo e posteriormente, tornamos a submetê-la as mesmas condições iniciais. Isto acontece devido a liberação de tensões residuais de compressão impostas aos painéis durante a prensagem. Segundo KELLY<sup>19</sup> a redução no teor de umidade a que é submetido o colchão de partículas na prensa aquecida reduz a plasticidade da madeira e resulta em uma condição semipermanente de tensões de compressão. Quando o teor de umidade aumenta ocorre a plasticização da madeira e estas tensões são liberadas, ocorrendo aumento em espessura na chapa. Ainda segundo KELLY<sup>19</sup> a variação total em espessura da chapa é devida também a adsorção de água pelas partículas de madeira, mas quando o painel sofre secagem nenhuma das tensões de compressão liberadas é recuperada, resultando em espessuras maiores que as originais.

O comportamento desta propriedade em relação a aplicação das diversas condições, foi muito semelhante aquele da variação em espessura após imersão em água durante 24 hs, já que esta variação é devida em parte a liberação de tensões que constituem o springback ou taxa de não retorno em espessura.

##### .Efeito da umidade

A ação da umidade foi mais acentuada quando comparadas

médias de chapas de partículas com 5% e 10% de umidade prensadas em 15 min. Para teores de umidade de 10% a liberação de tensões foi menor resultando em menor percentual médio de não retorno em espessura. Porém, quando comparadas chapas produzidas com umidade de 5% e 3% mas com tempo de prensagem de 8 minutos, a umidade das partículas não foi fator diferenciador das médias. Atribuímos a ocorrência de uma menor liberação de tensões em chapas com maior teor de umidade nas partículas aos mesmos motivos expostos para a variação em espessura, ou seja, a obtenção de temperaturas interiores elevadas e a redução da resistência a compressão quando efetuada a prensagem, o que possibilitou maior consolidação das partículas, resultando em menores tensões residuais de compressão.

#### . Efeito do tempo de fechamento

Tempo excessivamente longo de fechamento acarreta maior variação não recuperável em espessura. Esta afirmação é válida quando analisados painéis com 5% e 10% de umidade em tempo de prensagem de 15 min. e para painéis com 5% de umidade fabricados em tempo de prensagem de 8 e 15 min. Entretanto, painéis com teores de umidade de 3% e 5% não apresentaram diferença significativa entre as médias, devidas ao tempo de fechamento.

#### . Efeito do tempo de prensagem

Um tempo de prensagem mais longo proporciona menor liberação de tensões residuais de compressão quando submete-se os

painéis a condições de umidade extremas. Isto foi comprovado ao analisar-se o efeito do tempo de prensagem de 8 e 15 min. para chapas cujas partículas apresentavam 5% de umidade. Evidentemente com tempo mais longo de prensagem a cura da resina é mais acentuada, em consequência há menor acúmulo de tensões devidas a prensagem.

TABELA 9. VALORES MÉDIOS DE TAXA DE NÃO RETORNO EM ESPESSURA  
(SPRINGBACK) APOS A IMERSÃO EM AGUA POR 24 HS.

Unidade das partículas(%)	3				5				5				10				5				5			
Tempo de prensagem (min.)	8								15								8				15			
Tempo de fechamento (seg.)	35		100		35		100		35		100		35		100		35		100		35		100	
Parafina(%)	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
Varição não recuperável (%)	39,29	53,69	32,23	44,2	30,87	44,18	38,07	48,43	22,05	36,68	29,39	38,55	15,69	18,4	18,9	25,08	30,87	44,18	38,07	48,45	22,05	36,68	29,39	38,55
Valores médios ajustados para densidade (g/cm <sup>3</sup> )	.776								.769								.771							
Médias ajustadas (%)	39,27	53,55	31,8	44,14	31	44,5	38,14	48,58	22,15	36,92	30,05	39,64	15,94	16,9	18,68	24,5	31,15	44,73	38,26	48,73	21,96	36,51	28,99	37,91
Nº Repetições	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5

### . Efeito da aplicação de parafina

Do mesmo modo que na variação em espessura e absorção de água, a aplicação de 1% de parafina produziu médias menores de **springback** ou não retorno em espessura. É compreensível que a redução da higroscopicidade das partículas pela aplicação de parafina proporcione menor liberação de tensões residuais de compressão. Este parece ser um dos modos de reduzir as variações dimensionais em chapas de partículas bastante eficiente, embora outros tratamentos possam ser utilizados como pós-vaporização ou pós aquecimento (HUIJANEN<sup>16</sup>) e impregnação com resina (HAYGREEN & GERTJEJANSEN<sup>14</sup>).

### . Efeito das interações

Dentre as combinações das variáveis principais que apresentaram diferenças significativas entre as médias, destacaram-se para o não retorno em espessura:

#### Umidade das partículas x Tempo de fechamento

Esta interação foi significativa apenas ao se comparar médias obtidas de chapas cujas partículas continham 3% e 5% de umidade e que foram prensadas em 8 min. Neste caso, menor taxa de não retorno em espessura foi obtida em chapas com 3% de umidade cujo tempo de fechamento foi de 100 s. e 5% de umidade e tempo de fechamento de 35 s. cujas médias são menores e estatisticamente iguais.

### Umidade das partículas x Aplicação de parafina

Menor média de não retorno em espessura é obtida quando a partículas com 10% de umidade acrescenta-se 1% de parafina. Outro aspecto importante da análise desta interação é que, a segunda melhor média foi obtida em partículas com 10% de umidade sem parafina, salientando que a umidade é a variável mais importante atuando sobre esta propriedade quando comparadas médias de chapas com partículas apresentando 5% e 10% de umidade, prensadas em 15 min.

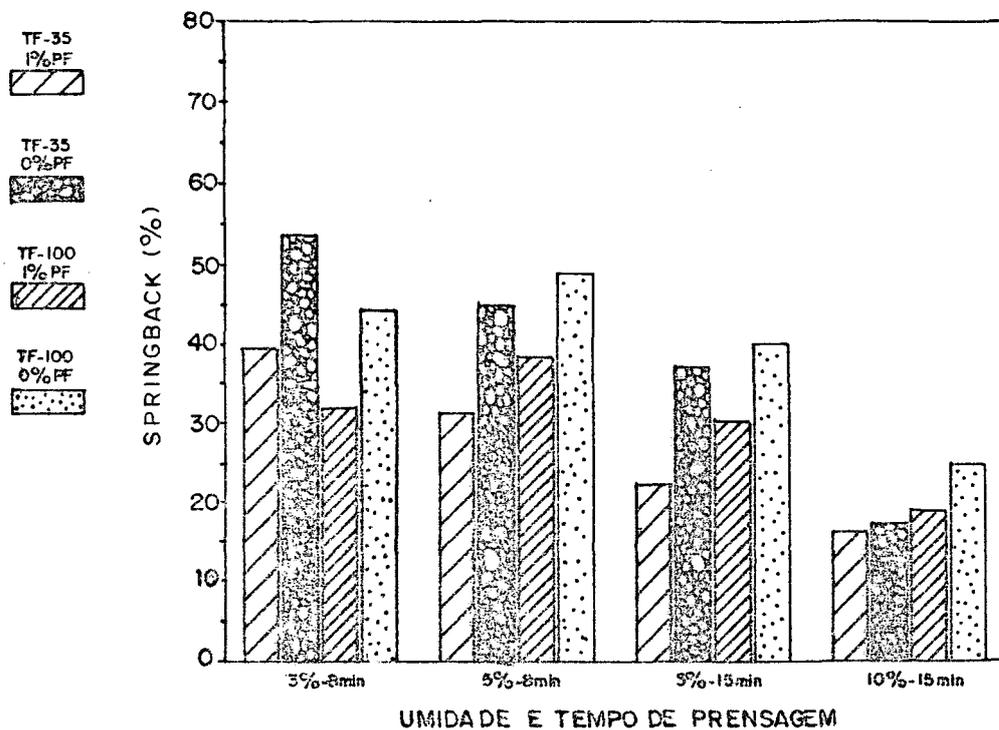
Nos demais casos não houve diferenças significativas.

### Umidade das partículas x Tempo de fechamento x Aplicação de parafina

A interação destas três variáveis apresentou médias estatisticamente diferenciadas apenas no caso em que se comparou partículas com teor de umidade 5% e 10% e que foram prensadas em 15 min. Neste caso a menor taxa de não retorno em espessura, conseqüentemente menor retenção de tensões residuais de compressão, foi obtida em painéis em cujas partículas com 10% de umidade aplicou-se 1% de parafina e cujo tempo de fechamento foi de 35 s.

Deste modo, médias de painéis sob as mesmas condições mas em que não se aplicou parafina não diferiram estatisticamente das anteriores. Assim o teor de umidade e o tempo de fechamento demonstraram maior influência sobre esta variável.

FIGURA 22. VALORES MEDIOS AJUSTADOS DE TAXA DE NÃO RETORNO EM ESPESSURA (SPRINGBACK), APOS 24 HS DE IMERSÃO EM AGUA, SOB AS DIFERENTES CONDIÇÕES IMPOSTAS



4.6.3.2 Densidade das chapas - No plano experimental havia-se determinado que a densidade dos painéis seria mantida constante em  $0,7 \text{ g/cm}^3$ . Embora tenha-se procurado controlar todos os parâmetros diretamente relacionadas com esta variável, tais como: umidade do material, peso do material e outras (ver item 3.3- formação das chapas) ao final do condicionamento constatou-se que houve variabilidade acentuada da densidade dos painéis, justificando ajuste dos dados através de uma análise de covariância (Tabela 10).

A diferenciação na densidade é atribuída a uma redução em espessura dos painéis calculada para ser de 13mm. O volume de material utilizado para a manufatura de cada chapa compreendia dimensões de  $50 \times 55 \times 1,3 \text{ cm}$  e a utilização de espaçadores condicionaria esta espessura.

Uma análise de variância com os valores obtidos em cada tratamento demonstrou que foi significativa a diferença entre a média das densidades de painéis com diferentes teores de umidade. Maiores densidades foram obtidas para painéis cujas partículas apresentavam 10% de umidade quando comparadas com aqueles com 5% de umidade e prensados em 15 min. Por sua vez a comparação de painéis prensados em 8 min. cuja umidade das partículas foi de 3% e 5% apresentou maior densidade naqueles com 5% de umidade.

Também o tempo de fechamento de 35 s. mostrou-se significativo por proporcionar maiores valores médios de densidade.

Com relação aos efeitos observados para estas variáveis sobre o aumento da densidade dos painéis, poderíamos atribuí-

los conforme já discutido, a redução em espessura mesmo com o uso dos espaçadores. O aumento da plasticidade da madeira pela ação da umidade e a rápida transferência de calor ao interior das chapas em tempo de fechamento mais rápido proporcionariam uma compactação mais acentuada além dos espaçadores. MOSLEMI<sup>24</sup> apresenta considerações semelhantes após análise de um trabalho realizado por NEUSSER<sup>\*</sup> em que a medida que há aumento no tempo de prensagem há redução em espessura nas chapas.

Apenas para demonstrar o efeito da redução em espessura sobre o aumento da densidade, observamos que reduções de 1mm em espessura, mantidas constantes as demais variáveis, elevariam a densidade de  $0,7 \text{ g/cm}^3$  para  $0,758 \text{ g/cm}^3$ .

De qualquer modo, através do ajuste dos dados pela análise de covariância, este problema pode ser contornado.

-----  
\* NEUSSER, H. About the changes of glues during the production process of particleboard and some factors influencing their adhesive quality. USDA Trans. FPL-546, 1964.

TABELA 10. VALORES MEDIOS DE DENSIDADE DOS PAINÉIS

Umidade das partículas (%)	3		5		5		10	
Tempo de prensagem (min.)	8		8		15		15	
Tempo de fechamento (seg.)	35	100	35	100	35	100	35	100
Densidade (g/cm <sup>3</sup> ) (médias originais)	0,769	0,755	0,795	0,784	0,763	0,741	0,789	0,782

#### 4.7 AVALIAÇÃO DE CORRELAÇÕES E INFLUENCIA DE OUTRAS VARIÁVEIS SOBRE AS PROPRIEDADES DOS PAINÉIS.

Procurando-se identificar e observar a possível influência de outras variáveis presentes no ciclo da prensa que pudessem influir sobre o comportamento das propriedades medidas dos painéis, além daquelas que foram controladas e medidas, realizou-se um estudo das correlações, medindo-se o grau de relação mútua entre os parâmetros que pudessem ter alguma contribuição no comportamento final dos painéis.

Dentre elas citamos:

1. Umidade das partículas para produção de cada chapa
2. Umidade do colchão de partículas (incluindo umidade da resina e parafina).
3. Taxa de evaporação ou perda em peso.
4. Tempo total de prensagem.
5. Tempo de fechamento dos pratos da prensa.
6. Tempo em que o centro da chapa esteve com temperatura acima de 140 C.
7. Temperatura máxima no centro do painel.
8. Percentual de parafina.
9. Densidade do miolo das chapas.
10. Densidade das chapas.
11. Espessura das chapas.
12. Fator de compactação.

Taxa de evaporação ou perda em peso- Antes de entrar na prensa para a consolidação final, o colchão de partículas foi

pesado. Após a consolidação, imediatamente após a abertura dos pratos da prensa, ele foi novamente pesado. A diferença em peso inicial e final fornecia a taxa de perda em peso num determinado tempo. Teoricamente seria igual a perda em umidade e ar devido a prensagem.

Tempo total de prensagem - Compreendendo a soma do tempo de fechamento dos pratos da prensa mais o tempo de prensagem.

Tempo em que o centro das chapas esteve com temperatura acima de  $140^{\circ}\text{C}$  - Segundo alguns autores a temperatura de cura da resina fenólica está em torno de  $140^{\circ}\text{C}$ . Portanto o tempo em que a temperatura esteve propícia a polimerização da resina constituiu-se numa observação importante.

Temperatura máxima no centro dos painéis - Máxima temperatura atingida no miolo.

Fator de compactação - Razão entre a densidade da chapa pela densidade da espécie.

Também procurou-se avaliar o grau de associação entre as propriedades medidas e os coeficientes de correlação que são apresentados na tabela 11.

TABELA 11. VALORES DE CORRELAÇÃO (R) ENTRE AS DIVERSAS  
VARIÁVEIS DO CICLO DA PRENSA

	HOR	NOE	LIGACAO	ARRANCAN.	VARES 2 HS	VARES 24 HS	ABS 2 HS	ABS 24 HS	SPRING
1. umidade part.	0,4303	0,5023	-0,0860	0,2634	-0,3850	-0,6100	-0,3154	-0,4568	-0,7137
2. umidade colch.	0,4276	0,5635	-0,0995	0,1642	-0,6371	-0,7746	-0,5723	-0,6726	-0,8063
3. taxa evapor.	0,4287	0,5483	-0,0286	0,2227	-0,6465	-0,8334	-0,5493	-0,6743	-0,8687
4. tempo tot. prens	0,1890	0,2191	-0,0507	0,2378	-0,3709	-0,5989	-0,2360	-0,3722	-0,6676
5. tempo fechamento	-0,6352	-0,7149	-0,3604	-0,1810	0,0472	0,0665	0,1260	0,1496	0,0621
6. tempo miolo 140oC	0,3798	0,4202	0,0273	0,2431	-0,4459	-0,6460	-0,3827	-0,5027	-0,7062
7. temp. máx. miolo	0,1034	0,1317	0,1015	0,1404	-0,0689	-0,2278	-0,0297	-0,1175	-0,2674
8. percentual paraf	0,0877	0,2405	-0,1223	-0,1809	-0,8095	-0,6080	-0,8058	-0,7323	-0,4361
9. densidade miolo	-0,3053	-0,3957	-0,1000	-0,0714	0,2701	0,3513	0,2300	0,3019	0,3190
10. densidade chapa	0,4668	0,4077	0,0351	0,3023	0,0356	0,0304	-0,0669	-0,0653	-0,0524
11. fator compactação	0,4668	0,4077	0,0351	0,3023	0,0356	0,0304			

Pelos valores de R (correlação) obtidos observamos boas correlações ou associação entre as propriedades de estabilidade dimensional relacionadas com o teor de umidade do material.

As propriedades de resistência apresentaram boa relação com a umidade do material mas o tempo de fechamento apresentou maior relação com estas variáveis.

Outra variável bastante associada ao desempenho das propriedades dimensionais foi o tempo em que o miolo das chapas esteve acima de 140 C<sup>o</sup> ou da temperatura de cura da resina, especialmente com a variação em espessura e springback.

O coeficiente de correlação medido entre as propriedades (tabela 12) mostrou boa relação entre MOR e MOE e springback com a variação em espessura e absorção de água, o que é compreensível.

Naturalmente apenas o coeficiente de correlação R não é suficiente para medir o grau de relação mútua entre duas variáveis, mas ele serve como um parâmetro eficiente para se ter uma noção da medida de associação entre algumas das variáveis envolvidas no ciclo da prensa. Serve também para ilustrar e reforçar muitas das conclusões apresentadas no experimento podendo servir como parâmetro de estimativas futuras, pelo menos sob as condições abordadas neste experimento.

Nas figuras 23 a 28 são apresentadas as relações lineares entre algumas das propriedades cujos coeficientes de correlação foram considerados os mais expressivos.

TABELA 12. VALORES DE CORRELAÇÃO (R) ENTRE AS PROPRIEDADES  
 AVALIADAS NO CICLO DA PRENSA

	HOR	NOE	LIGAÇÃO	ARRANCAN.	VARES 2 HS	VARES 24 HS	ABS 2 HS	ABS 24 HS	SPRING
HOR		0,0010	0,1929	0,2309	-0,3939	-0,4663	-0,4504	-0,5375	-0,5100
NOE	0,8810		0,1334	0,2468	-0,5205	-0,5451	-0,5685	-0,5971	-0,5598
VARES 2HS	-0,3939	-0,5205	0,0928					0,9543	0,8290
VARES 24HS	-0,4663	-0,5451	0,0679	-0,1292	0,9244		0,8459	0,9293	0,8290
ABS 2HS	-0,4504	-0,5685	0,0369					0,9501	
ABS 24HS	-0,5375	-0,5971	0,0999	-0,0530		0,9293	0,9659		
SPRING	-0,5100	-0,5598	0,0247	-0,2095	0,8290	0,9659	0,7302	0,8542	

FIGURA 23. RELAÇÃO LINEAR ENTRE O MODULO DE ELASTICIDADE (Y) E O TEMPO DE FECHAMENTO DA PRENSA (X)

$$Y = 47248,6 + (-141,108)X$$

$$R = -0,714857$$

$$R^2 = 0,5110$$

$$F = 79,426$$

78 OBSERVAÇÕES

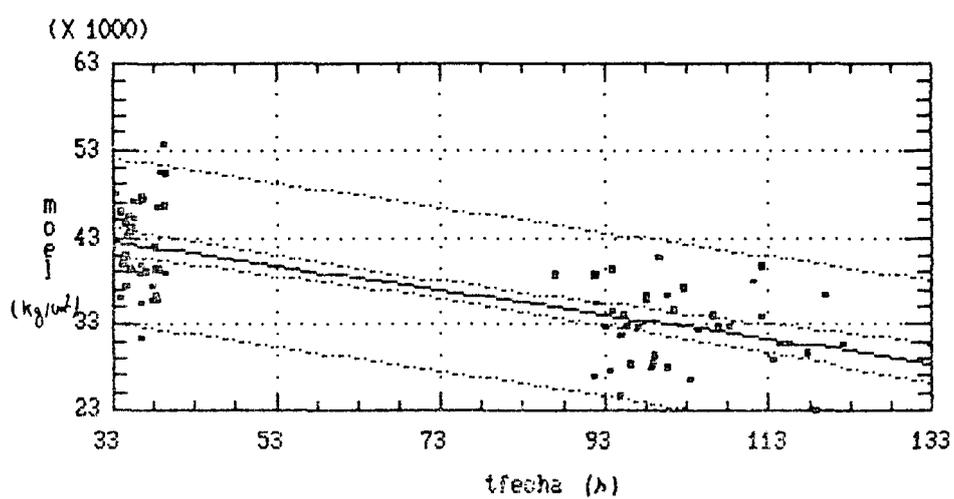


FIGURA 24. RELAÇÃO LINEAR ENTRE A VARIACÃO EM ESPESSURA APOS 24 HS (Y) E A TAXA DE EVAPORAÇÃO (X)

$$Y = 72,1307 + (-6,5387)X$$

$$R = -0,833366$$

$$R^2 = 0,6945$$

$$F = 172,7710$$

78 OBSERVAÇÕES

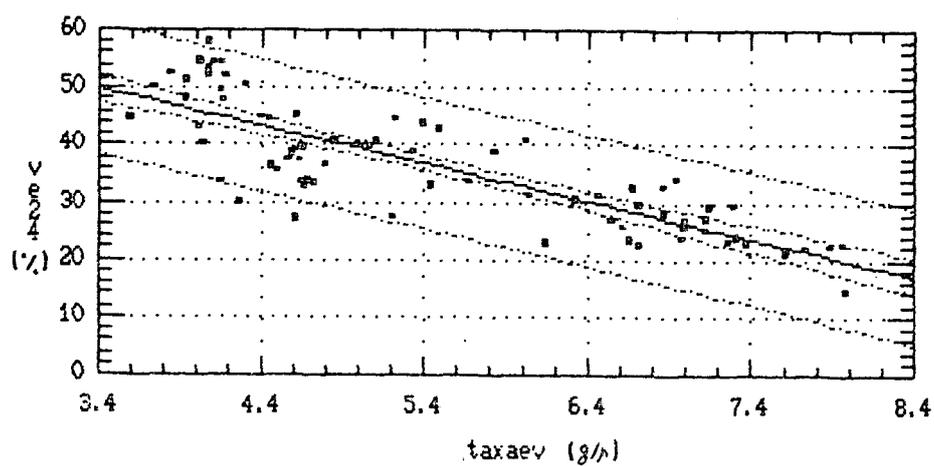


FIGURA 25. RELAÇÃO LINEAR ENTRE A VARIACÃO EM ESPESSURA APOS 24 HS (Y) E A UMIDADE DO COLCHÃO (X)

$$Y = 74,9943 + (-3,7764)X$$

$$R = -0,774479$$

$$R^2 = 0,5998$$

$$F = 113,9136$$

78 OBSERVAÇÕES

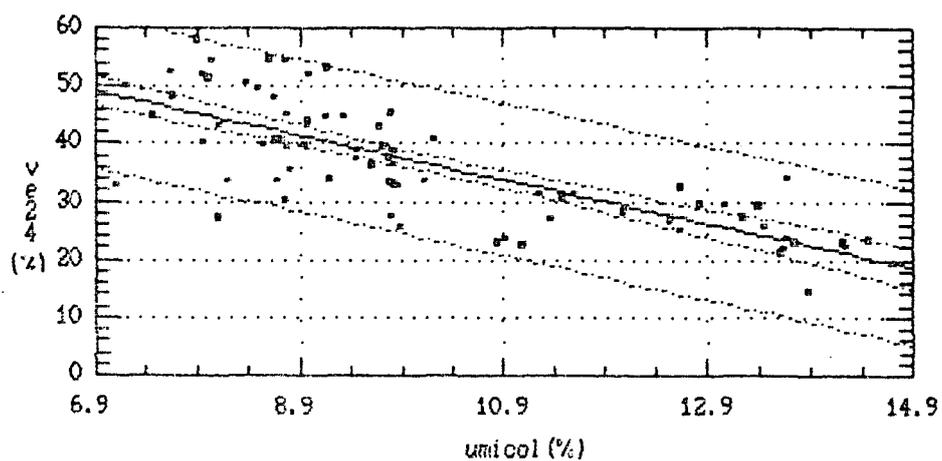


FIGURA 26. RELAÇÃO LINEAR ENTRE O SPRINGBACK (Y) E A UMIDADE DO COLCHÃO (X)

$$Y = 79,1045 + (-4,45634)X$$

$$R = -0,8063$$

$$R^2 = 0,6501$$

$$F = 141,2246$$

78 OBSERVAÇÕES

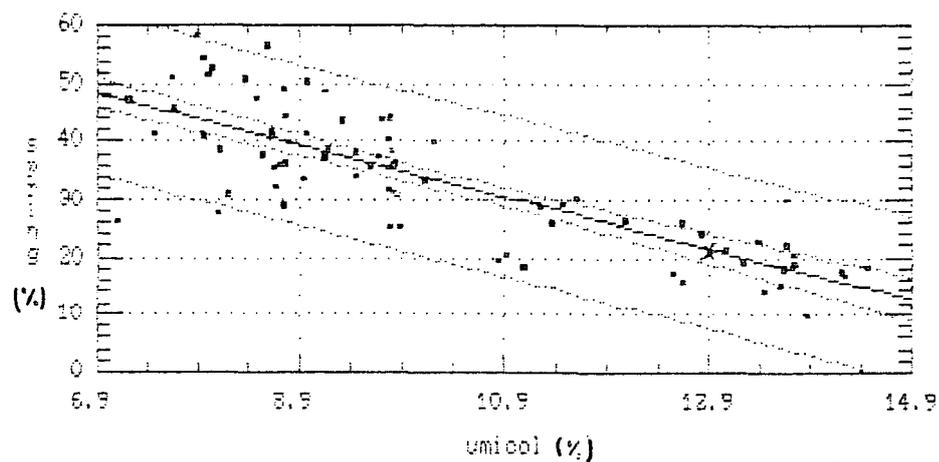


FIGURA 27. RELAÇÃO LINEAR ENTRE O SPRINGBACK (Y) E A TAXA DE EVAPORAÇÃO (X)

$$Y = 75,7764 + (-7,72547)X$$

$$R = -0,8687$$

$$R^2 = 0,7546$$

$$F = 233,683$$

78 OBSERVAÇÕES

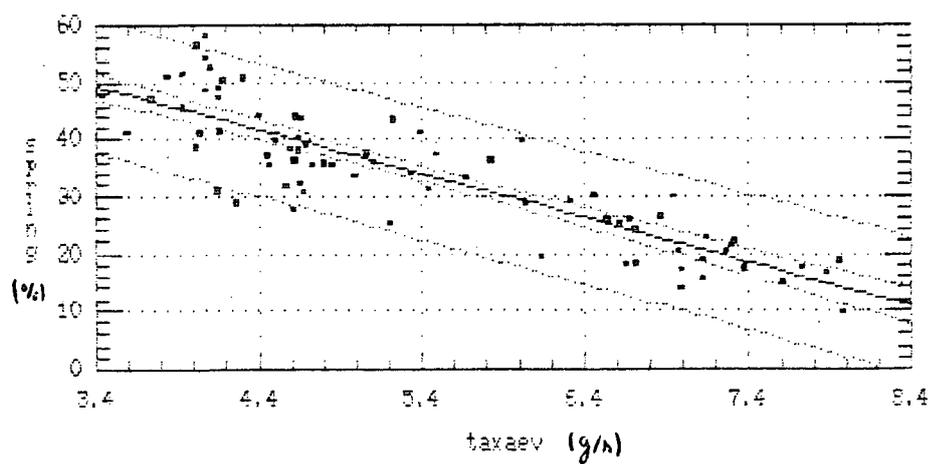


FIGURA 28. RELAÇÃO LINEAR ENTRE O MÓDULO DE RUPTURA (Y) E O MÓDULO DE ELASTICIDADE (X)

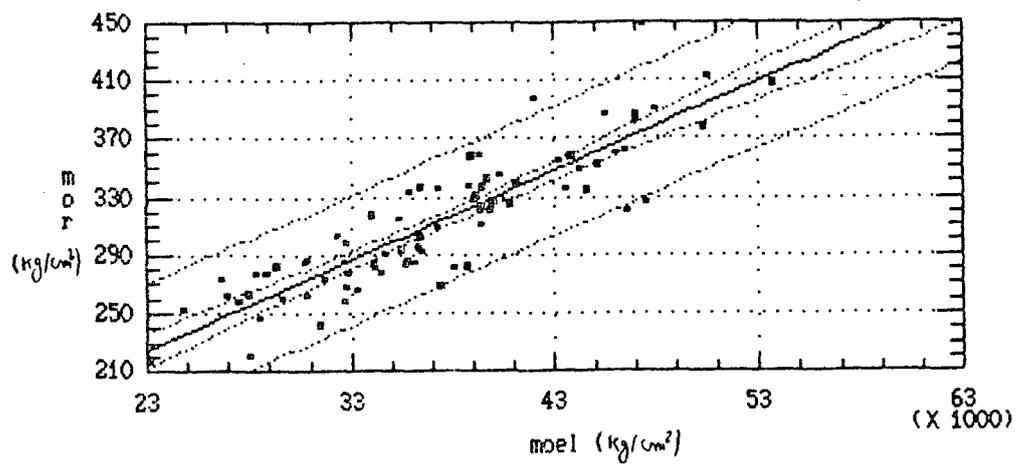
$$Y = 83,6695 + 0,00613644X$$

$$R = 0,880961$$

$$R^2 = 0,7761$$

$$F = 263,43$$

78 OBSERVAÇÕES



## 5 CONCLUSÕES

1 Teores elevados de umidade (10%) proporcionaram distribuição mais uniforme de temperatura no interior dos painéis devido a mais rápida transferência de calor ao centro, com menor gradiente de temperatura entre as superfícies e o miolo.

2 Elevados teores de umidade presentes nas partículas proporcionaram reduções na resistência a compressão e menor acúmulo de tensões residuais de compressão devidas a prensagem, comprovadas pela maior estabilidade dimensional de painéis cujas partículas apresentavam 10% de umidade.

3 Tempo de fechamento mais rápido (35 s.), mantidas constantes as demais variáveis, proporcionou mais rápida transferência de calor ao centro dos painéis, muito provavelmente porque com o rápido fechamento da prensa e encontro dos espaçadores a distância a ser percorrida foi menor entre as camadas de partículas e espaços de ar existentes no colchão.

4 O gradiente vertical de densidade foi pouco diferenciado para os dois tempos de fechamento impostos (35 e 100 s.), mas

observou-se um ligeiro deslocamento do ponto de maior densificação de camadas de partículas para o interior de painéis em tempo de fechamento mais lento (100 s.). Também para o tempo de 100 s. houve tendência a maior densificação nas camadas interiores de partículas.

5 Até o ponto de maior densificação atingido pelas camadas de partículas o tempo de fechamento de 35 s. proporcionou maior densidade para as camadas superficiais. Após este ponto a maior densificação das camadas foi devida ao tempo de fechamento de 100 s. Comprovou-se assim que tempos de fechamento mais rápidos proporcionam maior densificação superficial dos painéis, devido a maior força de compressão atuando na superfície, enquanto que para tempos de fechamento mais longos há distribuição mais gradual dos esforços de compressão.

6 O tempo de prensagem apresentou maior influênciasobre as propriedades relacionadas com a estabilidade dimensional dos painéis. Chapas com teor de 10% de umidade nas partículas apresentaram menores variações em espessura, absorção de água e taxa de não retorno em espessura, quando prensadas durante 15 min.

7 A diferenciação não muito acentuada do gradiente vertical de densidade para os tempos de fechamento aplicados, mantida

constante a pressão independente da velocidade de fechamento, faz crer que a pressão inicial possua maior influência sobre a formação do gradiente vertical. Entretanto para confirmar esta suposição há a necessidade de estudos complementares.

8 As propriedades de resistência MOR, MOE, ligação interna sofreram maior influência da variável tempo de fechamento e parecem ter maior relação com o gradiente vertical de densidade.

9 O Módulo de Ruptura (MOR) apresentou maiores valores médios para o tempo de fechamento de 35 s. Também foi influenciado pela adição de 1% de parafina em partículas com teor de umidade de 3% e 5%. Não foi influenciado pelas variações em teor de umidade.

10 O Módulo de Elasticidade (MOE) apresentou maiores valores médios para um tempo de fechamento de 35 s., pela aplicação de 1% de parafina às partículas e também para o teor de umidade de 10% retido nas partículas.

11 A ligação interna foi influenciada apenas pelo tempo de fechamento de 35 s., nos demais casos não sofreu influência das variáveis.

12 A resistência ao arrancamento de parafuso (RAP) não foi influenciada pelas variáveis do ciclo da prensa analisadas individualmente, entretanto em painéis com umidade de 5% prensados em 8 min., com tempo de fechamento de 35 s. apresentou médias maiores e diferenciadas das demais.

13 As propriedades dimensionais foram mais afetadas pelo teor de umidade contido nas partículas e têm forte relação com a diminuição de esforços e redução de tensões residuais de compressão facilitadas pela umidade. Sofreram também grande redução nas variações dimensionais pela aplicação de parafina.

14 A variação em espessura analisada após períodos de 2 e 24 horas, foi menor para umidade de 10% nas partículas, pela aplicação de 1% de parafina, para o tempo de fechamento de 35 s. , para tempo de prensagem de 15 min. Sofreu também grande influência da combinação de variáveis envolvidas no ciclo da prensa.

15 A absorção de água, base peso, medida após períodos de 2 e 24 horas foi menor para teor de umidade das partículas de 10%, pela aplicação de 1% de parafina, para um tempo de fechamento da prensa de 35 s. e para um tempo de prensagem de 15 min.

16 As propriedades dimensionais foram mais afetadas pelas interações das variáveis do ciclo da prensa que as propriedades de resistência, tendo sido mais susceptíveis a combinação dos diversos fatores envolvidos no processo de consolidação dos painéis.

17 A taxa de não retorno em espessura (springback) foi fortemente influenciada pela umidade das partículas e presença de parafina. Tendo sido menor para umidade de 10% nas partículas e aplicação de 1% de parafina.

18 A densidade dos painéis foi afetada pelo teor de umidade das partículas e pelo tempo de fechamento da prensa. Maiores densidades foram obtidas para painéis prensados em 15 min. cujas partículas apresentavam 10% de umidade e também para painéis com 5% de umidade prensados em 8 min. Maiores valores médios de densidade foram obtidos em tempo de fechamento de 35s.

A influência destas variáveis sobre o aumento da densidade é atribuída a redução em espessura que provocaram nos painéis.

19 Para obtenção de painéis com grande estabilidade dimensional a variável mais importante a ser considerada no ciclo da prensa foi a umidade do material. Isto porque está mais diretamente relacionada com a redução de tensões residuais de prensagem. Também são importantes a aplicação de parafina e tempos de fechamento mais curtos.

20 Para obtenção de painéis com propriedades de resistência elevadas o tempo de fechamento de 35 s., que atua diretamente sobre o gradiente vertical de densidade, parece ser a variável mais importante a ser observada, estando também muito relacionadas com a umidade contida nas partículas.

21 De modo geral, quando comparados os valores obtidos para as propriedades de resistência com os requisitos mínimos exigidos pela norma internacional para chapas de partículas, verificamos que apenas o Módulo de Elasticidade apresentou valores médios abaixo dos valores mínimos estabelecidos. Isto nas condições em que não foi aplicada parafina sobre as partículas com 3% e 5% de umidade e cujo tempo de fechamento da prensa foi de 100 s.

Para as demais propriedades os valores mínimos observados estiveram acima dos requisitos exigidos para este tipo de painel, o que demonstra que pelo controle destas variáveis pode-se obter painéis de ótima qualidade.

## SUMMARY

This research was carried out to study the press cycle in production of waferboards utilizing *Pinus taeda*. The effects of particles moisture content (3%,5%,10%), the press closing time (35, 100 s.), press time (8 and 15 min.) and the addition of 1% parafin wax were analysed. Higher moisture content of the material results in faster heat transfer to the center of the board and consequently, higher temperature at this point. The best results in terms of MOR,MOE and dimensional stability of the panels were obtained using a press closing time of 35 s. Particles with 10% moisture content give a lower thickness swelling, water absorption and springback. The press time did not affect the strength properties but when using 15 minutes of pressing lower variation was observed in the dimensional properties of the panels. The use of 1% parafin wax in particles improves the dimensional stability of panels. The most significant interaction between variables are attained in the dimensional stability properties, water absorption, and springback.

**ANEXOS**

## ANEXO 1

### RESULTADOS OBTIDOS NA ANÁLISE ESTATÍSTICA DAS VARIÁVEIS ESTUDADAS

São apresentados a seguir os resultados das análises estatísticas das variáveis em estudo. Inicialmente foi realizada a análise de variância da densidade dos painéis, que se supunha influir sobre as variáveis dependentes (propriedades), o que de fato foi constatado pelas análises realizadas, justificando deste modo o ajuste destas variáveis para valores médios de densidade através da análise de covariância.

Três condições de análise foram estabelecidas:

Condição 1 - Análise de variância e covariância das propriedades, em que a umidade das partículas foi de 5% e 10%, tempo de prensagem de 15 min., tempo de fechamento dos pratos de 35 e 100 s., aplicação de 0% e 1% de parafina às partículas.

Condição 2 - Análise de variância e covariância das propriedades em que a umidade das partículas foi de 3% e 5%, tempo de prensagem de 8 min., tempo de fechamento dos pratos de 35 e 100 s., aplicação de 0% e 1% de parafina às partículas.

Condição 3 - Análise de variância e covariância das propriedades em que a umidade das partículas foi de 5%, tempo de prensagem de 8 e 15 min., tempo de fechamento dos pratos de 35 e 100 s., aplicação de 0% e 1% de parafina às partículas.

A análise estatística dividida nestas três condições foi devido a impossibilidade de se prensar chapas com 10% de umidade nas partículas em apenas 8 min. Optou-se então pelo delineamento apresentado.

TABELA A1.1. ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA COVARIÁVEL DENSIDADE  
NA CONDIÇÃO 1.

Causa da Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F Calculado
Total	38		
Tratamentos	7	0,00320	7,619**
A = umidade	1	0,01085	25,833**
B = T. fechamento	1	0,00226	5,381*
C = Parafina	1	0,00153	3,643
Interações:			
A x B	1	0,00055	1,309
A x C	1	0,00458	10,905**
B x C	1	0,00183	4,357*
A x B x C	1	0,00079	1,881
Erro	31	0,00042	

Densidade Média = 0,769

F tabelado GL(1,31)

\* 95% 4,08

\*\* 99% 7,31

TABELA A1.2. ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA COVARIÁVEL DENSIDADE  
NA CONDIÇÃO 2.

Causa da Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F Calculado
Total	38		
Tratamentos	7	0,00177	3,404**
A = umidade	1	0,00748	14,385**
B = T. fechamento	1	0,00151	2,904
C = Parafina	1	0,00112	2,154
Interações:			
A x B	1	0,00003	0,058
A x C	1	0,00000	0
B x C	1	0,00056	1,077
A x B x C	1	0,00169	3,250
Erro	31	0,00052	

Densidade Média = 0,776

F tabelado GL(1,31)  
\* 95% 4,08  
\*\* 99% 7,31

TABELA A1.3. ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA COVARIÁVEL DENSIDADE  
NA CONDIÇÃO 3.

Causa da Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F Calculado
Total	38		
Tratamentos	7	0,00260	6,348**
A = T. prensagem	1	0,01391	33,927**
B = T. fechamento	1	0,00274	6,683*
C = Parafina	1	0,00001	0,024
Interações:			
A x B	1	0,00035	0,854
A x C	1	0,00095	2,327
B x C	1	0,00026	0,634
A x B x C	1	0,00000	0
Erro	31	0,00041	

Densidade Média = 0,771

F tabelado GL(1,31)

\* 95% 4,08

\*\* 99% 7,31

TABELA A1.4 ANÁLISE DE COVARIÂNCIA DA VARIÁVEL MÓDULO DE RUPTURA AJUSTADA PARA DENSIDADE NA CONDIÇÃO 1.

Causa da Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F Calculado
Total	37		
Tratamentos	7	5276,63930	9,426**
A = umidade	1	1996,88496	3,567
B = T. fechamento	1	31027,96583	55,428**
C = Parafina	1	446,13530	0,797
Interações:			
A x B	1	510,31829	0,912
A x C	1	1603,66696	2,865
B x C	1	1117,55267	1,996
A x B x C	1	233,95109	0,418
Erro	30	559,78733	

F tabelado GL(1,30)

\* 95% 4,17

\*\* 99% 7,56

TABELA A1.5. ANÁLISE DE COVARIÂNCIA DA VARIÁVEL MÓDULO DE RUPTURA AJUSTADA PARA DENSIDADE NA CONDIÇÃO 2.

Causa da Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F Calculado
Total	37		
Tratamentos	7	5145,45730	8,702**
A = umidade	1	128,89238	0,218
B = T. fechamento	1	18661,07433	31,561**
C = Parafina	1	13017,26143	22,016**
Interações:			
A x B	1	1806,48880	3,055
A x C	1	418,72881	0,708
B x C	1	1317,54508	2,228
A x B x C	1	668,21025	1,130
Erro	30	591,27541	

F tabelado GL(1,30)

\* 95% 4,17

\*\* 99% 7,56

TABELA A1.6. ANÁLISE DE COVARIÂNCIA DA VARIÁVEL MÓDULO DE RUPTURA AJUSTADA PARA DENSIDADE NA CONDIÇÃO 3.

Causa da Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F Calculado
Total	37		
Tratamentos	7	7151,86821	11,783**
A = T. prensagem	1	424,30269	0,699
B = T. fechamento	1	38460,82361	63,366**
C = Parafina	1	6596,75061	10,868**
Interações:			
A x B	1	430,43346	0,709
A x C	1	2107,36732	3,472
B x C	1	286,73509	0,472
A x B x C	1	1756,66474	2,894
Erro	30	606,96495	

F tabelado GL(1,30)

\* 95% 4,17

\*\* 99% 7,56

TABELA A1.7. ANÁLISE DE COVARIÂNCIA DA VARIÁVEL MÓDULO DE ELASTICIDADE AJUSTADA PARA DENSIDADE NA CONDIÇÃO 1.

Causa da Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F Calculado
Total	37		
Tratamentos	7	138547248,9	30,669**
A = umidade	1	152867327,7	33,840**
B = T. fechamento	1	703632642,7	155,761**
C = Parafina	1	60202875,1	13,327**
Interações:			
A x B	1	7049536,9	1,561
A x C	1	22578133,9	4,998*
B x C	1	8645211,7	1,914
A x B x C	1	14855014,3	3,288
Erro	30	4517379,8	

F tabelado GL(1,30)

\* 95% 4,17

\*\* 99% 7,56

TABELA A1.8. ANÁLISE DE COVARIÂNCIA DA VARIÁVEL MÓDULO DE ELASTICIDADE AJUSTADA PARA DENSIDADE NA CONDIÇÃO 2.

Causa da Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F Calculado
Total	37		
Tratamentos	7	147108176,8	18,522**
A = umidade	1	11950413,8	1,505
B = T. fechamento	1	741800231,6	93,401**
C = Parafina	1	252833830,5	31,835**
Interações:			
A x B	1	43213,7	0,005
A x C	1	12886328,9	1,623
B x C	1	6189936,4	0,779
A x B x C	1	4053282,5	0,510
Erro	30	7942132,9	

F tabelado GL(1,30)

\* 95% 4,17

\*\* 99% 7,56

TABELA A1.9. ANÁLISE DE COVARIÂNCIA DA VARIÁVEL MÓDULO DE ELASTICIDADE AJUSTADA PARA DENSIDADE NA CONDIÇÃO 3.

Causa da Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F Calculado
Total	37		
Tratamentos	7	136588353,3	20,094**
A = T. prensagem	1	1144604,8	0,168
B = T. fechamento	1	656839009,8	96,629**
C = Parafina	1	281365380,9	41,392**
Interações:			
A x B	1	1197451,6	0,716
A x C	1	6277149,7	0,923
B x C	1	5869556,8	0,863
A x B x C	1	3425319,5	0,504
Erro	30	6797554,2	

F tabelado GL(1,30)

\* 95% 4,17

\*\* 99% 7,56

TABELA A1.10. ANÁLISE DE COVARIÂNCIA DA VARIÁVEL VARIAÇÃO EM  
ESPESSURA APOS 2 HS. AJUSTADA PARA DENSIDADE NA  
CONDIÇÃO 1.

Causa da Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F Calculado
Total	37		
Tratamentos	7	0,17412	48,099**
A = umidade	1	0,14864	41,061**
B = T. fechamento	1	0,05394	14,900**
C = Parafina	1	0,95426	263,608**
Interações:			
A x B	1	0,00099	0,273
A x C	1	0,05339	14,749**
B x C	1	0,00400	1,105
A x B x C	1	0,00726	2,005
Erro	30	0,00362	

F tabelado GL(1,30)

\* 95% 4,17

\*\* 99% 7,56

TABELA A1.11. ANÁLISE DE COVARIÂNCIA DA VARIÁVEL VARIAÇÃO EM  
 ESPESSURA APOS 2 HS. AJUSTADA PARA DENSIDADE NA  
 CONDIÇÃO 2.

Causa da Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F Calculado
Total	37		
Tratamentos	7	0,19876	75,862**
A = umidade	1	0,00214	0,817
B = T. fechamento	1	0,00469	1,790
C = Parafina	1	1,33742	510,465**
Interações:			
A x B	1	0,01654	6,313**
A x C	1	0,00005	0,019
B x C	1	0,03011	11,492**
A x B x C	1	0,00039	0,149
Erro	30	0,00262	

F tabelado GL(1,30)

\* 95% 4,17

\*\* 99% 7,56

TABELA A1.12. ANÁLISE DE COVARIÂNCIA DA VARIÁVEL VARIACÃO EM  
 ESPESSURA APOS 2 HS. AJUSTADA PARA DENSIDADE NA  
 CONDIÇÃO 3.

Causa da Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F Calculado
Total	37		
Tratamentos	7	0,23232	74,942**
A = T. prensagem	1	0,04160	13,419**
B = T. fechamento	1	0,03376	10,890**
C = Parafina	1	1,52924	493,303**
Interações:			
A x B	1	0,00016	0,052
A x C	1	0,00129	0,416
B x C	1	0,01983	6,397*
A x B x C	1	0,00036	0,116
Erro	30	0,00310	

F tabelado GL(1,30)

\* 95% 4,17

\*\* 99% 7,56

TABELA A1.13. ANÁLISE DE COVARIÂNCIA DA VARIÁVEL VARIAÇÃO EM  
 ESPESSURA APOS 24 HS. AJUSTADA PARA DENSIDADE  
 NA CONDIÇÃO 1.

Causa da Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F Calculado
Total	37		
Tratamentos	7	225,54266	38,065**
A = umidade	1	460,09629	77,652**
B = T. fechamento	1	94,74868	15,991**
C = Parafina	1	910,94126	153,742**
Interações:			
A x B	1	0,34306	0,580
A x C	1	70,98779	11,981**
B x C	1	5,57683	0,941
A x B x C	1	36,10476	6,093*
Erro	30	5,92514	

F tabelado GL(1,30)

\* 95% 4,17

\*\* 99% 7,56

TABELA A1.14. ANÁLISE DE COVARIÂNCIA DA VARIÁVEL VARIAÇÃO EM  
 ESPESSURA APOS 24 HS. AJUSTADA PARA DENSIDADE  
 NA CONDIÇÃO 2.

Causa da Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F Calculado
Total	37		
Tratamentos	7	317,50302	20,318**
A = umidade	1	3,78017	0,242
B = T. fechamento	1	0,22459	0,14
C = Parafina	1	1945,73070	124,514**
Interações:			
A x B	1	227,05557	14,530**
A x C	1	9,32241	0,597
B x C	1	34,95526	2,237
A x B x C	1	1,45246	0,093
Erro	30	15,62661	

F tabelado GL(1,30)

\* 95% 4,17

\*\* 99% 7,56

TABELA A1.15. ANÁLISE DE COVARIÂNCIA DA VARIÁVEL VARIAÇÃO EM  
ESPESSURA APOS 24 HS. AJUSTADA PARA DENSIDADE  
NA CONDIÇÃO 3.

Causa da Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F Calculado
Total	37		
Tratamentos	7	327,26459	27,212**
A = T. prensagem	1	315,64534	26,246**
B = T. fechamento	1	121,43893	10,098**
C = Parafina	1	1776,46767	147,714**
Interações:			
A x B	1	7,12366	0,592
A x C	1	1,18700	0,099
B x C	1	68,49265	5,695*
A x B x C	1	0,49686	0,041
Erro	30	12,02638	

F tabelado GL(1,30)

\* 95% 4,17

\*\* 99% 7,56

TABELA A1.16. ANÁLISE DE COVARIÂNCIA DA VARIÁVEL ABSORÇÃO DE  
 ÁGUA APOS 2 HS. AJUSTADA PARA DENSIDADE NA  
 CONDIÇÃO 1.

Causa da Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F Calculado
Total	37		
Tratamentos	7	0,30865	46,907**
A = umidade	1	0,17533	26,646**
B = T. fechamento	1	0,15166	23,049**
C = Parafina	1	1,76353	268,014**
Interações:			
A x B	1	0,00072	0,109
A x C	1	0,06736	10,237**
B x C	1	0,00145	0,220
A x B x C	1	0,00054	0,082
Erro	30	0,00658	

F tabelado GL(1,30)

\* 95% 4,17

\*\* 99% 7,56

TABELA A1.17. ANÁLISE DE COVARIÂNCIA DA VARIÁVEL ABSORÇÃO DE  
 AGUA APOS 2 HS. AJUSTADA PARA DENSIDADE NA  
 CONDIÇÃO 2.

Causa da Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F Calculado
Total	37		
Tratamentos	7	0,42647	80,163*
A = umidade	1	0,00393	0,739
B = T. fechamento	1	0,06888	12,947**
C = Parafina	1	2,79996	526,308**
Interações:			
A x B	1	0,01080	2,030
A x C	1	0,00157	0,295
B x C	1	0,10012	18,819**
A x B x C	1	0,00003	0,006
Erro	30	0,00532	

F tabelado GL(1,30)

\* 95% 4,17

\*\* 99% 7,56

TABELA A1.18. ANÁLISE DE COVARIÂNCIA DA VARIÁVEL ABSORÇÃO DE  
 ÁGUA APOS 2HS. AJUSTADA PARA DENSIDADE NA  
 CONDIÇÃO 3.

Causa da Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F Calculado
Total	37		
Tratamentos	7	0,45442	68,643**
A = T. prensagem	1	0,01845	2,787
B = T. fechamento	1	0,11630	17,568**
C = Parafina	1	2,99254	452,045**
Interações:			
A x B	1	0,00006	0,009
A x C	1	0,00239	0,361
B x C	1	0,02484	3,752
A x B x C	1	0,02635	3,980
Erro	30	0,00662	

F tabelado GL(1,30)

\* 95% 4,17

\*\* 99% 7,56

TABELA A1.19. ANÁLISE DE COVARIÂNCIA DA VARIÁVEL ABSORÇÃO DE  
 AGUA APOS 24 HS. AJUSTADA PARA DENSIDADE NA  
 CONDIÇÃO 1.

Causa da Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F Calculado
Total	37		
Tratamentos	7	910,27333	29,146**
A = umidade	1	1213,41143	38,852**
B = T. fechamento	1	558,26311	17,875**
C = Parafina	1	4148,12637	132,818**
Interações:			
A x B	1	71,91429	2,303
A x C	1	352,78873	11,296**
B x C	1	24,66499	0,790
A x B x C	1	2,74441	0,088
Erro	30	31,23165	

F tabelado GL(1,30)

\* 95% 4,17

\*\* 99% 7,56

TABELA A1.20. ANÁLISE DE COVARIÂNCIA DA VARIÁVEL ABSORÇÃO DE  
 ÁGUA APOS 24 HS. AJUSTADA PARA DENSIDADE NA  
 CONDIÇÃO 2.

Causa da Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F Calculado
Total	37		
Tratamentos	7	1674,27375	32,294**
A = umidade	1	4,58003	0,088
B = T. fechamento	1	60,99819	1,177
C = Parafina	1	11262,30112	217,229**
Interações:			
A x B	1	132,43821	2,554
A x C	1	38,89289	0,750
B x C	1	217,12317	4,188*
A x B x C	1	3,58267	0,069
Erro	30	51,84521	

F tabelado GL(1,30)

\* 95% 4,17

\*\* 99% 7,56

TABELA A1.21. ANÁLISE DE COVARIÂNCIA DA VARIÁVEL ABSORÇÃO DE  
 ÁGUA APOS 24 HS. AJUSTADA PARA DENSIDADE NA  
 CONDIÇÃO 3.

Causa da Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F Calculado
Total	37		
Tratamentos	7	1522,156917	30,409**
A = T. prensagem	1	441,74526	8,825**
B = T. fechamento	1	516,39229	10,316**
C = Parafina	1	9464,23242	189,074**
Interações:			
A x B	1	51,69140	1,033
A x C	1	61,51067	1,229
B x C	1	13,34901	0,267
A x B x C	1	106,17737	2,121
Erro	30	50,05574	

F tabelado GL(1,30)

\* 95% 4,17

\*\* 99% 7,56

TABELA A1.22. ANÁLISE DE COVARIÂNCIA DA VARIÁVEL SPRINGBACK  
AJUSTADA PARA DENSIDADE NA CONDIÇÃO 1.

Causa da Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F Calculado
Total	37		
Tratamentos	7	266,83818	23,694**
A = umidade	1	918,51432	81,559**
B = T. fechamento	1	227,84393	20,231**
C = Parafina	1	524,55374	46,577**
Interações:			
A x B	1	0,03406	0,003
A x C	1	138,90372	12,333**
B x C	1	0,04174	0,004
A x B x C	1	57,97573	5,148*
Erro	30	11,26195	

F tabelado GL(1,30)

\* 95% 4,17

\*\* 99% 7,56

TABELA A1.23. ANÁLISE DE COVARIÂNCIA DA VARIÁVEL SPRINGBACK  
AJUSTADA PARA DENSIDADE NA CONDIÇÃO 2.

Causa da Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F Calculado
Total	37		
Tratamentos	7	282,99919	12,116**
A = umidade	1	17,63608	0,755
B = T. fechamento	1	17,73190	0,759
C = Parafina	1	1448,16962	62,000**
Interações:			
A x B	1	477,82414	20,457**
A x C	1	4,34892	0,186
B x C	1	14,60085	0,625
A x B x C	1	0,68286	0,030
Erro	30	23,35738	

F tabelado

\* 95% 4,17

\*\* 99% 7,56

TABELA A1.24. ANÁLISE DE COVARIÂNCIA DA VARIÁVEL SPRINGBACK  
AJUSTADA PARA DENSIDADE NA CONDIÇÃO 3.

Causa da Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F Calculado
Total	37		
Tratamentos	7	288,30928	14,131**
A = T. prensagem	1	405,93258	19,896**
B = T. fechamento	1	190,00337	9,313**
C = Parafina	1	1368,44543	67,072*
Interações:			
A x B	1	4,25988	0,209
A x C	1	0,19570	0,009
B x C	1	45,47603	2,229
A x B x C	1	3,85197	0,189
Erro	30	20,40258	

F tabelado GL(1,30)

\* 95% 4,17

\*\* 99% 7,56

TABELA A1.25. ANÁLISE DE COVARIÂNCIA DA VARIÁVEL ARRANCAMENTO  
DE PARAFUSO AJUSTADA PARA DENSIDADE NA CONDIÇÃO 1.

Causa da Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F Calculado
Total	37		
Tratamentos	7	484,05205	0,299
A = umidade	1	1045,38918	0,646
B = T. fechamento	1	14,36004	0,009
C = Parafina	1	174,40271	0,108
Interações:			
A x B	1	1848,04333	1,141
A x C	1	110,64526	0,068
B x C	1	14,98325	0,009
A x B x C	1	180,54058	0,111
Erro	30	1618,92871	

F tabelado GL(1,30)

\* 95% 4,17

\*\* 99% 7,56

TABELA A1.26. ANÁLISE DE COVARIÂNCIA DA VARIÁVEL ARRANCAMENTO  
DE PARAFUSO AJUSTADA PARA DENSIDADE NA CONDIÇÃO 2.

Causa da Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F Calculado
Total	37		
Tratamentos	7	1855,11170	2,572
A = umidade	1	2523,37934	3,498
B = T. fechamento	1	357,55677	0,496
C = Parafina	1	1656,83603	2,297
Interações:			
A x B	1	3697,55444	5,126*
A x C	1	1408,03554	1,952
B x C	1	1813,86026	2,514
A x B x C	1	1528,55954	2,119
Erro	30	721,37524	

F tabelado GL(1,30)

\* 95% 4,17

\*\* 99% 7,56

TABELA A1.27. ANÁLISE DE COVARIÂNCIA DA VARIÁVEL ARRANCAMENTO  
DE PARAFUSO AJUSTADA PARA DENSIDADE NA CONDIÇÃO 3.

Causa da Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F Calculado
Total	37		
Tratamentos	7	1358,59440	1,119
A = T. prensagem	1	1375,93711	1,133
B = T. fechamento	1	4016,75247	3,307
C = Parafina	1	79,53727	0,065
Interações:			
A x B	1	26,37079	0,022
A x C	1	103,83745	0,085
B x C	1	2207,99057	1,818
A x B x C	1	1699,73515	1,372
Erro	30	1214,46383	

F tabelado GL(1,30)

\* 95% 4,17

\*\* 99% 7,56

TABELA A1.28. ANÁLISE DE COVARIÂNCIA DA VARIÁVEL LIGAÇÃO  
 INTERNA AJUSTADA PARA DENSIDADE NA CONDIÇÃO 1.

Causa da Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F Calculado
Total	32		
Tratamentos	7	0,00734	1,532
A = umidade	1	0,00728	1,520
B = T. fechamento	1	0,02749	5,739*
C = Parafina	1	0,00000	0
Interações:			
A x B	1	0,00876	1,829
A x C	1	0,00106	0,221
B x C	1	0,00683	1,426
A x B x C	1	0,00000	0
Erro	25	0,00479	

F tabelado GL(1,25)

\* 95% 4,24

\*\* 99% 7,77

TABELA A1.29. ANÁLISE DE COVARIÂNCIA DA VARIÁVEL LIGAÇÃO  
 INTERNA AJUSTADA PARA DENSIDADE NA CONDIÇÃO 2.

Causa da Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F Calculado
Total	34		
Tratamentos	7	0,00553	1,179
A = umidade	1	0,00301	0,642
B = T. fechamento	1	0,01944	4,145
C = Parafina	1	0,01014	2,162
Interações:			
A x B	1	0,00041	0,087
A x C	1	0,00067	0,143
B x C	1	0,00004	0,008
A x B x C	1	0,00499	1,064
Erro	27	0,00469	

F tabelado GL(1,27)

\* 95% 4,21

\*\* 99% 7,68

TABELA A1.30. ANÁLISE DE COVARIÂNCIA DA VARIÁVEL LIGAÇÃO  
 INTERNA AJUSTADA PARA DENSIDADE NA CONDIÇÃO 3.

Causa da Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F Calculado
Total	31		
Tratamentos	7	0,00991	2,574
A = T. prensagem	1	0,00037	0,096
B = T. fechamento	1	0,04465	11,597**
C = Parafina	1	0,00416	1,080
Interações:			
A x B	1	0,00255	0,662
A x C	1	0,01027	2,667
B x C	1	0,00001	0,002
A x B x C	1	0,00737	1,914
Erro	24	0,00385	

F tabelado GL(1,24)

\* 95% 4,26

\*\* 99% 7,82

ANEXO 2

TABELA A2.1- REQUISITOS MÍNIMOS EXIGIDOS PARA PROPRIEDADES DE  
 10  
 CHAPAS DE PARTICULAS SEGUNDO A NORMA CS 236-66

TIPO (USD)	DENSIDADE média min.	CLASSE <sup>3</sup> média min.	MÓDULO DE RUPTURA (Kg/cm <sup>2</sup> ) média min.	MÓDULO DE ELASTICIDADE (Kg/cm <sup>2</sup> ) média min.	LIGAÇÃO INTERNA (Kg/cm <sup>2</sup> ) média min.	EXPANSÃO LINEAR (%) média max.	ARRANCAMENTO DE PARAFUSO	
							FACE Kg média min.	BORDA Kg média min.
A								
	(alta densidade) 3 0,80 g/cm e acima	1	169	24605	14,0	0,55	204,12	-----
		2	239	24605	9,8	0,55	-----	-----
B								
1	(média densidade)	1	112	17575	4,9	0,35	102,06	72,57
1	entre 0,60 e 0,80 3 g/cm	2	169	28120	4,2	0,30	102,06	90,72
C								
	(baixa densidade) 3 0,60 g/cm e abaixo	1	56	10545	1,4	0,30	57,0	-----
		2	98	17575	2,1	0,30	79,38	-----
A								
	(alta densidade)	1	169	24605	8,8	0,55	204,12	-----
2	0,80 g/cm <sup>3</sup> e acima	2	239	35150	28,1	0,55	226,80	158,76
2								
B								
	(média densidade)	1	126	17575	4,6	0,35	102,06	72,57
	entre 0,60 e 0,80 g/cm <sup>3</sup>	2	176	31635	4,2	0,25	113,40	90,72

1 Tipo 1 - Chapa de partículas (geralmente feita com resina uréia formaldeído) adequada para aplicações interiores

2 Tipo 2 - Chapa de partículas feita com resina durável e altamente resistente a umidade e calor (geralmente resina fenólica) adequada para aplicações interiores e certas aplicações exteriores quando assim classificada

3 Classe - Classificações de resistência baseadas nas propriedades dos painéis correntemente produzidos.

10  
 ADAPTADO DE CS 236 66

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard methods for specific gravity of wood and wood-base materials. In:\_\_\_\_. Annual book of ASTM standards. ASTM D 2395-69 Philadelphia, 1982.
2. \_\_\_\_\_. Standard methods for nonvolatile content of phenol, resorcinol, and melanine adhesives. In:\_\_\_\_. Annual book of ASTM standards. ASTM D 1582-60 (1981). Philadelphia, 1982.
3. \_\_\_\_\_. Standard methods of evaluating the properties of wood-base fiber and particle panel materials. In:\_\_\_\_. Annual book of ASTM standards. ASTM D 1037-78B. Philadelphia, 1982.
4. BODIG, J. & JAYNE, B. A. Mechanics of wood and wood composites. New York, Nostrand Reinhold, 1982. 712 p.
5. BRITO, E. O. A viabilidade de utilização de espécies de Pinus para a produção de chapas de composição estruturais "waferboards". Curitiba, 1984. 104 p. Dissertação. Mestrado. Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal.
6. BRUMBAUGH, J. Effect of flake dimensions on properties of particle boards. For. Prod. J. 5: 243-46, 1960.
7. CHOW, S. & STEINER, P.R. Comparison of curing and bonding properties of particleboard and waferboard - type phenolic resins. For. Prod. J. 29(11):49-55, 1979.
8. COCHRAN, W. G. Analysis of covariance: its nature and uses. Biometrics, 13(3): 261-81, 1957.
9. \_\_\_\_\_. & COX, G.M. Experimental designs. New York, John Wiley, 1957. 611 p.

10. COMMERCIAL Standard C.S. 236-66. Mat formed wood particleboard, 1968.
11. DENISOV, V.O.B. & JUSKOV, V. Die Berechnung der Presszeit bei der Herstellung von Spanplatten aus Holz. Holztechnologie, 15(3): 168-172, 1974.
12. GEIMER, R. L.; MONTREY H. M. & LEHMANN, W. F. Effects of layer characteristics on the properties of three-layer particleboards. For. Prod. J., 25(3): 19-29, 1975.
13. HALLIGAN, A. F. A review of thickness swelling in particleboard. Wood Science and Techn., 4: 301-312, 1970.
14. HAYGREEN, J. G. & GERTJEJANSEN, R. O. Influence of the amount and type of phenolic resin on the properties of a wafer-type particleboard. For. Prod. J., 22(12): 30-34, 1972.
15. HEEBINK, B. G.; LEHMANN, W. F. & HEFTY, F. V. Reducing particleboard pressing time: exploratory study. USDA For. Serv. Res. Pap. FPL-180, 1972. 13 p.
16. HUJANEN, D. R. Comparison of three methods for dimensionally stabilizing wafer-type particleboard. For. Prod. J., 23(6): 29-30, 1973.
17. JOHNSON, J. W. Effect of exposure cycles on stability of commercial particleboard. For. Prod. J., 14(7): 277-282, 1964.
18. KEINERT Jr., S. Laboratory evaluation of Eucalyptus grandis and Eucalyptus robusta for the manufacture of composition board. Michigan, 1980. 184 p. Dissertação. Doutorado. Michigan State University.
19. KELLY, M. W. Critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboard. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. FPL-10, 1977. 66 p.
20. LEHMANN, W. F. Properties of structural particleboards. For. Prod. J., 24(1): 19-26, 1974.

21. LEHMANN; GEIMER, R. L. & HEFTY, F. V. Factors affecting particleboard pressing time: interactions with catalyst systems. USDA For. Serv. Res. Pap. EPL-208, 1973. 20p.
22. LISBOA, C. D. J. & MATOS, J. L. M. Considerações sobre a amostragem e a determinação das propriedades físico-mecânicas de espécies de madeiras amazônicas. Curitiba, 1987. 86 p.
23. MALONEY, T. M. Modern particleboard and dry-process fiberboard manufacturing. San Francisco, Miller Freeman, 1977. 672 p.
24. MOSLEMI, A. A. Particleboard. Illinois, Southern Illinois University Press, 1974. v.2, 245 p.
25. PANNING, D. J. & GERTJEJANSEN, R. O. Balsam poplar as raw material for waferboard. For. Prod. J., 35(5): 48-54, 1985.
26. POST, P. W. Effect of particle geometry and resin content on bending strength of oak flake board. For. Prod. J., 11: 317-22, 1958.
27. RUIZ, J. A. Metodologia científica: guia para eficiência nos estudos. São Paulo, Atlas, 1982. 170 p.
28. SHEN, K. C. & CARROLL, M. N. Measurement of layer-strength distribution in particleboard. For. Prod. J. 20(6): 53-55, 1970.
29. SMITH, D. C. Waferboard press closing strategies. For. Prod. J., 32(3): 40-45, 1982.
30. SNEDECOR, G. W. & COCHRAN, W. G. Statistical methods. 6.ed. Iowa State University Press, 1967. 593 p.
31. STEEL, R. G. D. & TORRIE, J. Principles and procedures of statistics. New York, McGraw-Hill, 1960. 480 p.

32. STRICKLER, M. D. Effect of press cycle and moisture content on properties of Douglas-fir flakeboard. For. Prod. J., 9(7): 203-215, 1959.
33. SUCHSLAND, O. An analysis of the particleboard process. Q. Bull. Michigan Agr. Exp. Sta. Michigan State Univ., 42(2): 350-372, 1959.
34. ----, O. Behavior of a particleboard mat during the pressing cycle. For. Prod. J., 17(2): 51-57, 1967.
35. ----. Compression shear test for determination of internal bond strength in particleboard. For. Prod. J., 27(1): 32-36, 1977.
36. ----. & WOODSON, G. E. Effect of press cycle variables on density of medium-density fiberboard. In: EIGHTH WASHINGTON STATE UNIVERSITY SYMPOSIUM ON PARTICLEBOARD. Proceedings, Washington, Washington State University, 1974. p. 375-396.
37. U.S. FOREST PRODUCTS LABORATORY. Wood handbook. Washington, U.S. Department of Agriculture, 1955. 528p.
38. WINER, B. J. Statistical principles in experimental design. 2.ed. New York, McGraw-Hill, 1971. 907 p.