JOÃO VICENTE DE FIGUEIREDO LATORRACA

ESTUDO DA VIABILIDADE DO USO DA ESPÉCIE *Eucalyptus dunnii* (Maid) NA MANUFATURA DE PAINÉIS DE MADEIRA-CIMENTO

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Ciências Florestais. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Setsuo Iwakiri

CURITIBA
1996

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

P A R E C E R

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, reuniram-se para realizar a argüição da Dissertação de Mestrado, apresentada pelo candidato **JOÃO VICENTE DE FIGUEIREDO LATORRACA**, sob o título **"ESTUDO DA VIABILIDADE DO USO DA ESPÉCIE *Eucalyptus dunnii* (Maid) NA MANUFATURA DE PAINÉIS DE MADEIRA-CIMENTO"**, para obtenção do grau de Mestre em Ciências Florestais no 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 argüido o candidato são de parecer pela **"APROVAÇÃO"** da Dissertação, com média final:(9,0), correspondente ao conceito:(A).

Curitiba, 08 de fevereiro de 1996

Prof. Dr. Edvá Oliveira Brito
Primeiro Examinador
UFRRJ

Prof. Phd. Sidon Keinert Júnior
Segundo Examinador
UFPR

Prof. Dr. Setsuo Iwakiri
Orientador e Presidente da Banca
UFPR

Ao meu irmão e minhas irmãs,

amigos e parentes,

Ofereço.

Ao meu pai José Euzébio Latorraca (†, 29-06-73), pelo

seu exemplo, à minha mãe Maria da Conceição F.

Latorraca, pela sua dedicação e incentivo e à

minha esposa e filha Patricia Regina Sodré

Latorraca e Priscyla Sodré Latorraca,

pela compreensão e companheirismo,

Dedico.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela vida.

Ao Professor Dr. Setsuo Iwakiri que, na condição de orientador colaborou em todos os aspectos para a realização deste trabalho, sendo sempre seguro, demonstrando interesse e amizade na tarefa de orientação.

Aos professores Dr. Sidon Keinert Junior e M.Sc. Jorge Luis Monteiro de Matos, pela amizade, estímulo e especial colaboração prestada no comitê de orientação.

Ao professor M.Sc. Umberto Klock, pela colaboração no desenvolvimento dos estudos realizados no laboratório de química da madeira, bem como o auxílio técnico necessário para interpretação dos resultados.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, em especial ao Dr. José Carlos Duarte Pereira, pelo fornecimento da matéria-prima empregada para elaboração deste trabalho.

À Coordenação do Curso de Pós-Graduação, que sempre atendeu prontamente as indispensáveis solicitações, tornando possível um melhor andamento das atividades.

Aos funcionários do laboratório de painéis de madeira e da marcenaria, o reconhecimento de suas atividades, que foram de fundamental importância para a realização deste estudo.

Em especial à minha mãe Maria da Conceição F. Latorraca, a quem dedico especial gratidão.

Pela amizade, companhia, dedicação e paciência agradeço à minha esposa Patrícia Sodré Latorraca e à minha filha Priscyla S. Latorraca.

Ao amigo Edvá Oliveira Brito, pela colaboração e apoio necessário, principalmente em termos de infraestrutura domiciliar.

Ao amigo Versides Sebastião M. e Silva, como um grande incentivador.

Pelo privilégio da companhia dos amigos do curso, Elias T. Severo, Nabor Pio, Geraldo Bortoletto, Irauadi M. Mendes, Nésia Maria da Costa Moreno, Fernando C. Lucas, Cleverson de Melo Sant'anna, Jacob Nunes, José Augusto Picheth, Marcelo L. de Souza, Reginaldo Brito da Costa, Renato Maciel, Tokitika Morokawa, Alcir R. de Almeida, Amilcar José da Costa, e demais colegas e professores que prestaram a sua importante colaboração de maneira direta ou indireta.

BIOGRAFIA

JOÃO VICENTE DE FIGUEIREDO LATORRACA, filho de José E. Latorraca e de Maria da Conceição Figueiredo Latorraca, nasceu em Cuiabá, Estado de Mato Grosso, em 21 de janeiro de 1962.

Realizou os estudos de primeiro grau na Escola Modelo Barão de Melgaço e Colégio São Gonçalo, ambos em Cuiabá-MT. Iniciou o segundo grau também no Colégio São Gonçalo, sendo transferido para o Colégio Bardal em Curitiba-PR, concluindo-o em 1979.

Em março de 1981 ingressou no curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Mato Grosso, onde graduou-se em janeiro de 1985 com o título de Engenheiro Florestal.

Exerceu a função de Engenheiro Florestal no Laboratório de Tecnologia da Madeira - LTM do Instituto de Defesa Agropecuária do Estado de Mato Grosso - INDEA/MT, durante o período de abril/85 a outubro/95.

Em maio de 1993, ingressou no curso de Especialização em Manejo de Florestas Tropicais da Universidade Federal de Mato Grosso, concluindo-o em fevereiro de 1995.

Iniciou em março de 1994, na Universidade Federal do Paraná, o curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, nível de mestrado, na área de concentração Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....x

LISTA DE FIGURAS.....xii

RESUMO.....xvi

ABSTRACT.....xvii

1 INTRODUÇÃO.....1

1.1 OBJETIVOS.....3

2 REVISÃO DA LITERATURA.....4

2.1 CARACTERÍSTICAS DA ESPÉCIE *Eucalyptus dunnii* (Maid).....4

2.2 COMPONENTES ESSENCIAIS DOS PAINÉIS DE MADEIRA-CIMENTO.....6

2.2.1 Água.....6

2.2.2 Aglutinantes.....8

2.2.2.1 Cimento.....9

2.2.2.2 Gipsita e Magnesita.....11

2.2.3 Madeira e outros materiais lignocelulósicos.....12

2.3 CARACTERÍSTICAS DOS PAINÉIS DE MADEIRA-CIMENTO.....13

2.4 FATORES QUE AFETAM AS PROPRIEDADES DOS PAINÉIS DE CIMENTO-MADEIRA.....14

2.4.1 Propriedades químicas da madeira.....14

2.4.2 Densidade.....16

2.4.3 Geometria das partículas.....17

2.4.4 Conteúdo de umidade das partículas.....18

2.4.5 Proporção madeira:cimento.....18

2.5 TRATAMENTO DA MADEIRA.....20
2.5.1 Tratamento biológico.....20
2.5.2 Tratamento com água quente.....21
2.5.3 Tratamentos químicos.....22
2.6 FASES DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE PAINÉIS DE MADEIRA-CIMENTO.....27
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....32
3.1 MATÉRIA PRIMA.....32
3.2 DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DA MADEIRA.....33
3.3 ANÁLISES QUÍMICAS DA MADEIRA.....33
3.4 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....36
3.5 FASES DA MANUFATURA DOS PAINÉIS.....38
3.5.1 Obtenção e Preparação das Partículas.....38
3.5.2 Metodologia para Cálculo dos Componentes do Painel.....39
3.5.3 Formação do Colchão.....40
3.5.4 Prensagem das chapas.....42
3.5.5 Acondicionamento.....43
3.6 AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DOS PAINÉIS.....43
3.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....45
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....46
4.1 MASSA ESPECÍFICA DA MADEIRA.....46
4.2 ANÁLISES QUÍMICAS DA MADEIRA.....46
4.3 PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS PAINÉIS.....49
4.3.1 Módulo de elasticidade (MOE).....49
4.3.2 Módulo de ruptura (MOR).....53
4.3.3 Compressão paralela (CP).....57

4.3.4 Ligação interna (LI).....61

4.4 ESTABILIDADE DIMENSIONAL.....63

4.4.1 Inchamento em espessura (IE).....63

4.4.2 Absorção de água (AA).....69

4.5 SUMARIZAÇÃO DOS RESULTADOS.....75

5 CONCLUSÕES.....78

RECOMENDAÇÕES.....81

ANEXO.....83

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....92

LISTA DE TABELAS

1 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA DE ESPÉCIES DE EUCALIPTOS DO BRASIL.....5
2 COMPOSIÇÃO DO CIMENTO PORTLAND TIPO 1.....10
3 MÉDIAS DOS VALORES DE TEMPO E TEMPERATURA DA HIDRATAÇÃO DO CIMENTO PARA MISTURAS DE PINUS/LARCH-CIMENTO TRATADAS E NÃO TRATADAS.....22
4 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....37
5 RESULTADOS DAS ANÁLISES QUÍMICAS DA MADEIRA.....47
6 VALORES MÉDIOS DE MÓDULO DE ELASTICIDADE (MOE).....50
7 VALORES MÉDIOS DE MÓDULO DE RUPTURA (MOR).....54
8 VALORES MÉDIOS DE COMPRESSÃO PARALELA (CP).....58
9 VALORES MÉDIOS DE LIGAÇÃO INTERNA (LI).....62
10 VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA (IE).....64
11 VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA (AA).....70
12 SUMARIZAÇÃO DOS RESULTADOS.....76
13 ANÁLISE FATORIAL DE COVARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL MÓDULO DE ELASTICIDADE (MOE).....84
14 ANÁLISE FATORIAL DE COVARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL MÓDULO DE RUPTURA (MOR).....85
15 ANÁLISE FATORIAL DE COVARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL COMPRESSÃO PARALELA.....86
16 ANÁLISE FATORIAL DE COVARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL LIGAÇÃO INTERNA.....87

17 ANÁLISE FATORIAL DE COVARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 2 hs.....88
18 ANÁLISE FATORIAL DE COVARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 24 hs.....89
19 ANÁLISE FATORIAL DE COVARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL ABSORÇÃO DE ÁGUA APÓS 2 hs.....90
20 ANÁLISE FATORIAL DE COVARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL ABSORÇÃO DE ÁGUA APÓS 24 hs.....91

LISTA DE FIGURAS

1 EFEITO DO $CaCl_2$ E NaOH SOBRE A HIDRATAÇÃO DO CIMENTO (PINUS).....25

2 EFEITO DO $CaCl_2$ E NaOH SOBRE A HIDRATAÇÃO DO CIMENTO (LARCH).....25

3 EFEITO DOS ADITIVOS QUÍMICOS $CaCl_2$ E NaOH, SOBRE A MADEIRA DE PINUS E LARCH.....26

4 FLUXOGRAMA DE PRODUÇÃO DE CHAPAS DE MADEIRA:CIMENTO PELO PROCESSO BISON.....28

5 MISTURA DOS COMPONENTES DOS PAINÉIS EM BETONEIRA.....41

6 DETALHE DO GRAMPEAMENTO DURANTE A PRENSAGEM DOS PAINÉIS...42

7 ESQUEMA DE AMOSTRAGEM DOS CORPOS DE PROVA NOS PAINÉIS PARA AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES.....44

8 TENDÊNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE MOE PARA OS FATORES PRINCIPAIS.....52

9 TENDÊNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE MOE PARA INTERAÇÃO ENTRE TRATAMENTO DE PARTÍCULAS E TAXA DE MADEIRA:CIMENTO.....53

10 TENDÊNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE MOE PARA INTERAÇÃO ENTRE TRATAMENTO DE PARTÍCULAS E ADITIVO QUÍMICO.....53

11 TENDÊNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE MOR PARA OS FATORES PRINCIPAIS.....56

12 TENDÊNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE MOR PARA INTERAÇÃO ENTRE TRATAMENTO DE PARTÍCULAS E TAXA DE MADEIRA:CIMENTO.....56

13 TENDÊNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE MOR PARA INTERAÇÃO ENTRE TRATAMENTO DE PARTÍCULAS E ADITIVO QUÍMICO.....57
14 TENDÊNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE MOR PARA INTERAÇÃO ENTRE TAXA DE MADEIRA:CIMENTO E ADITIVO QUÍMICO.....57
15 TENDÊNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE COMPRESSÃO PARALELA PARA OS FATORES PRINCIPAIS.....59
16 TENDÊNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE COMPRESSÃO PARALELA PARA INTERAÇÃO ENTRE TRATAMENTO DE PARTÍCULAS E TAXA DE MADEIRA: CIMENTO.....60
17 TENDÊNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE COMPRESSÃO PARALELA PARA INTERAÇÃO ENTRE TRATAMENTO DE PARTÍCULAS E ADITIVO QUÍMICO.....60
18 TENDÊNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE LIGAÇÃO INTERNA PARA OS FATORES PRINCIPAIS.....63
19 TENDÊNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE LIGAÇÃO INTERNA PARA INTERAÇÃO ENTRE TRATAMENTO DE PARTÍCULAS E ADITIVO QUÍMICO.....63
20 TENDÊNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA (2hs) PARA OS FATORES PRINCIPAIS.....66
21 TENDÊNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA (24hs) PARA OS FATORES PRINCIPAIS.....66
22 TENDÊNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA (2hs) PARA INTERAÇÃO ENTRE TRATAMENTO DE PARTÍCULAS E TAXA DE MADEIRA:CIMENTO.....67

23 TENDÊNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA (24hs) PARA INTERAÇÃO ENTRE TRATAMENTO DE PARTÍCULAS E TAXA DE MADEIRA:CIMENTO.....67
24 TENDÊNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA (2hs) PARA INTERAÇÃO ENTRE TRATAMENTO DE PARTÍCULAS E ADITIVO QUÍMICO.....68
25 TENDÊNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA (24hs) PARA INTERAÇÃO ENTRE TRATAMENTO DE PARTÍCULAS E ADITIVO QUÍMICO.....68
26 TENDÊNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA (24hs) PARA INTERAÇÃO ENTRE TAXA DE MADEIRA:CIMENTO E ADITIVO QUÍMICO.....69
27 TENDÊNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA (24hs) PARA INTERAÇÃO ENTRE TRATAMENTO DE PARTÍCULAS, TAXA DE MADEIRA:CIMENTO E ADITIVO QUÍMICO.....69
28 TENDÊNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA (2hs) PARA OS FATORES PRINCIPAIS.....72
29 TENDÊNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA (24hs) PARA OS FATORES PRINCIPAIS.....72
30 TENDÊNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA (2hs) PARA INTERAÇÃO ENTRE TRATAMENTO DE PARTÍCULAS E TAXA DE MADEIRA:CIMENTO.....73
31 TENDÊNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA (24hs) PARA INTERAÇÃO ENTRE TRATAMENTO DE PARTÍCULAS E TAXA DE MADEIRA:CIMENTO.....73

32 TENDÊNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA (2hs) PARA INTERAÇÃO ENTRE TRATAMENTO DE PARTÍCULAS E ADITIVO QUÍMICO.....74
33 TENDÊNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA (24hs) PARA INTERAÇÃO ENTRE TRATAMENTO DE PARTÍCULAS E ADITIVO QUÍMICO.....74
34 TENDÊNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA (2hs) PARA INTERAÇÃO ENTRE TAXA DE MADEIRA:CIMENTO E ADITIVO QUÍMICO.....74
35 TENDÊNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA (2hs) PARA INTERAÇÃO ENTRE TRATAMENTO DE PARTÍCULAS, TAXA DE MADEIRA:CIMENTO E ADITIVO QUÍMICO.....75
36 TENDÊNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA (24hs) PARA INTERAÇÃO ENTRE TRATAMENTO DE PARTÍCULAS, TAXA DE MADEIRA:CIMENTO E ADITIVO QUÍMICO.....75

RESUMO

Este trabalho teve por objetivo estudar a viabilidade da produção de chapas minerais, utilizando partículas tipo "flake" da espécie *Eucalyptus dunnii* (Maid) extraídas de um total de cinco árvores oriundas de um povoamento localizado no município de Colombo/PR, bem como, avaliar a eficiência de tratamentos de partículas, a influência da variação da taxa de madeira:cimento, e a utilização de aditivos químicos. O cimento utilizado foi tipo Portland comumente encontrado no comércio varejista. Foram analisados os efeitos de três tipos de tratamentos de partículas (partículas sem tratamento, tratadas com água quente por 1h à 80^0C e tratadas com NaOH à 1% por 24 hs), duas taxas de madeira cimento (1:2,5 e 1:3,0) e dois aditivos químicos ($CaCl_2$ e $MgCl_2$) sobre as propriedades físicas e mecânicas dos painéis. Para todos os tipos de tratamento de partículas foram realizadas análises químicas em amostras com o propósito de se verificar a sua eficiência. A interação entre esses fatores geraram 12 tratamentos, onde para cada um deles, foram confeccionadas cinco chapas (repetições), perfazendo um total de 60 painéis. As propriedades físicas e mecânicas estudadas foram a flexão estática (MOE e MOR), compressão paralela, ligação interna e estabilidade dimensional (inchamento em espessura e absorção de água após 2 e 24 hs de imersão em água). Os resultados foram analisados estatisticamente através da análise fatorial de covariância. Os resultados das análises químicas demostraram que os tratamentos de partículas não atingiram seu objetivo principal, que era reduzir a porcentagem de extrativos da madeira. Dentre os três fatores analisados, o tratamento de partículas foi o que causou um efeito mais pronunciado sobre as propriedades dos painéis, contribuindo negativamente nos resultados. O aumento da taxa de madeira:cimento não implicou em melhores valores médios para as propriedades mecânicas, com exceção da ligação interna. O aditivo químico que melhor desempenho apresentou no geral foi o $MgCl_2$. As interações entre os fatores influenciaram distintamente nas propriedades mecânicas, porém identicamente nas propriedades dimensionais. Para o MOR a interação que maior influência causou, foi a combinação entre taxa de madeira:cimento e aditivo químico. A ligação interna e o MOE foram mais influenciados pela combinação entre os fatores tratamento de partículas e aditivo químico, enquanto que a compressão paralela sofreu maior influência da interação entre tratamento de partículas e taxa de madeira:cimento. Todas as propriedades físicas foram mais influenciadas pela interação entre tratamento de partículas e taxa de madeira:cimento.

ABSTRACT

The main objective of this dissertation is to assess the technical feasibility of the production of mineral boards, through the utilization of *Eucalyptus dunnii* flake particles of five (5) trees from a plantation located in The Municipal District of Colombo, State of Parana, as well as to value the particles treatments efficiency, the influence of the wood:cement ratio variation and the use of chemical additive. Used cement was commercialy available Portland type. Three particles treatments were analized: (1) particles without treatment; (2) particles treated with hot water for 1 hour at 80 °C; and (3) particles treated with NaOH 1% for 24 hours; with two wood:cement ratios (1:2.5 and 1:3.0) and two chemical additives ($CaCl_2$ and $MgCl_2$) effects over physical and mechanical properties of pannels. Chemical analysis of samples of all treatments were performed to verify their efficiency. Twelve treatments were generated from the interaction of above mentioned variables, in five panel repetitions which produced a total of sixty (60) panels. The assessed physical and mechanical properties were: (1) static bending (ME and MR); (2) parallel compression; (3) internal bonding; and (4) dimensional stability (water absorption and thickness swelling after immersion in water). The results were statistically analyzed through factorial analysis of covariance. According to the results of chemical analysis the treatments did not attained their major objectives, which were to reduce the amount of wood extractives. Among the three analyzed factors, particles treatments caused a more pronounced effect on the panels properties, with negative contribution in the results. The increment of the wood:cement rate did not showed higher average values for the mechanical properties, except in internal bonding. In general, $MgCl_2$ was the chemical additive with better performance. The factors interactions showed different influence on the mechanical properties, but analogous influence on the dimensional properties. The combination between wood:cement ratio and chemical additive showed greater influence on MR (Rupture Modulus) and internal bonding . The combinations between particles treatments and chemical additive, particles treatments and wood:cement ratio, showed respectively major influence on ME (Elasticity Modulus) and parallel compression. Particles treatments and wood:cement ratio interaction affected physical properties in greater degree.

1 INTRODUÇÃO

O primeiro produto composto de madeira e cimento apareceu no mercado com a denominação de "Heraklith" no ano de 1914, e veio a ser muito popular na Alemanha. Ainda no mesmo ano na Áustria, surgiu a primeira chapa de partículas excelsior feita com magnesita em escala industrial.

A utilização do cimento comum como aglutinante em chapas minerais, iniciou-se em 1928, mas seu crescimento só ocorreu após a II Guerra Mundial. A produção em larga escala de chapas de madeira-cimento, surgiu em 1976 na Alemanha e atualmente estes painéis são bastante utilizados além da Alemanha, no Japão e na Suíça.

As razões para sua boa aceitação se deve, entre outros fatores, às propriedades apresentadas, tais como: resistência ao ataque de fungos e cupins, bom isolante termo-acústico, virtualmente incombustível e de fácil trabalhabilidade.

O uso de resinas sintéticas, como a fenol-formaldeído, tem seu uso limitado devido principalmente a sua durabilidade e a uma alta combustibilidade, além do que, são produtos derivados do petróleo, o que contribuem para a elevação dos custos.

Estes fatores contribuem para que a utilização dos painéis de madeira-cimento, ganhem uma posição de destaque entre os produtos florestais. Porém algumas limitações, como a incompatibilidade de várias espécies podem, de certa forma, restringir o emprego desses painéis. Isto ocorre devido a presença de algumas substâncias químicas da madeira (extrativos, açúcares, carbohidratos, etc.), que retardam a cura ou hidratação do cimento, prejudicando as propriedades finais da chapa.

Apesar desta adversidade, várias pesquisas, ainda poucas realizadas no Brasil, têm mostrado que tratamentos adequados são capazes de tornar essas espécies aceitáveis,

minimizando assim seus efeitos inibidores. Estes tratamentos tem sido empregados com sucesso, mesmo em espécies consideradas aptas, melhorando significativamente a qualidade do produto acabado.

Os tratamentos incluem basicamente a extração das substâncias químicas inibidoras, através da imersão das partículas em água fria ou quente, e adição de produtos químicos, que neutralizarão os efeitos dessas substâncias. O conhecimento e a aplicação desses tratamentos, implicam em aumentar a quantidade do número das espécies que podem ser utilizadas em combinação com o cimento, para produção de chapas minerais.

A produção de painéis de madeira-cimento no Brasil, ainda inexiste em escala industrial, apesar de ser um produto já consolidado em diversos países. Estes painéis comparados a outros tipos de chapas, como compensados e sarrafeados, apresentam menores exigências em relação à matéria-prima (madeira), quanto a sua forma, dimensões, defeitos naturais, etc. O seu processo de produção é caracterizado principalmente por um baixo consumo de energia, devido ao fato de que suas partículas não necessitam de uma secagem, e o sistema de prensagem utilizado é a frio (processo exotérmico). O emprego dessas chapas são promissoras, considerando a possibilidade e a necessidade de melhor utilização dos resíduos gerados tanto na exploração florestal, bem como no processamento industrial, onde estes ainda são altamente desprezados. Esta prática, resultaria por aumentar o valor agregado da madeira, minimizaria os depósitos de resíduos, e criaria a possibilidade de instalação de novas empresas gerando receitas e novos empregos.

As linhas de produção industrial dos painéis de madeira-cimento podem ser adequadas às necessidades da qual um determinado produto possa exigir, podendo-se implementar sistemas de módulos pré-fabricados. Desta maneira, processos de construções simples podem ser desenvolvidos, resultando em maior produtividade da construção, podendo viabilizar a

implementação de projetos de interesse social na construção de escolas, postos de saúde, casas populares, construções rurais.

1.1 OBJETIVOS

O principal objetivo deste estudo, foi avaliar o potencial de utilização da espécie *Eucalyptus dunnii* (Maid) para a produção de chapas minerais a partir do uso de cimento tipo "Portland".

Objetivos específicos:

1. Desenvolver metodologia para manufatura de painéis de madeira-cimento;

2. Avaliar através das propriedades físico-mecânicas a eficiência de tratamento de partículas para neutralizar o efeito inibidor dos componentes químicos da madeira sobre a cura do cimento;

3. Avaliar através das propriedades físico-mecânicas a eficiência de aditivos químicos aceleradores da cura do cimento;

4. Avaliar a influência da variação da taxa de madeira:cimento sobre as propriedades físico-mecânicas.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 CARACTERÍSTICAS DA ESPÉCIE *Eucalyptus dunnii* (Maid)

De acordo com os dados da ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A AGRICULTURA E ALIMENTAÇÃO (1981, doravante citado como FAO), o ***Eucalyptus dunnii*** é uma espécie nativa da Austrália, de presença restrita em ótimos sítios em bosques fechados no nordeste de Nova Gales do Sul, Sudeste de Queensland e Oeste de McPherson. É encontrado especialmente nas partes mais baixas das colinas e fundo dos vales, porém também cresce sobre solos basalticos próximo ào limite de bosque pluvial.

As altitudes onde se encontra variam de 150 - 800 metros, tendo uma precipitação no verão em torno de 1000 - 1500 mm. As temperaturas nos meses mais quentes estão entre 27 - 29°C, e nos meses mais frio 8°C (FAO, 1981).

O *Eucalyptus dunnii* pode alcançar na sua região de ocorrência natural, segundo dados da FAO (1981, p. 434), cerca de 40 - 50 metros de altura, possuindo fustes compridos e retos com a copa bem ramificada, sendo que, conforme HILLIS & BROWN (1978), citados por PEREYRA (1994, p. 08), este fuste pode chegar até 33 metros de comprimento com diâmetros não raramente ultrapassando 1,0 metro. Ainda de acordo com informações da FAO (1981, p. 434), suas folhas quando novas são alternas, pecioladas, ovaladas e largas. Enquanto que adultas, são alternas, pecioladas, lanceoladas, com tendência a ondular-se. Sua madeira possui uma cor esbranquiçada, grã áspera, suscetível a rachaduras, dura e pouco resistente ao ataque de organismos xilófagos. Na tabela 1, são apresentadas suas características químicas comparadas a outras espécies de eucalipto.

O *Eucalyptus dunnii* tem vantagem sobre muitas outras espécies de eucaliptos, por possuir maior resistência ao frio. Portanto é considerada substituta de outras espécies em regiões onde as geadas ocorrem freqüentemente, como é o caso do sul do Brasil (GOLFARI, 1978 apud PEREYRA, 1994, p. 08).

TABELA 1 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA DE ESPÉCIES DE EUCALIPTOS DO BRASIL.

ESPÉCIE	IDADE	SOLÚVEL EM		TEOR DE			
		ÁGUA QUENTE (%)	ÁLCOOL-BENZENO (%)	CELULOSE (%)	LIGNINA (%)	PENTOSANAS (%)	CINZAS (%)
Eucalyptus saligna	4	3,2	2,0	47,8	26,4	18,2	0,,3
	5	1,6	1,0	50,8	24,3	18,9	0,4
	5	3,0	4,0	54,9	26,4	16,5	0,2
	5	4,2	3,2	50,2	23,0	17,8	0,3
	5	5,0	2,4	54,1	26,3	17,8	-
	7	4,7	3,6	54,6	25,8	16,7	0,2
	8	2,8	1,6	49,5	24,5	16,2	0,4
	8	4,7	1,6	61,5	18,7	18,8	0,3
	10	5,2	2,2	47,5	24,4	16,9	0,2
	15	3,2	1,7	49,5	25,6	16,5	0,3
	13	7,4	1,7	57,4	21,6	16,9	0,2
	20	4,6	2,1	45,8	27,8	16,8	0,,3
Eucalyptus grandis	5	1,2	1,8	56,4	27,0	-	0,4
	7	3,2	2,6	55,0	26,2	17,3	-
Eucalyptus paniculata	6	4,3	0,9	62,9	17,8	25,0	0,4
	10	5,5	1,3	58,4	26,5	19,6	0,6
Eucalyptus citriodora	7	4,1	2,9	61,4	15,3	23,5	0,2
	13	4,5	2,7	56,7	17,8	18,1	0,3
Eucalyptus urophylla	3	1,9	1,4	52,7	23,6	18,9	-
Eucalyptus dunnii	5	1,8	1,6	56,3	22,6	-	0,5
Eucalyptus muculata	7	4,6	2,1	58,8	17,5	24,7	0,5
Eucalyptus tereticornis	7	5,0	0,6	60,2	22,8	19,2	0,3
Eucalyptus deanei	7	1,6	1,4	53,8	26,8	-	0,4
Eucalyptus viminalis	11	3,8	1,6	56,3	22,6	-	0,5

Fonte: INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT, 1981.

A introdução do *Eucalyptus dunnii* no Brasil é recente, e vêm apresentando excelentes resultados em crescimento em altura e volume. No estado atual promete rendimentos em volume superiores ao *Eucalyptus grandis*. Em geadas no Brasil que causaram danos às plantações de café e algumas plantações de eucaliptos, o *Eucalyptus dunnii* não foi afetado (FAO, 1981, p. 435).

A distribuição do *Eucalyptus dunnii* no Brasil de acordo com GOLFARI (1978), citado por PEREYRA (1994, p. 09), compreende a região sul do Brasil, Lençóis Paulistas e Rio Claro no estado de São Paulo, no triângulo Mineiro, próximo de Uberaba e na Serra do Espinhaço, perto de Itabira ambas no Estado de Minas Gerais.

2.2 COMPONENTES ESSENCIAIS DOS PAINÉIS DE MADEIRA-CIMENTO

2.2.1 Água

A água é necessária para que ocorram as reações químicas do aglutinante, para os aditivos se dissolverem, e também para permitir a mistura do cimento que irá revestir as partículas de madeira uniformemente, segundo SCHMITZ (1959), citado por SIMATUPANG **et al.** (1978, p. 16). Ainda de acordo com SCHMITZ, a água necessária acima da quantidade teórica requerida para que ocorram as reações químicas do aglutinante, tem sido adicionada, e durante a cura, parte do excesso dessa água é evaporada deixando microporos. Como a resistência dos painéis é muito influenciada pela presença de todos os tipos de poros, a quantidade de água a ser adicionada deve ser mantida em níveis mínimos. Assim como ocorre

com o concreto, a propriedade de resistência dos painéis de cimento-excelsior varia com a quantidade de água adicionada.

KEIL (1971), citado por SIMATUPANG **et al.** (1978, p. 16), descreve que são necessários 25% de água sobre o peso do cimento para que o processo de hidratação ocorra. Concreto com uma proporção de água em relação ao cimento de 0,4-0,5, mostram as melhores propriedades. NAMIOKA **et al.** (1977), também citado por SIMATUPANG **et al.** (1978, p. 16), descreve que a proporção ótima de água:cimento, decresce com o aumento da densidade da chapa e aumenta um pouco quando se diminui as dimensões das partículas de madeira. De forma geral, SIMATUPANG **et al.** (1978, p. 16-17), relatam num trabalho realizado por SIMATUPANG e e SCHWARZ no ano de 1977, que para obtenção de chapas de alta densidade é tomada uma proporção de água em relação ao cimento de 0,4, no caso da espécie Spruce (massa específica de 0,43 g/cm^3). No caso de outras madeiras, a proporção água:cimento é inversamente proporcional à massa específica. É necessário, adicionar-se água até o ponto de saturação das fibras (P.S.F.), pois considera-se que abaixo do P.S.F., a água não está disponível ao cimento como um líquido. A água a ser adicionada deve ser livre de componentes inibidores da cura do cimento, como normalmente é conhecido na química do concreto.

SORFA & BONGERS (1982), estabelecem uma fórmula para se determinar o conteúdo ideal de água numa mistura, como segue:

$$Água\ (partes) = 1 + 0{,}5\frac{cimento}{madeira}$$

O conteúdo de água na mistura de compostos de cimento-madeira, é provavelmente o fator mais importante. O conteúdo exato de água na maioria das vezes, tem causado um efeito mais pronunciado sobre a densidade dos painéis e consequentemente sobre sua resistência, podendo também, para um determinado grau, produzir efeito sobre a contração (SORFA & BONGERS 1983, p. 9).

LEE (1984, p. 31-32) estudando as propriedades de painéis feitos com cimento-partículas excelsior de pinus, obteve bons resultados na estabilidade dimensional, utilizando 32-36% de água em relação ao peso do painél.

2.2.2 Aglutinantes

Os aglutinantes utilizados na manufatura dos painéis são o cimento Portland, Magnesita e Gipsita.

Originalmente na Alemanha, somente a magnesita era usada como aglutinante em chapas minerais. Desde suas primeiras aplicações em 1928, na produção de chapas de palha de madeira (excelsior), o cimento Portland teve sua utilização incrementada. Segundo MALONEY (1977, p. 121), antes da II guerra mundial, 39% do total da produção alemã deste tipo de chapa era manufaturado com cimento Portland, 35% com Magnesita e 26% com Gipsita. Especialmente após 1948, a preponderância do cimento Portland aumentou.

2.2.2.1 Cimento

Os cimentos que têm sido mais usados na manufatura de chapas minerais incluem o oxisulfato de magnésio, oxicloreto de magnésio e cimento Portland.

A fabricação do cimento Portland requer a incorporação de matérias-primas para formar a mistura, que é calcinada num alto forno chamado de clínquer, constituído essencialmente de silicatos de cálcio hidratados. A moagem do produto num pó muito fino, deve passar em peneiras com 40.000 aberturas por polegada quadrada. Gipsita, ou gesso, pode ser adicionada para controle do tempo de cura, bem como outras substâncias em pequenas proporções.

De acordo com LARSON, citado por MUSOKOTWANE (1982, p. 17), os cimentos Portland mais empregados, são compostos principalmente de três óxidos: sílica (SiO_2), cal (CaO) e alumínio (Al_2O_3). Eles contêm também pequenas quantidades de óxido de magnésio (MgO), trióxido de enxofre (SO_3) e óxido férrico (Fe_2O_3). Estes óxidos ocorrem em várias combinações na formação do cimento.

Não existe, segundo BRUNAUER & COPELAND (s.d., p. 82), uma maneira para representar o cimento Portland através de uma fórmula. A composição mais comum é apresentada na tabela 2. Diferentes cimentos Portland, contêm os compostos em diferentes proporções. A quantidade relativa para o composto, depende da seleção e proporção da matéria prima. Por exemplo, se o produto não contém ferro, o cimento será um "cimento branco", isto porque, o cimento Portland é cinza devido a presença de ferro.

SIMATUPANG **et al.** (1978, p. 14), recomendam o uso de cimento Portland com alto teor de silicato tricálcio (3 $Ca.SiO_2$), quando se estiver trabalhando com espécies de madeiras

menos inibidoras da cura, e silicato dicálcio (2 $CaO.SiO_2$) para as espécies mais inibidoras da cura.

Segundo KAMIL, citado por MUSOKOTWANE (1982, p. 17), o cimento solidifica-se por um processo de hidratação, o qual é exotérmico por natureza. As etapas do processo incluem a gelatinização e a cristalização. Ambos, o gel e o cristal, são proximamente arranjados, fechando os espaços vazios entre as partículas o que resulta em produtos de alta dureza. A hidratação do cimento depende mais da superfície exposta para ação da água, do que da sua própria constituição.

TABELA 2 - COMPOSIÇÃO DO CIMENTO PORTLAND TIPO 1.

NOME	COMPOSIÇÃO	FÓRMULA REDUZIDA	QUANTIDADE (%)
Silicato Tricálcio	$3CaO.SiO_2$	C_3S	50
Silicato Dicálcio	$2CaO.SiO_2$	C_2S	25
Tricálcio Alumina	$3CaO.Al_2O_3$	C_3A	12
Tetracálcio Aluminoférrico	$4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$	C_4AF	8
Sulfato de Cálcio Dihidratado	$Ca(SO_4)_2.2H_2O$	CSH_2	3.5

Fonte: SOUZA, 1992.

LARSON, citado por MUSOKOTWANE (1982, p. 18), relata que o cimento libera grandes quantidades de calor (cerca de 100 calorias por grama de cimento), sendo que para evitar danos devido ao calor excessivo, a composição do cimento é usualmente alterada de tal forma que os constituintes produtores de calor estejam presentes em menor teor, resultando em 60 a 70 calorias por grama de cimento. O contrário seria desejado na produção de chapas madeira-cimento, onde a cura rápida ou rápida consolidação é desejável. Por esta razão, cimentos que liberam grandes quantidades de calor são preferidos.

A temperatura atingida durante a hidratação, tem sido usada por alguns autores (SINGH 1975/1976 e MOSLEMI 1983/1984), para medir a compatibilidade das espécies de madeira na manufatura dos painéis. A taxa com a qual a madeira consegue diminuir a capacidade do cimento Portland de liberar calor, pode ser usada como índice para designar se uma espécie é ou não adequada para ser usada na manufatura das chapas.

2.2.2.2 Gipsita e Magnesita

Gipsita tem sido usada na manufatura de chapas compostas de miolo de gesso e faces de papel kraft, que são amplamente usadas em ambientes internos. Fibras de celulose de papel reciclado, tem sido usadas como matéria prima na composição de chapas fibro-gesso. A Gipsita ($CaSO_4$) com meia molécula de água ($CaSO_4$ $1/2H_2O$), também conhecida como "Plaster of Paris", é também usada como aglutinante. O aumento do uso do gesso como aglutinante em composição com a madeira, dependerá entre outras coisas, do desenvolvimento de um método eficiente para aumentar sua resistência à umidade (SIMATUPANG **et al.** 1978, p. 14).

A Magnesita, chamada muitas vezes, após sua invenção, de cimento Sorell, segundo KOLLMANN (1954), citado por SIMATUPANG **et al.** (1978, p. 14), têm sido usada principalmente como aglutinante para a manufatura de chapas chamadas de HERAKLITH, que são chapas com partículas excelsior com oxisulfato de magnésio. Em alguns casos a dolomita calcinada pode substituir com sucesso o óxido de magnésio. Como o mineral dolomita é encontrado com grande facilidade, apresenta bom potencial de uso, segundo KEIL (1971), citado por SIMATUPANG **et al.** (1978, p. 14).

2.2.3 Madeira e outros materiais lignocelulósicos

Em geral a maioria dos produtos celulósicos quando reduzidos a tamanhos adequados, podem, teoricamente, serem usados como agregados em composição com o cimento, desde que não contenham extrativos que irão inibir a sua cura. Esta exigência e o suprimento descontínuo da matéria-prima, eliminam um largo número de materiais. Por este último motivo, pelo tamanho inadequado das partículas, e pela grande quantidade de cimento requerida, é que os resíduos da agricultura não tem sido usados para este fim (CHITTENDEN **et al.** 1975, p. 05). O sucesso do uso de palha de cereal é abaixo do esperado. Apesar de ter uma grande semelhança com partículas de madeira tipo excelsior, mais do que qualquer outro resíduo agrícola, os testes tem mostrado que este material é inadequado, de acordo com dados do TROPICAL PRODUCTS INSTITUTE (1970), citado por CHITTENDEN **et al.** (1975, p. 05). Estes últimos autores reportam ainda que, de acordo com SANDERMANN (1970), isto ocorre porque a camada superficial de cera da palha inibe a adesão do cimento.

Sob um determinado ponto de vista, o composto cimento-madeira é um concreto de peso leve, no qual se têm a madeira como um agregado. O agregado adequado depende das propriedades físicas e mecânicas do material. As propriedades importantes são: peso específico, conteúdo de umidade, usinabilidade e conteúdo de sílica. A massa específica da madeira deve estar aproximadamente entre 0,30 e 0,80 (g/cm^3), porque, se a madeira é exageradamente leve, as partículas não terão boa resistência. Por outro lado, se elas forem demasiadamente pesadas, as chapas terão uma baixa taxa de compactação e consequentemente, baixa resistência mecânica. Como regra, as espécies que têm sido usadas com sucesso para a produção de compensados e chapas de partículas, possuem propriedades

fisicas adequadas para a manufatura de compostos de cimento-madeira (SIMATUPANG **et al.**, 1978, p. 09).

2.3 CARACTERÍSTICAS DOS PAINÉIS DE MADEIRA-CIMENTO

Vários trabalhos tem relatado que painéis de cimento-madeira oferecem muitas características vantajosas que justificam o seu uso. Dentre elas apresentam-se: resistência ao fogo e ao ataque de fungos e insetos; isolante térmico e acústico e estabilidade dimensional (CHITTENDEN **et al.** 1975, MALONEY 1977, SORFA & BONGERS 1983, LEE 1984).

Quando comparado com aglomerado convencional, os painéis de madeira-cimento, segundo CHITTENDEN **et al.** (1975, p. 10), apresentam as seguintes propriedades:

1. a densidade é maior;
2. resistência a compressão é mais alta;
3. módulo de elasticidade, módulo de ruptura e resistência a tração são menores;
4. inchamento em espessura é menor.

Uma das maiores desvantagens dos compostos de cimento-madeira em relação a blocos de concreto (SORFA & BONGERS 1982, p. 07), é a sua estabilidade dimensional, que é menor devido as mudanças no conteúdo de umidade. Porém, deve ser lembrado que o concreto é um produto muito rígido, e que movimentos dimensionais indicam uma debilidade que pode resultar no desenvolvimento de rachaduras. Os compostos de cimento-madeira são consideravelmente mais elásticos e suas variações dimensionais não causam nenhum dano na sua estrutura. LEE (1984), estudando as propriedades fisicas e mecânicas de chapas de

cimento-madeira, concluiu que estas são muito estáveis dimensionalmente, e que isto ocorre devido a dois fatores: primeiro, que estes painéis possuem muitos espaços vazios que permitem uma expansão interna, e segundo, que a camada de cimento que envolve as partículas retem a expansão da madeira.

2.4 FATORES QUE AFETAM AS PROPRIEDADES DOS PAINÉIS DE MADEIRA-CIMENTO

2.4.1 Propriedades químicas da madeira

Segundo MARRA (1992, p. 146), quimicamente a madeira pode ser dividida em dois grandes componentes, são eles: holocelulose e lignina. Outros dois menores, chamados de extrativos e cinzas são também considerados. A organização e quantidade desses componentes apresentam-se diferenciados na madeira. A celulose que é constituida por três elementos, carbono, hidrogênio e oxigênio, contribui com a maior parte, representando cerca de 60 - 75% do total dos componentes, e, está organizada dentro de cadeias de açucares que facilitam o transporte no sistema vascular da árvore.

A lignina que também apresenta a mesma composição da celulose, representa cerca de 20 - 30%, porém seus três elementos estão organizados primeiro em moléculas de benzeno. Os extrativos, aproximadamente 1 - 10%, compreendem um grupo misto de polímeros complexos, que se encontram impregnados nas paredes e no lúme das células, e por fim, as cinzas que representam os minerais extraidos do solo, aparecem com menos de 1%.

Vários estudos têm mostrado que a capacidade de cura do cimento na presença da madeira é determinada pela composição química dessa madeira. De acordo com SANDEMANN & SHMITZ (1966), citados por SIMATUPANG **et al.** (1978, p. 11), os extrativos da madeira são os principais responsáveis pela inibição da cura do cimento. Seus princípios ativos são os compostos fenólicos e os carbohidratos livres.

Ainda segundo SIMATUPANG **et al.** (1978, p. 11), espécies de folhosas tropicais apresentam influência negativa mais pronunciada na cura do cimento, embora o conteúdo de lignina dessas madeiras seja próxima de algumas coníferas. Os estudos de determinação da concentração máxima desses compostos inibidores, mostram, que por exemplo no caso dos açucares, seu efeito é influenciado pela concentração baseada no peso do cimento. Uma concentração abaixo de 0,1% de glicose, melhora as propriedades da chapa, e uma concentração de 0,125% de amido, produz um alto efeito inibidor, comparável a uma concentração de 0,25% de glicose. Esses efeitos podem também ser observados com sacaroses e xiloses.

Uma madeira recém abatida, contém maior quantidade de amido do que aquela abatida já algum tempo, o que a torna menos adequada ao uso na manufatura de chapas com partículas excelsior (SANDERMANN & SCHMITS 1966, apud SIMATUPANG **et al.** 1978, p. 12). Deixando a madeira armazenada durante um determinado período, o conteúdo de amido, sacarose, glicose e frutose decrescem (SCHWARZ & SIMATUPANG 1977, apud SIMATUPANG **et al.** 1978, p. 12). Este procedimento foi utilizado por LEE (1984), que estocou toras de pinus por um período de seis a oito semanas para provocar uma redução do conteúdo dos açúcares e também da umidade.

Outros açúcares como manose, galactose e arabinose também estão presentes nos compostos de cimento-madeira. Na secagem das partículas, ocorre a migração desses açúcares

para a sua superfície, conforme FISCHER (1974), citado por MOSLEMI & AHN (1980, p. 77). Estes dois autores explicam que a inibição da cura do cimento, ocorre porque este sofre interferência por açúcares de formação cristalina, afetando desta maneira a possível interação entre a madeira e o cimento, e, a interação interna do próprio cimento, o que segundo WEATHERWAX & TARKOW (1964), citados também por MOSLEMI & AHN (1980, p. 77), resulta em chapas de qualidades inferiores.

2.4.2 Densidade

Para SORFA & BONGERS (1983, p. 05), a densidade é um fator que influencia largamente a resistência de compostos de cimento-madeira. Eles utilizaram três equações para melhor ilustrar a relação entre a densidade e a resistência à compressão. Uma delas é a equação de regressão $RC_{(MPa)} = 0{,}0235.densidade - 22{,}83$, que é empregada para compostos de cimento-areia-madeira, utilizando pinus com uma composição igual à uma parte de madeira, 1,5 partes de cimento e 6 partes de areia.

Desta forma os autores concluiram que não somente a composição da chapa afeta a sua resistência, mas que a densidade é também de vital importância. A implicação disso, é que nos métodos de manufatura, produzir chapas de alta densidade, equivale produzir chapas resistentes.

2.4.3 Geometria das partículas

Utilizando diferentes partículas de pinus e eucalipto tratadas com cloreto de cálcio a 10%, SORFA & BONGERS (1982), concluiram que a serragem de pinus demonstrou ser a melhor matéria prima. Segundo eles, é plenamente esperado que a geometria das partículas afetem significativamente as propriedades das chapas de cimento-madeira. Porém, este aspecto é tratado muito superficialmente, e que poucos autores tratam sobre o assunto, dentre os quais são citados: KAYAHARA, que concluiu que a resistência das chapas aumentou com o aumento do tamanho das partículas, e que a respeito, as partículas excelsior foram as melhores; PRESTEMON, numa avaliação preliminar sobre compostos de cimento-madeira, constatou que a serragem aapresentou maior resistência à compressão do que partículas sliver; DEWITZ (1981), estudou com detalhes o fator geometria das partículas envolvidas em produtos de madeira-cimento deteriorados, concluiu que a melhor partícula tinha comprimento entre 2 e 20mm, largura entre 0,2 e 2,5mm e espessura entre 0,1 e 0,9mm; RUBSTOV (1978), encontrou um efeito benéfico na resistência quando as chapas possuiam de 10 à 12% de finos em sua composição.

SORFA & BONGERS (1983, p. 7-8), avaliaram o efeito do tamanho das partículas em compostos de cimento-madeira-areia. Para a proporção de 1:1,5:6 (madeira:cimento:areia), os cavacos de pinus e eucalipto obtiveram o melhor desempenho. Para a proporção de 1:3:15 (madeira:cimento:areia), a mistura de cavacos e serragem obteve alta resistência à compressão, seguida pelos cavacos. Segundo eles, a densidade de um produto, de uma certa composição, é influenciada principalmente pela maleabilidade de uma mistura, e que a este respeito as partículas tipo cavaco, desempenham um papel importante. A serragem de eucalipto, aparece para produtos de baixa densidade, e conseqüentemente produtos relativamente frágeis. Numa

avaliação geral, concluiram que as partículas maiores são destinadas para produtos densos e consequentemente produtos pesados.

2.4.4 Conteúdo de umidade das partículas

De acordo com MUSOKOTWANE (1982), o efeito do conteúdo de umidade das partículas sobre as propriedades fisícas e mecânicas de chapas de madeira-cimento, é altamente significante. Ele estudou cinco níveis de umidade à três proporções de madeira-cimento com diferentes densidades. Segundo o autor, aumentando-se o conteúdo de umidade 0-6% para 60-80%, resultará numa redução das propriedades fisicas e mecânicas das chapas. O autor recomenda que, para produção de chapas com propriedades mecânicas favoráveis, um teor de umidade acima de 15% não deve ser utilizado. O autor concluiu que para os testes de ligação interna, módulo de elasticidade e ruptura, melhores resultados foram obtidos para o teor de umidade entre 0-6%, enquanto que para teor de umidade acima desta faixa, resultou num aumento em inchamento em espessura.

2.4.5 Proporção madeira:cimento

Estudando o efeito da madeira sobre a cura do cimento Portland, WEATHERWAX & TARKOW (1964, p. 570), concluiram que a relação entre a taxa madeira:cimento e o tempo de cura é linear, sendo que, a medida que se aumenta a proporção de madeira em relação ao cimento, o tempo de cura torna-se mais prolongado.

PRESTEMON (1976, p. 43-45), realizando uma avaliação preliminar sobre compostos de madeira-cimento, utililizou proporções que variavam de 40:60 a 57:43 para madeira:cimento, respectivamente. De acordo com os resultados obtidos, observou que um aumento na proporção de cimento, promoveu acréscimo nas propriedades mecânicas das chapas testadas (módulo de ruptura e elasticidade, dureza, tração e compressão paralelas à superficie).

Vários autores têm utilizado diferentes proporções de madeira-cimento em seus estudos. Estas proporções podem ser por exemplo 15:200 (WEATHERWAX & TARKOW 1964, SHURLA **et al.** 1984), 1:2,75 (TEIXEIRA & GUIMARÃES 1989, BISON WOOD-CEMENT BOARD 1978), e 1:2 (MOSLEMI & AHN 1980). Segundo AHN (1983), citado por NNABUIFE (1984, p. 04), uma industria na Coréia do Sul manufatura chapas de madeira-cimento utilizando proporções menores que 10% para madeira e maiores que 90% para cimento.

Em relação a outros tipos de painéis, MUSOKOTWANE (1982), relata que a proporção de 1:2 de serragem:cimento, oferece uma resistência suficientemente alta que possibilita o uso destas chapas para paredes leves, assoalhos e em construções em geral. Sobre as três proporções (1:1, 1:1,5 e 1:2) utilizadas em seu trabalho, o autor concluiu que a proporção de 1:2 de madeira:cimento em chapas com uma densidade igual a 0,939 g/cm^3, obteve uma estabilidade dimensional favorável e melhores resultados para as propriedades mecânicas estudadas. A proporção 1:1 só foi eficaz quando utilizou um baixo conteúdo de umidade nas partículas (0-6% e 8-15%).

2.5 TRATAMENTO DA MADEIRA

2.5.1 Tratamento biológico

O tratamento biológico da madeira tem sido proposto por alguns autores, segundo MUSOKOTWANE (1982). Este autor cita que DAVIS propôs a utilização do fungo da mancha-azul (*Ceratocystis pilifera*), porque este, quando usado para infectar madeiras de pinus por um período maior que quatro semanas, reduz o tempo de cura do cimento. Provavelmente isto ocorre porque estes fungos utilizam-se dos açucares da madeira, que por sua vez inibem a cura do cimento (BIBLIS & LO, 1968).

Estudando a estrutura anatômica e composição química de cavacos de madeira de eucalipto inoculados com fungo *Thermoascus aurantiacus*, AUER **et al.** (1987, p. 45), concluiram que a inoculação reduziu em 16, 40 e 15% os teores de extrativos solúveis em água quente, açucares totais e substâncias fenólicas, respectivamente.

DAVIS (1966, p. 49), pesquisando o efeito da mancha azul sobre a cura de painéis de cimento-madeira (partículas excelsior), chegou a conclusão que as misturas que continham madeira inoculada com o fungo *Ceratocystis pilifera*, apresentaram um acréscimo na temperatura de cura em relação as misturas que não continham madeiras inoculadas.

A utilidade do controle biológico ainda é remota, bem como é difícil o controle posterior da contaminação pelos fungos deterioradores da madeira. Uma outra limitação, é que os fungos manchadores são usados somente para tratar o alburno da madeira, que geralmente compreende uma pequena porção da maioria das árvores.

2.5.2 Tratamento com água quente

O tratamento da madeira com água quente é provavelmente o mais simples. Ele tem sido utilizado para reduzir significativamente o tempo de cura de compostos de cimento-madeira (MUSOKOTWANE, 1982). O tratamento mostrou ser mais eficiente, segundo o autor, nas misturas de cimento com cerne da madeira do que com o alburno.

PARKER (1947, p. 594), utilizou o tratamento com água quente no seu estudo sobre painéis de serragem-cimento. A seguinte seqüência foi utilizada por ele:

1. Ferver a serragem em água;
2. Secar e lavar com água;
3. Ferver a serragem em uma solução de sulfato de ferro em água;
4. Secar e lavar novamente.

O sulfato de ferro foi usado para precipitar os taninos, bem como o tanato férrico por oxidação. Quando a serragem contém alto teor de tanino, ela adquire uma coloração preta após o tratamento com sulfato de ferro. Esta etapa poderá ser excluida se o conteúdo de tanino da serragem utilizada for pequeno. O tratamento com água quente extrai os taninos e carbohidratos solúveis, que se dissolvem facilmente em leves soluções alcalinas adicionadas à água utilizada na mistura de cimento-madeira.

Estudando o efeito de vários tratamentos e aditivos sobre o sistema madeira-água-cimento, MOSLEMI **et al.** (1983, p. 166-167), trataram as partículas de duas espécies de madeira utilizando água quente. Inicialmente 500g de partículas para cada espécie, foram fervidas em um becker de dois litros por 6 hs. A cada 2 hs, as partículas foram lavadas com água quente destilada. Após o período de 6 hs, as partículas foram lavadas com água quente destilada por duas vezes e colocadas para secar por 24 hs a uma temperatura de 103^0C. Na

tabela 3 podemos observar que o tratamento foi mais eficiente para a espécie larch do que para pinus, visto que a primeira apresenta um efeito mais inibidor para a temperatura de hidratação do cimento. O resultado neste caso é comparável ao tratamento com NaOH a 1%.

TABELA 3 - MÉDIAS DOS VALORES DE TEMPO E TEMPERATURA DA HIDRATAÇÃO DO CIMENTO PARA MISTURAS DE PINUS/LARCH-CIMENTO TRATADAS E NÃO TRATADAS.

ESPÉCIE	TRATAMENTOS	TEMPO (h)	TESTE DUNCAN	TEMPERATURA (^{o}C)	TESTE DUNCAN
Pinus	Sem Tratamento	12,00	a	74,50	b
	Água quente	11,63	a	58,50	a
	NaOH (1%)	11,88	a	68,50	a
Larch	Sem Tratamento	24,00	c	25,75	b
	Água quente	10,38	a	66,50	a
	NaOH (1%)	11,25	b	63,25	a

Fonte: MOSLEMI **et al.** (1983).
Obs: Médias com letras diferentes denotam diferenças estatística ($p<0,05$).

2.5.3 Tratamentos químicos

Produtos químicos, comumente chamados de aditivos, são os mais empregados para acelerar a cura do cimento e consequentemente melhorar a resistência dos painéis. Este tipo de tratamento é aplicado com ou sem o tratamento com água quente (MUSOKOTWANE, 1982). BIBLIS & LO (1968), e alguns autores (DAVIS 1966, FLAWS & CHITTENDEN 1967, KLAR 1975, KREKEL 1972, TAKANO **et al.** 1977), citados por MOSLEMI **et al.** (1983), consideram que alguns aditivos, como por exemplo o cloreto de cálcio, podem ser utilizados para acelerar a cura do cimento. Outros como cloreto férrico ($FeCl_3$), sulfato férrico

($Fe_2(SO_4)_3$), cloreto de magnésio ($MgCl_2$) e hidróxido de cálcio ($Ca(OH)_2$), têm sido usados para minimizar o efeito inibidor da madeira sobre a cura do cimento.

SINGH (1975), estudando o efeito do gluconato de cálcio, cloreto de cálcio, mistura de gluconato de cálcio e cloreto de cálcio, glicose e mistura de glicose com gluconatos de cálcio sobre a hidratação do cimento, concluiu que o cloreto de cálcio acelera, e o gluconato de cálcio retarda a hidratação do cimento em todas as suas fases. O autor afirma, que o gluconato de cálcio provavelmente retarda a cura do cimento através da contaminação do núcleo de alguns hidratos, ou pelo bloqueamento da passagem das moléculas de água por algum mecanismo de adsorção.

Em outro trabalho, SINGH (1976) estudando os gluconatos de sódio, potássio, magnésio e cálcio, concluiu que todos estes gluconatos são fortes retardadores da hidratação do cimento, e que, o seu poder obedece a seguinte ordem: gliconato de sódio, de potassio, de magnésio e de cálcio. Possivelmente, afirma ele, estas substâncias retardam a hidratação do cimento, contaminando o crescimento do núcleo, e, a ação retardante de diferentes gluconatos, pode estar relacionada ao tamanho dos íons e pela eletromagnitividade de metais de íons.

SIMATUPANG **et al.** (1978), relatam que aditivos como o cloreto de cálcio e magnésio, silicato de sódio ou potássio e uma mistura de sulfato de alumínio e cal hidratado, são mais comumente utilizados em uma solução diluida de 1 - 5%, e, em relação ao cimento variam numa faixa de 0,5 - 3%. Uma concentração semelhante somente para cloreto de cálcio é citada por LEE (1984), onde 0 - 3% com base no peso seco do cimento é empregada. Os resultados obtidos por MOSLEMI & AHN (1980), as médias do módulo de ruptura, foram quatro vezes maiores quando adicionado à mistura, cloreto de cálcio a 3% baseado no peso combinado do cimento e madeira.

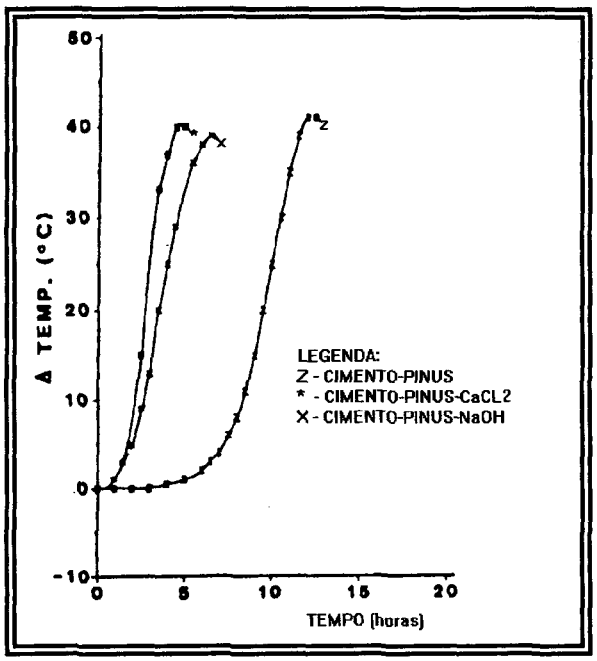
Os tratamentos químicos, de acordo com SORFA & BONGERS (1982), consistem usualmente na imersão da madeira em soluções de vários sais, precedidas ou seguidas de uma lavagem com água fria ou quente. Relatam ainda, que diferentes espécies respondem diferentemente aos vários tratamentos, onde geralmente as coníferas são menos problemáticas do que as folhosas.

MOSLEMI **et al.** (1983), estudando a influência de aditivos em sistema madeira-água-cimento, dividiram sua avaliação em duas fases. A primeira, para avaliar a influência dos aditivos sobre as partículas tratadas com água quente e com NaOH (1%). E a segunda, para avaliar os efeitos sobre as partículas que não sofreram nenhum tratamento. Em uma série de teste preliminares, 5% de soluções de $CaCl_2$, $MgCl_2$, $Ca(OH)_2$ e NaOH foram usadas em combinação com cimento, água e duas espécies (Pinus e Larch). Os resultados destes testes preliminares, demonstraram que o $CaCl_2$ e NaOH forneceram os melhores resultados, daí a escolha destes dois produtos para a realização do experimento.

Em relação a madeiras não tratadas, a conclusão que chegaram, foi que a adição de 5% cloreto de cálcio para a espécie Pinus, reduziu o tempo de reação de 12 para 4,5 hs, enquanto que a adição de 5% de NaOH para a mesma espécie reduziu o tempo de 12 para 6,6 hs (figura 1). Em contraste, a adição desses dois produtos, quando utilizada a espécie Larch, não produziu nenhum efeito significativo sobre a reação exotérmica da mistura (figura 2).

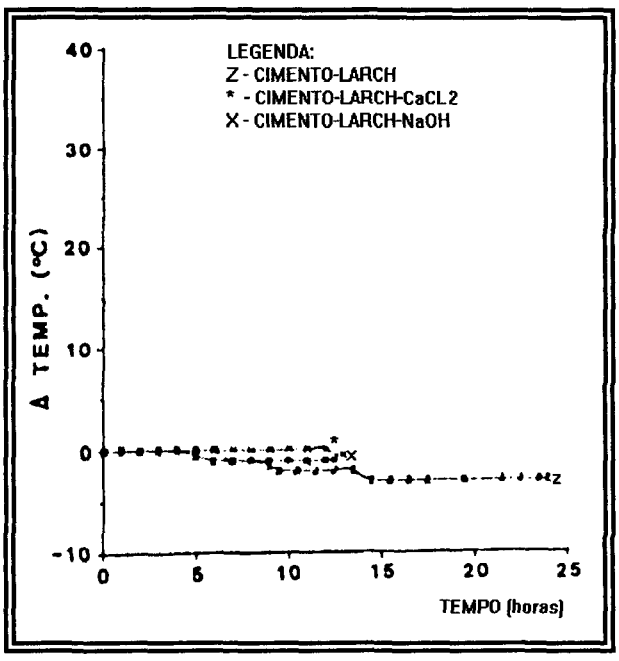
Para as madeiras que foram tratadas, os resultados demostraram que a adição dos aceleradores químicos, produziu uma redução significativa no tempo da reação, bem como elevou a temperatura de hidratação do cimento (figura 3).

FIGURA 1 - EFEITO DO $CaCl_2$ E NaOH SOBRE A HIDRATAÇÃO DO CIMENTO (PINUS).



Fonte: MOSLEMI **et al.** (1983)

FIGURA 2 - EFEITO DO $CaCl_2$ E NaOH SOBRE A HIDRATAÇÃO DO CIMENTO (LARCH).

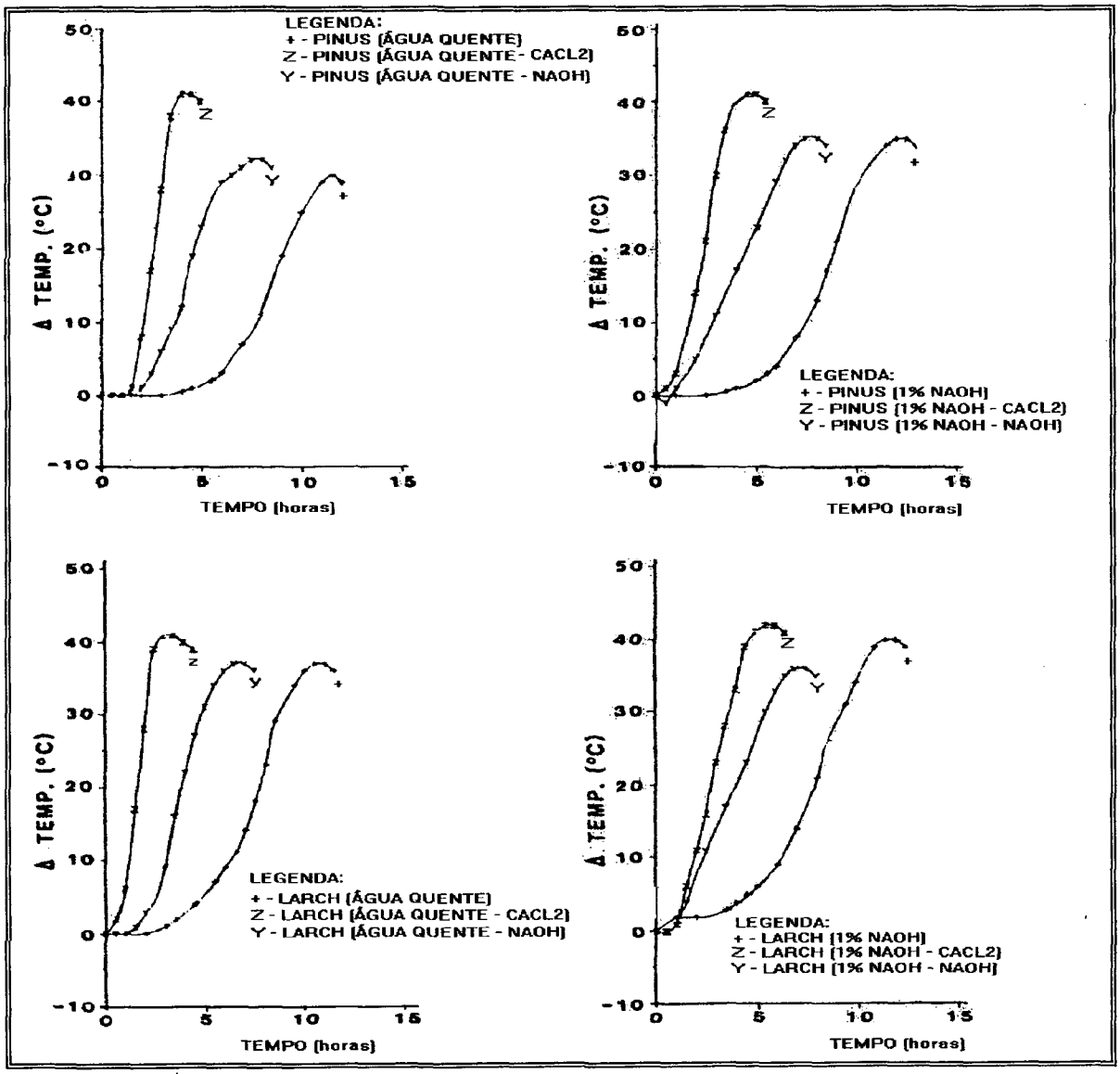


Fonte: MOSLEMI **et al.** (1983)

Avaliando a utilização do silicato de sódio como aditivo químico, SORFA & BONGERS (1983), relatam que este produto está disponível em diferentes graus, de acordo com a taxa de óxido de sílica (SiO_2) e do óxido de sódio (Na_2O). Segundo eles, o silicato de sódio altamente alcalino é mais solúvel do que aquele com um alto teor de sílica. Teoricamente um alto conteúdo de sílica proporcionará um ganho muito significativo na resistência das chapas, mas será um rápido acelerador da cura do cimento, o que poderá trazer alguns riscos devido a uma cura prematura. Por outro lado, um conteúdo altamente alcalino, causará um pequeno efeito sobre a aceleração da cura, mas não proporcionará riscos. Desta forma, neste experimento os autores escolheram para avaliar três níveis de silicato de sódio (SiO_2:Na_2O), com as seguintes proporções: 3,3:1,0 (alto conteúdo de sílica), 2,8:1,0 (médio teor) e 2,0:1,0 (altamente alcalina). Esta última proporção foi utilizada tanto na forma líquida como em forma de pó. Os resultados foram comparados com valores teóricos de partículas não tratadas e

tratadas com cloreto de cálcio ($CaCl_2$) a 10% sobre a madeira. O melhor resultado foi obtido pela proporção altamente alcalina (em pó), na qual provou ser significativamente melhor do que o cloreto de cálcio em relação a propriedade de flexão, mas não em relação a compressão. O melhor resultado, em seguida, foi a proporção média alcalina, enquanto que a proporção altamente alcalina, na forma líquida, foi praticamente ineficaz.

FIGURA 3 - EFEITO DOS ADITIVOS QUÍMICOS $CaCl_2$ E NaOH, SOBRE A MADEIRA DE PINUS E LARCH.



Fonte: MOSLEMI **et al.** (1983).

Um outro produto que tem sido pesquisado para diminuir a incompatibilidade de algumas espécies e reduzir o tempo de prensagem, é o gás dióxido de carbono. SOUZA (1992), empregou este produto na manufatura dos painéis durante o processo de prensagem. Os resultados de resistência alcançados, foram comparados aos sistemas convencionais, e o processo foi adequado para chapas com densidade de 1 - 1,4 g/cm^3, taxa de madeira:cimento de 0,28 - 0,35, e taxa de água:cimento de 0,15 - 0,35. Este autor cita que, SIMATUPANG & GEIMER (1991), chegaram a conclusão que o tratamento de injeção de gás dióxido de carbono, melhora a qualidade das chapas e acelera o processo, onde a pressão para produzir uma chapa, foi de 72 - 130 psi.

Também citado por SOUZA (1982), LAHTINEN (1991), apresenta várias vantagens do uso de dióxido de carbono em relação aos sistemas convencionais, sendo elas:

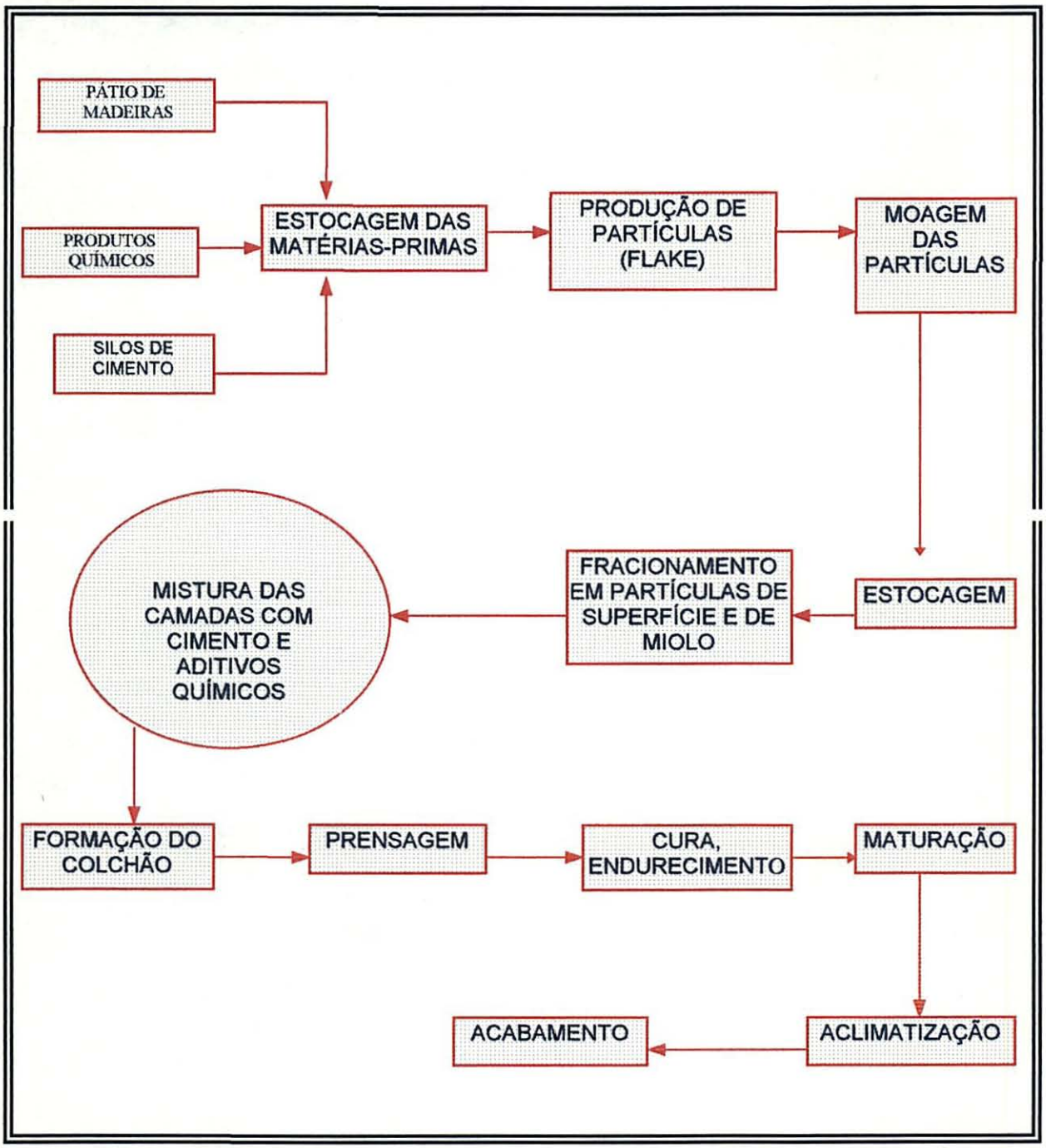
1. reduz o tempo de prensagem de oito horas para cinco minutos;
2. produz chapas de melhor qualidade com uma estreita tolerância em espessura;
3. requer uma pequena estrutura para produção de chapas;
4. possibilidade de se produzir chapas delgadas;
5. um grande número de espécies podem ser utilizadas; etc.

2.6 FASES DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE PAINÉIS DE MADEIRA-CIMENTO

O processo descrito a seguir, segue o modelo aplicado pela BISON, cujo processo é hoje um dos mais conhecidos em todo o mundo.

De acordo com as informações da BISON-REPORT (1978), a produção das chapas de cimento-madeira são divididas em várias etapas, conforme a figura 4.

FIGURA 4 - FLUXOGRAMA DE PRODUÇÃO DE CHAPAS DE MADEIRA-CIMENTO PELO PROCESSO BISON



Inicialmente a madeira descascada é armazenada no pátio por um período de aproximadamente dois meses, de modo que não seja possível o desenvolvimento de fungos apodrecedores. Esta estocagem serve para equalizar a umidade da madeira degradar os componentes retardantes de cura do cimento.

Os geradores de partículas padrão "flake", podem ser empregados de acordo com suprimento de madeira. O resultado é uma partícula longa e fina com espessura de 0,2 - 0,3mm e um comprimento entre 10 e 30mm.

As partículas vindas do gerador de partículas são moidas em moinhos de martelo. Uma porção controlada do material é alimentado no moinho para produzir finos para confecção das camadas superficiais.

A mistura de partículas "flake" produzidas nos moinhos é transportada para um silo para imediata estocagem. A alimentação contínua e exata do misturador é garantida por aparelho de descarga no silo.

A separação das partículas em material para camadas de miolo e superfície é realizada por peneiras mecanizadas. O material maior segue para moinho de finos, para a confecção de material adicional de superfície.

Os materiais básicos, madeira e cimento, são misturados com os outros aditivos numa estação de mistura. Em plantas com capacidade diária de produção de 100 m^3, a mistura de material para as camadas interna e externa é feita em equipamentos separados. A alimentação de componentes individuais é sempre feita em relação ao peso absolutamente seco da madeira. A umidade da madeira é determinada continuamente. Todo material é pesado em bateladas. A receita básica prevê aproximadamente 60% cimento, 20% madeira, e aproximadamente 20% água quimicamente e fisicamente aderida.

A proporção de cimento pode ser facilmente reduzida, e assim a proporção de material orgânico pode ser aumentada, porém as propriedades do material acabado serão alteradas.

A qualidade da formação está diretamente relacionada com a tolerância em espessura das chapas acabadas. É absolutamente necessário manter-se as tolerâncias dentro de limites estreitos. Desde que o material a ser injetado possui alto teor de umidade pelas condições do processo, a estação de formação é especialmente ajustada.

O sistema de classificação por ar utilizado na formação de colchões de chapas de partículas convencionais, foi modificado para este processo para permitir o espalhamento do material relativamente pesado e com alto conteúdo de umidade, com alto grau de acuracidade.

Excelente qualidade superficial é obtida sem problemas desde que a separação do material a ser espalhado seja acompanhado de acordo com o tamanho das partículas (flake).

Em plantas com capacidade de produção diária de 50 m^3, uma estação formadora é *suficiente, plantas maiores* operam com 2 ou 3 estações. A acuracidade da formação é controlada por meio de unidades controladoras de raios gama. O peso é também controlado por uma unidade, e colchões que estão fora dos limites de tolerância em pesos, são removidos da linha de produção e voltam para a estação formadora. O colchão é formado de modo contínuo em esteiras, sendo separado além da máquina formadora, e esquadrejado nas dimensões brutas da chapa. O material resultante do corte é reciclado e volta a estação formadora.

Os colchões são colocados em implementos de grampos após a formação. A pilha das chapas é então prensada numa prensa até a espessura desejada e fechada numa grade com grampos. Uma pressão específica de até 25 kg/cm^2 é requerida para o processo de prensagem. A espessura dada, resulta da espessura da chapa mais a espessura da forma, e o número de chapas por pilha. O processo de cura leva um tempo relativamente longo. Durante este tempo

a pilha de chapas deve ser grampeada com bastante firmeza, sendo que o equipamento precisa ser sólido e de desenho exato.

Para se ter um processo de endurecimento sob condições controladas, a pilha de chapas fixas é removida da prensa e é pré-endurecidas numa câmara de endurecimento sob influência de calor. Após aproximadamente 6 - 8hs, a separação pode ser feita. As chapas são transportadas para a área de estocagem, recebendo um pré-esquadrejamento e sendo empilhadas em paletes. O material resultante do esquadrejamento pode ser adicionado ao material destinado a camada do miolo na seção de mistura.

Após o desmanche das pilhas, uma operação de pré-esquadrejamento é realizada seguido por estocagem numa seção de maturação. A maturação dos painéis leva dezoito dias. Após este período, as chapas já adquiriram aproximadamente suas propriedades. As propriedades tecnológicas são determinadas após este tempo.

Antes de deixarem a planta, as chapas precisam adquirir umidade de equilíibrio com o ambiente de uso. Esta etapa é necessária para se obter estabilidade da umidade do painel, e é realizada numa câmara de aclimatização. Cada chapa passa individualmente através deste sistema.

De acordo com a aplicação ou exigências dos consumidores, as chapas podem ser lixadas em uma ou ambas as faces. Por meio do processo de lixamento a espessura do painel é mantida constante, dentro de certos limites. Para acabamento das bordas, maquinarias convencionais de industrias de chapas de partículas podem ser utilizadas.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATÉRIA PRIMA

A espécie utilizada neste estudo foi o *Eucalyptus dunnii* (Maid) com 14 anos de idade, proveniente de um povoamento da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) no município de Colombo-PR. Sua procedência é designada Urbenville, com a seguinte situação geográfica: altitude de 350 metros, latitude Sul de 28^0 28' e longitude leste de GREENWICH de 152^0 32'.

Foram coletadas aleatoriamente cinco árvores , sendo que de cada uma delas, retirou-se uma seção do fuste com aproximadamente 6 metros de comprimento e maior diâmetro inferior à 20 cm. Estas seções foram traçadas em toretes de 2 metros de comprimento, sendo devidamente identificados e remetidos para o laboratório de painéis de madeira da Universidade Federal do Paraná. A razão pelo uso de diâmetros inferiores à 20 cm, foi com o objetivo de otimização da árvore, onde as seções com diâmetros superiores, foram destinadas a pesquisa em laminação e processos de desdobro. Desta maneira pôde-se caracterizar o aproveitamento dos resíduos da exploração que normalmente são deixados na floresta.

O aglutinante empregado foi o cimento tipo Portland, marca Votorantin, comumente encontrado no comércio varejista.

Foram empregados o hidróxido de sódio (NaOH), cloreto de cálcio ($CaCl_2$) e cloreto de magnésio ($MgCl_2$) como aditivos químicos com a função de eliminar os efeitos nocivos dos componentes quimícos da madeira e também como aceleradores da cura do cimento.

3.2 DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DA MADEIRA

Foram extraídas de cada torete, amostras para que fosse feita a determinação da massa específica da madeira. Os procedimentos seguiram a recomendação da norma COPANT (1973), onde se determinou a massa específica aparente do material acondicionado em uma câmara de climatização a uma temperatura de 20 ± 3°C e a 65 ± 1% de umidade relativa, ou seja, à uma umidade de equilíbrio da madeira de 12%. O volume foi determinado pelo método estereométrico e a pesagem feita em balança analítica de laboratório.

3.3 ANÁLISES QUÍMICAS DA MADEIRA

Para a realização das análises químicas, foram retirados de cada árvore quatro discos com 2,5 cm de espessura, livres de nós e outros defeitos, e com o auxílio de uma serra fita foram transformados em cavacos. Após homogeneizados, os cavacos passaram por um moinho de martelo para obtenção da serragem. Utilizou-se para a classificação da mesma, peneiras metálicas com malhas conhecidas e agitadores mecânicos. O material selecionado para as análises foi aquele retirado da fração 40/60, ou seja, fração de serragem que atravessa a peneira de 40 mesh e fica retida na peneira de 60 mesh. Esse material foi acondicionado em ambiente climatizado com 20 ± 3°C de temperatura e a 65 ± 1% de umidade relativa.

As análises químicas realizadas são descritas a seguir, contendo cada uma delas a sua respectiva norma:

Solubilidade da Madeira em Água

De acordo com a TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY (1969, doravante citado como TAPPI), os extrativos solúveis em água (quente e fria) incluem os sais orgânicos, açúcares, resinas e, se não previamente extraídos com álcool, uma porção de taninos. Esta análise foi realizada também com as partículas que sofreram tratamentos com água quente à 80°C por 1h. Este procedimento foi adotado para se verificar a eficiência do referido tratamento. A norma adotada foi a TAPPI T_1 m-59.

Solubilidade em Hidróxido de Sódio 1%

Este método consiste no tratamento da amostra com uma solução alcalina, a fim de determinar a quantidade de material solubilizado nas condições empregadas.

Quando aplicado em material lignocelulósico não processado, este método é considerado, usualmente, um índice que permite verificar o grau de degradação que o material tenha sofrido. Porém, estudos recentes revelaram que a solubilidade de materiais fibrosos em soda 1% é função de diversos fatores, tornando-se índice de deterioração do material apenas quando este já se encontra em estado bastante avançado de deterioração (IPT, 1981). Os procedimentos seguem a norma TAPPI T_4 m-59.

Solubidade da Madeira em Álcool-Benzeno

Os extrativos solúveis nessa mistura inclui, de acordo com dados da TAPPI (1969), resinas, óleos, ceras, graxas e compostos insolúveis em éter. Os procedimentos seguem a norma TAPPI T_6 m-59.

Lignina

Esta análise tem como objetivo a determinação do teor de lignina da madeira, e consiste no tratamento da amostra, livre de extrativos, com ácido sulfúrico 72%. O ácido dissolve a fração polissacarídica, deixando como resíduo a lignina (IPT, 1981). O método emprega duas e algumas vezes três tratamentos preliminares para a extração de extrativos, são eles: com álcool, para remover taninos; com solução de álcool-benzeno, para remover resinas, óleos e ceras; e água quente, para remoção de materiais remanescente solúveis em água (TAPPI, 1969). Os procedimentos seguem a norma TAPPI T_{13} m-54

Componentes Minerais

A cinza é definida como sendo o resíduo após a calcinação a 575 ± 25°C, por 3 hs, ou mais, se necessário, até que queime todo o carbono (TAPPI, 1969). Os procedimentos seguem a norma TAPPI T_{15} m-58.

Holocelulose

Os valores médios para este componente da madeira, foram obtidos através do seguinte processo. Inicialmente as serragens foram tratadas com álcool, álcool-benzeno e água (quente e fria), para que se obtivesse o teor total de extrativos da madeira, e em seguida, determinou-se o teor de lignina através do processo acima descrito. Somando-se a porcentagem de extrativos totais da madeira, mais o teor de lignina e teor de cinzas, subtraindo esta adição por cem, se obteve o teor total aproximado de holocelulose.

3.4 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

No delineamento experimental foram incluidos três fatores. Tratamentos das partículas contendo três níveis, duas taxas de madeira:cimento e dois aditivos químicos. Os níveis de cada fator, e outras variáveis do processo são descritos abaixo:

a) Tratamento das partículas:

Nível 1 - partículas que não sofreram tratamentos;

Nível 2 - partículas tratadas em água quente (80^0C) por 1h;

Nível 3 - partículas tratadas com hidróxido de sódio (1%) por 24hs.

b) Taxa de madeira:cimento:

Nível 1 - 1:2,5;

Nível 2 - 1:3,0.

c) Aditivos químicos:

Nível 1 - cloreto de cálcio (3%);

Nível 2 - cloreto de magnésio (3%)

d) densidade do painel:

- 1,2 g/cm^3

e) dimensões do painel:

- 38,5cm largura

- 50,5cm comprimento

- 1,5cm espessura

f) parâmetros de prensagem:

- pressão = 40 kg/cm^2

- tempo da prensagem inicial = 1h

- tempo de grampeamento = 23 hs

g) tempo de acondicionamento:

- 20 dias

Com a combinação dos fatores acima obtem-se um total de 12 tratamentos, demonstrado na tabela 4. Cinco chapas (repetições) foram feitas para cada tratamento, originando para o estudo um total de 60 painéis.

TABELA 4 - DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

ESPÉCIE	FATORES			TRATAMENTOS
	TRATAMENTO DE PARTÍCULAS	TAXA MADEIRA:CIMENTO	ADITIVOS QUÍMICOS	
Eucalyptus dunnii	TESTEMUNHA	1:2,5	$CaCl_2$ (3%)	T_1
			$MgCl_2$ (3%)	T_2
	IMERSÃO ÁGUA QUENTE 80^{0}C/2hs		$CaCl_2$ (3%)	T_3
			$MgCl_2$ (3%)	T_4
	IMERSÃO EM NaOH (1%) 24hs		$CaCl_2$ (3%)	T_5
			$MgCl_2$ (3%)	T_6
	TETEMUNHA	1:3,0	$CaCl_2$ (3%)	T_7
			$MgCl_2$ (3%)	T_8
	IMERSÃO ÁGUA QUENTE 80^{0}C/2hs		$CaCl_2$ (3%)	T_9
			$MgCl_2$ (3%)	T_{10}
	IMERSÃO EM NaOH (1%) 24hs		$CaCl_2$ (3%)	T_{11}
			$MgCl_2$ (3%)	T_{12}

3.5 FASES DA MANUFATURA DOS PAINÉIS

As seguintes fases foram utilizadas para a manufatura dos painéis:

a) obtenção e preparação das partículas;

b) cálculo dos compostos do painel;

c) formação do colchão;

d) prensagem das chapas;

e) acondicionamento.

3.5.1 Obtenção e Preparação das Partículas

Os toretes de 2,0 metros foram seccionados em discos de 3,6 cm de espessura e, com o auxílio de uma serra fita, reduzidos em blocos com as dimensões compatíveis com a capacidade do gerador de partículas. As partículas foram geradas na forma de "flake", com as dimensões nominais de 3,6 cm de comprimento, 0,07 cm de espessura e largura variável. Após a sua obtenção, foram homogeneizadas de modo a alcançar a representatividade da amostragem das cinco árvores.

As partículas foram divididas proporcionalmente para cada tipo de tratamento. Para os tratamentos 1, 2, 7 e 8, as mesmas não sofreram nenhum tipo de tratamento, foram simplesmente deixadas acondicionando ao ar livre. Nos tratamentos 3, 4, 9 e 10, as partículas foram imersas em um tanque metálico com água quente por uma hora à 80^0C, posteriormente lavadas e deixadas acondicionando ao ar livre. Nos tratamentos 5, 6, 11 e 12, foram imersas

em tanque de concreto contendo uma solução de hidróxido de sódio (NaOH) a 1% por 24hs, em seguida lavadas e também acondicionadas ao ar livre.

3.5.2 Metodologia para Cálculo dos Componentes do Painel

A metodologia utilizada para se efetuar os cálculos dos compostos de cada painel, é indicada a seguir por SOUZA (1994, p. 121-122). Segundo este autor, os parâmetros necessários para o cálculo de uma chapa são: comprimento, largura e peso específico do painel, conteúdo de umidade da madeira, taxa de madeira-cimento, taxa de água-cimento, e taxa de água de hidratação-cimento. Este último parâmetro é fixo, e é igual a 0,25 para cimento Portland tipo 1. Esta água de hidratação não é adicionada ao sistema durante à mistura, mas é a quantidade de água que estará vinculada ao cimento após a hidratação. Ela tem sido considerada no cálculo porque será parte da chapa após a cura. Logo, um típico painel é composto de madeira, cimento e água agregada.

- Determinação do peso da chapa (PC):

$$PC = comprimento \times largura \times espessura \times peso\ específico(seco) \times perdas$$

- Determinação da quantidade de cimento e madeira para chapa seca:

$$\text{cimento (g)} = \frac{PC}{(1 + \text{taxa madeira:cimento} + \text{taxa agua hidratacao:cimento})}$$

$$\text{madeira (g)} = \frac{(PC \times \text{taxa madeira:cimento})}{(1 + \text{taxa madeira:cimento} + \text{taxa agua hidratacao:cimento})}$$

- Cálculo da quantidade de material para mistura

$$\text{CIMENTO (g)} = \text{cimento (g)} \times \left(1 - \frac{\text{aditivo (\%)}}{100}\right)$$

$$\text{MADEIRA (g)} = \text{madeira (g)} \times \left(1 + \frac{\text{umidade da madeira (\%)}}{100}\right)$$

$$\text{ADITIVO (g)} = \text{cimento (g)} \times \left(\frac{\text{aditivo (\%)}}{100}\right)$$

$$\text{ÁGUA (g)} = \text{taxa agua:cimento} \times \text{cimento(g)} + \left[\text{madeira} \times \left(0{,}3 - \frac{\text{u.m. (\%)}}{100}\right)\right]$$

$$\text{PESO TOTAL (g)} = \text{CIMENTO} + \text{MADEIRA} + \text{ADITIVO} + \text{AGUA}$$

- Cálculo da quantidade de material que irá para prensa (MP):

$$\text{MP} = \text{PESO TOTAL} \times \left(\frac{1 - \text{perda}}{100}\right)$$

3.5.3 Formação do Colchão

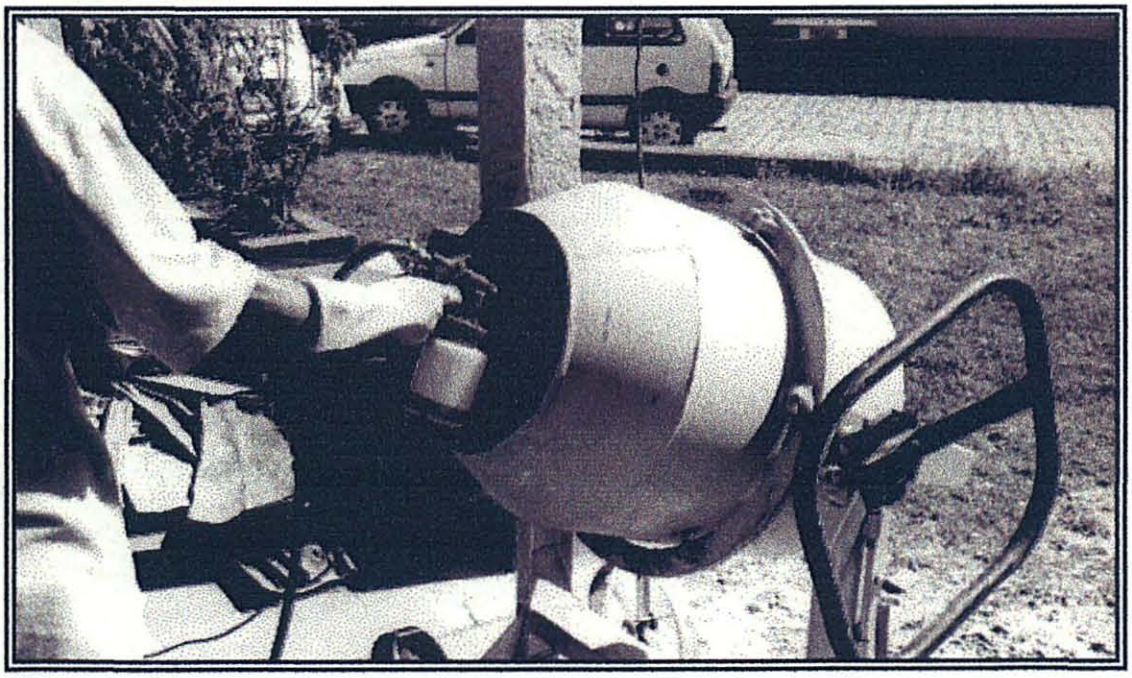
Inicialmente procedeu-se o cálculo e a pesagem das partículas, da água, do cimento e do aditivo químico para uma quantidade equivalente a cinco painéis. Em seguida os mesmos foram misturados em uma betoneira (figura 5) seguindo a metodologia aplicada por MOSLEMI & PFISTER (1987, p. 166), descrita a seguir.

Com o auxílio de um sistema de ar comprimido (aspersor), aplicou-se inicialmente o aditivo químico diluído em parte da água sobre as partículas já colocadas dentro da betoneira em movimento. Terminada esta etapa, adicionou-se o cimento e, novamente com o aspersor

aplicou-se o excedente da água sobre a massa. Ao final dessa última etapa, em torno de aproximadamente 45 minutos, a mistura já se encontrava homogeneizada.

Retirada da betoneira, a massa total de cada painel era devidamente pesada, separada, e distribuída aleatoriamente numa caixa formadora do colchão com as dimensões de 38,5 cm de largura e 50,5 cm de comprimento. Esta caixa era colocada sobre uma chapa de alumínio untada, com o propósito de se evitar que a massa aderisse a ela. Antes da retirada da caixa formadora, foi realizada uma pré-prensagem para a diminuição da espessura do colchão. Retirando-se a caixa, duas barras de ferro foraam colocadas para o controle da espessura final (separadores de 1,5cm) no sentido do comprimento do colchão, para somente aí sobrepor a outra chapa de alumínio também untada.

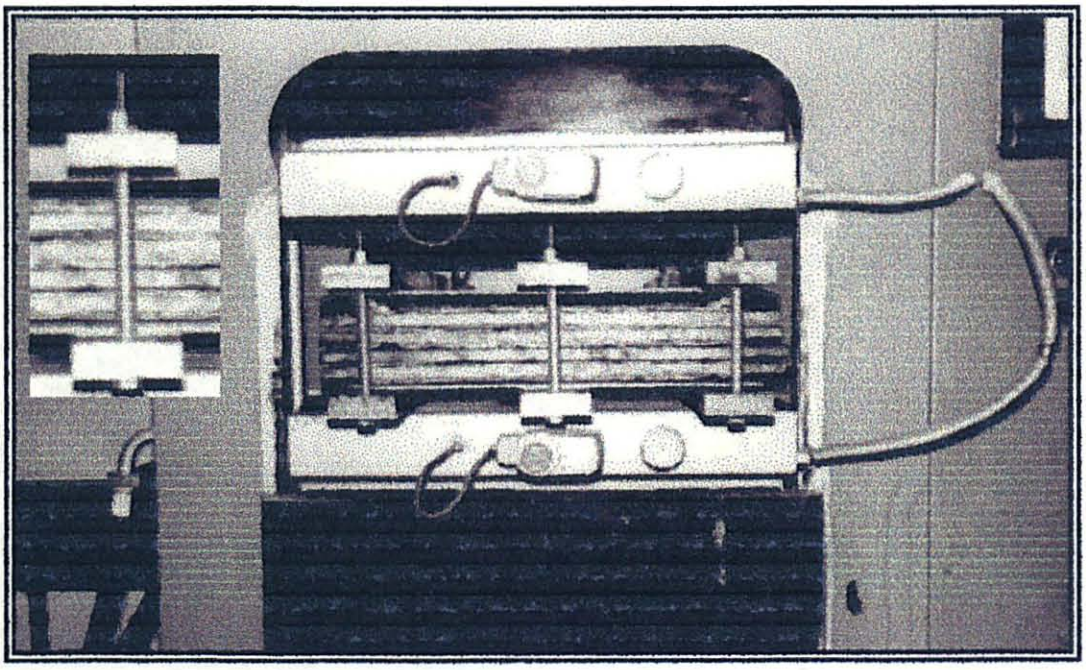
FIGURA 5 - MISTURA DOS COMPONENTES DOS PAINÉIS EM BETONEIRA.



3.5.4 Prensagem das chapas

Já carregada com cinco painéis (1 tratamento), e os aparatos para o grampeamento, a prensa era fechada a uma pressão de 40 Kg/cm^2 . A prensagem a frio, aplicava e mantinha a pressão desejada até que os colchões atingissem a espessura dos separadores, para então se efetuar o grampeamento (figura 6). A prensa era somente aberta uma hora após iniciada a prensagem. A seguir durante 23 hs ocorria a fase de restrição por grampeamento da pilha de painéis, para que desta forma fosse mantida a espessura desejada.

FIGURA 6 - DETALHE DO GRAMPEAMENTO DURANTE A PRENSAGEM DOS PAINÉIS.



3.5.5 Acondicionamento

Decorridas 23 horas de restrição, os grampos eram retirados e as chapas empilhadas cuidadosamente e mantidas por mais 20 dias em câmara de climatização a uma temperatura de 20 ± 3°C e a 65 ± 1% de umidade relativa, para cura final (maturação) dos painéis.

3.6 AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DOS PAINÉIS

Com aproximadamente quinze dias de acondicionamento, os painéis eram levados para a marceneria para que fossem retirados os corpos de prova, onde logo em seguida, os mesmos eram colocados na sala de climatização por mais 5 dias, completando assim o período de maturação de 20 dias. O processo de obtenção dos corpos de prova foi realizado através do uso de uma serra circular comum. Inicialmente as chapas eram esquadrejadas, retirando-se cerca de 2 cm de cada extremidade. A distribuição dos corpos de prova em cada painel é apresentada na figura 7.

Para avaliação das propriedades dos painéis adotou-se os procedimentos recomendados pela norma americana ASTM D-1037 (1982). As propriedades avaliadas foram:

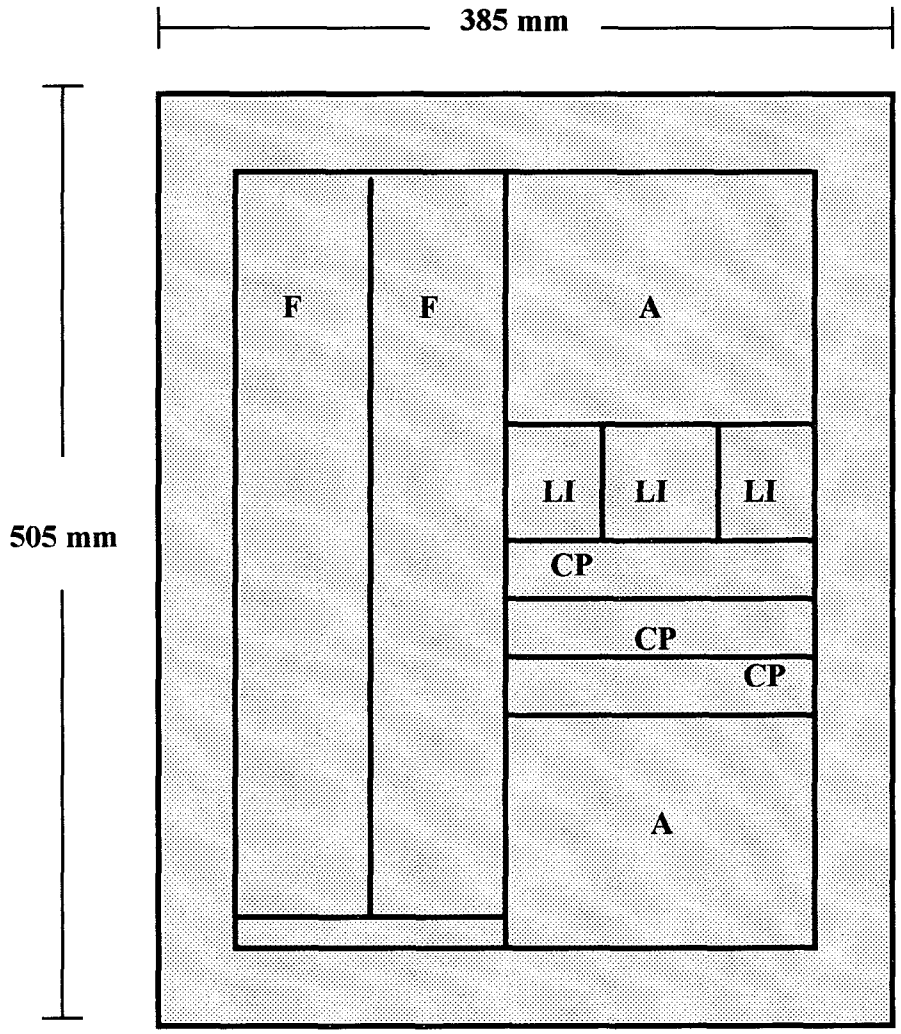
a) propriedades de resistência:

- Flexão Estática (F) - 2 corpos de prova por painel de 410 x 76 mm;
- Compressão Paralela à Superfície (CP) - 3 corpos de prova por painel de 100 x 25 mm;
- Ligação Interna (LI) - 3 corpos de prova por painel de 50 x 50 mm;

b) Estabilidade dimensional:

- Absorção de água e Inchamento em Espessura (A) - 2 corpos de prova por painel em dimensão de 150 x 150 mm.

FIGURA 7 - ESQUEMA DE AMOSTRAGEM DOS CORPOS DE PROVA NOS PAINÉIS PARA AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES.



3.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para a análise dos dados obtidos optou-se pela análise fatorial de covariância, visto que forneceria maiores informações a respeito dos tratamentos, podendo-se avaliar isoladamente o efeito dos fatores principais (tratamento das partículas, taxa de cimento madeira e aditivos químicos), bem como o efeito de suas interações, ou seja, o comportamento de um em presença ou ausência do outro.

A opção pela análise de covariância foi devida principalmente pela dificuldade em se obter um perfeito controle da densidade do painel, fazendo-se necessário ajustar os valores das propriedades a uma densidade média. Isto pode ser comprovado pela aplicação conceitual da analise de covariância apresentada por STEEL & TORRIE (1960), onde relatam entre outros usos, a necessidade de se ajustar médias de variáveis dependentes, controlar o erro, aumentar a precisão e auxiliar na interpretação dos dados, dando ênfase a natureza dos tratamentos.

Portanto as comparações entre tratamentos foram feitas com médias ajustadas pela covariância, sempre que a hipótese nula era rejeitada através do teste F. O teste TUKEY foi aplicado para comparação entre as médias.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 MASSA ESPECÍFICA DA MADEIRA

A massa específica é considerada uma das propriedades físicas mais importantes, uma vez que a ela estão relacionadas a maioria das demais propriedades da madeira. De acordo com KEINERT JR. (1980, p. 112-113), para um determinado grau, ele também controla a amplitude das mudanças dimensionais que ocorrem com a madeira, em função das mudanças no conteúdo de umidade abaixo do ponto de saturação das fibras. Sendo assim, a massa específica é uma importante propriedade na determinação da utilidade de uma determinada espécie. Para a espécie em estudo obteve-se uma massa específica de 0,69 g/cm^3 para madeira acondicionada à 12% de umidade, e segundo a classificação de madeiras proposta por SALLENAVE (1955), citado por BORTOLETTO JR. (1993, p. 78), ela é considerada uma madeira pesada.

4.2 ANÁLISES QUÍMICAS DA MADEIRA

Os resultados obtidos da análise química para todas as variações de tratamentos da madeira realizados neste estudo, estão apresentados na tabela 5. As análises em que os tratamentos da madeira não possuem dados, são aquelas que foram consideradas como irrelevantes no fornecimento de informações sobre a eficiência dos referidos tratamentos, daí a razão de não realizá-las.

Verificando os resultados obtidos para a análise de solubilidade da madeira em água quente, observamos uma pequena diferença entre os resultados obtidos para a madeira tratada com água quente e a testemunha (madeira não tratada), porém nota-se uma desigualdade muito acentuada para o resultado da madeira tratada com NaOH. Para o primeiro tipo de tratamento de partículas, os resultados comprovam que as condições impostas, ou seja, imersão em água quente à 80°C por 1 hora, não foi suficientemente capaz de fazer uma remoção eficaz dos extrativos solúveis em tal condição, ou então, é possível que o processo de lavagem das partículas não desempenhou o seu papel.

TABELA 5 - RESULTADOS DAS ANÁLISES QUÍMICAS DA MADEIRA

VARIAÇÃO DO TRATAMENTO DA MADEIRA	SOLUBILIDADE EM				EXTRATIVOS TOTAIS* (%)	TEOR DE		
	ÁGUA QUENTE (%)	ÁGUA FRIA (%)	NaOH (%)	ÁLCOOL-BENZENO (%)		LIGNINA (%)	HOLOCELULOSE (%)	CINZAS (%)
MADEIRA SEM TRATAMENTO	2,6	1,73	10,93	1,54	2,89	19,49	76,95	0,67
PARTÍCULAS TRATADAS COM ÁGUA QUENTE (80°C) 1 h	2,36	1,50	-	-	-	-	-	-
PARTÍCULAS TRATADAS COM NaOH (1%) 24 hs	7,12	5,83	-	-	6,70	16,19	73,66	3,45

* Solubilidade em álcool + ácool-benzeno + água (quente e fria)

De acordo com informações do IPT (1981, p. 55-67), e de FENGEL & WEGENER (1989, p. 296-300), a madeira quando tratada com ácidos e bases sofre algumas reações comumente chamadas de reações de adição ou substituição. Com a celulose por exemplo, a razão disso é que as pontes de hidrogênio, entre as cadeias adjacentes de celulose, são separadas no decorrer do fenômeno conhecido como intumescimento, devido à introdução das moléculas do agente intumescedor (água ou agentes químicos). Em tal estrutura intumescida, um reagente químico pode penetrar e propargar-se livremente, chegando a formar derivados de

celulose relativamente homogêneos. Na formação de compostos de adição é necessária uma concentração mínima do agente intumescedor. Esta concentração depende do tipo de reagente, da temperatura em que a reação ocorre, e da estrutura física da celulose.

Assim como a celulose, as hemiceluloses também formam compostos de adição e substituição com seus grupos hidroxílas, podendo sofrer reações de oxidação e degradação. No entanto, apesar dessa semelhança existem algumas diferenças que são mais devidas à estrutura física do que à estrutura química, e são melhores caracterizadas como diferenças de acessibilidade. As hemiceluloses, ao contrário da celulose, são "in situ", amorfas, logo a maioria dos agentes químicos a atinge com muito mais facilidade do que a celulose, que possui regiões cristalinas (IPT, 1981).

MUSOKOTWANE (1982, p. 11) descreve trabalhos de alguns autores relacionando o efeito das hemiceluloses com o processo de cura dos painéis de madeira:cimento. Por exemplo, ele relata que CHRISTENSEN **et al.** constataram que as hemiceluloses de folhosas, têm um efeito inibidor pronunciado sobre a cura do cimento, enquanto que WEATHERWAX e DAVIS relatam que as hemicelulose hidrolizam rapidamente em ácido e álcalis diluidos formando monômeros de açucares e açucares ácidos livres, como ocorre segundo eles, em muitas folhosas, causando um efeito prejudicial na cura do cimento.

Se analisarmos o resultado das análises químicas (tabela 5), observaremos que as partículas que foram tratadas em meio básico (NaOH), geraram resultados que caracterizam a reação acima descrita. Os resultados obtidos para os ensaios de solubilidade da madeira em água (fria e quente) e extrativos totais, bem como de sais inorgânicos demonstratado pelo teor de cinzas, mostram um valor percentual superior ao da testemunha, caracterizando que tratamento com hidróxido de sódio gerou uma grande quantidade de substâncias solúveis nestas condições. Um outro fato que também ilustra neste estudo a teoria da reatividade dos

polissacarídeos com agentes químicos (NaOH), é que, se confrontarmos o percentual de holoceluloses da testemunha com o das partículas tratadas com NaOH, verificaremos que ocorreu uma redução nos valores médios após o tratamento. Isto pode estar demonstrando que houve uma degradação da holocelulose, principalmente das hemiceluloses, em função das condições observadas no tratamento, ou seja, imersão 24 hs em NaOH à 1%. Como poderemos observar nos resultados das análises das propriedades dos painéis, o tratamento de partículas com hidróxido de sódio, foi onde se obteve os resultados mais inexpressivos, ratificando as informações descritas por WEATHERWAX e DAVIS, citados por MUSOKOTWANE (1982, p. 11). MOSLEMI **et al.** (1983, p. 166-167), quando trataram Pinus com água quente e NaOH (1%), não obtiveram bons resultados de temperatura de hidratação do cimento comparados com a testemunha (partículas sem tratamento), os valores médios de temperatura foram inferiores, constatando que para este caso os tratamentos não foram eficientes.

4.3 PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS PAINÉIS

4.3.1 Módulo de elasticidade (MOE)

A tabela 6 sumariza os valores médios ajustados de módulo de elasticidade (MOE) obtidos para os 12 tratamentos, resultado da aplicação de três tratamentos de partículas, duas taxa de madeira:cimento e dois aditivos químicos. Os painéis manufaturados com partículas sem tratamento, com uma taxa de madeira:cimento 1:2.5 e aditivo químico cloreto de magnésio, foram os que apresentaram o maior valor médio de MOE, 44.005 kg/cm^2.

TABELA 6 - VALORES MÉDIOS DE MÓDULO DE ELASTICIDADE (MOE)

TRATAMENTO DE PARTÍCULAS	SEM TRATAMENTO		H_2O (80°C) 1h		NaOH (1%) 24hs		SEM TRATAMENTO		H_2O (80°C) 1h		NaOH (1%) 24hs	
PROPORÇÃO MADEIRA:CIMENTO	1:2,5						1:3,0					
ADITIVOS QUÍMICOS	$CaCl_2$	$Mgcl_2$	$CaCl_2$	$Mgcl_2$	$CaCl_2$	$Mgcl_2$	$CaCl_2$	$Mgcl_2$	$CaCl_2$	$Mgcl_2$	$CaCl_2$	$Mgcl_2$
MÓDULO DE ELASTICIDADE (kg/cm^2)	29.178	38.041	24.083	35.484	24.576	7.108	27.584	33.873	24.480	38.035	25.181	22.772
VALOR MÉDIO AJUSTADO PARA DENSIDADE (g/cm^3)	1,158											
MÉDIAS AJUSTADAS (kg/cm^2)	34.440	44.005	25.015	36.714	25.029	15.176	26.436	33.129	18.754	32.206	19.904	19.587
DESVIO PADRÃO PARA OS DADOS AJUSTADOS	3.931	6.479	4.452	11.770	6.432	3.879	4.133	5.457	3.307	8.504	7.651	5.961
Nº DE REPETIÇÕES	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
TRATAMENTOS	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	T_7	T_8	T_9	T_{10}	T_{11}	T_{12}

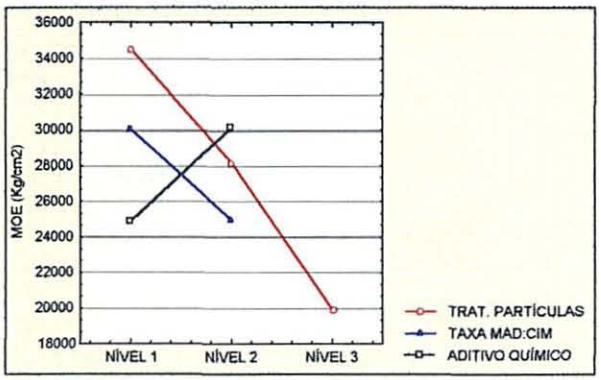
Observou-se uma redução nos valores de MOE quando se utilizou NaOH para tratar as partículas, o que pode ser explicado pelos resultados das análises químicas.

A análise fatorial de covariância para o MOE, apresentada na tabela 13 (anexo), mostrou que, os tratamentos das partículas (A), taxa de madeira:cimento (B), aditivos químicos (C), e as interações A-B e A-C, foram todas significativas a um nível de probabilidade de 95%, sendo que o fator tratamento de partículas foi o que mais afetou o MOE.

A figura 8 mostra a tendência dos três fatores individualmente. Para os três níveis de tratamento de partículas, observa-se uma redução no valor de MOE para o nível 3 (partículas tratadas com NaOH), 19.922 kg/cm^2, enquanto que os níveis 1 e 2 (partículas sem tratamento e tratadas com água quente), apresentaram valores médios maiores, sendo que todas as médias diferiram estatisticamente ao nível de 95% de probabilidade. Com relação ao efeito das proporções de madeira:cimento, verifica-se que o aumento da proporção de 1:2,5 para 1:3,0, implicou num decréscimo do MOE, resultado também descrito por SOUZA (1992, p. 52), e PASZNER LASZLO (s/d, p. 552). Há de se considerar que por exemplo, segundo MOSLEMI & PFISTER (1987, p. 170), altas taxas de madeira:cimento, acima de 1:3,0, produzem elevados valores de MOE. Na análise de efeito causado pelo aditivo químico, o cloreto de magnésio apresentou um melhor desempenho do que o cloreto de cálcio, com valores médios maiores.

O efeito das interações A-B e A-C , podem ser melhor observado através das figuras 9 e 10 respectivamente. Entre as interações, tratamentos de partículas e proporção de madeira:cimento (figura 9), verifica-se praticamente uma mesma tendência entre os três níves de tratamentos, ou seja, há uma redução nos valores médios de MOE quando se aumenta a quantidade de cimento em relação a madeira, apesar de que, somente o nível 1 (testemunha)

FIGURA 8 - TENDÊNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE MOE PARA OS FATORES PRINCIPAIS



apresentou diferença estatística entre suas médias. O maior valor médio (39.204 kg/cm^2) apresentado para esta interação, foi a combinação entre nível 1 (testemunha) do tratamento de partículas e o nível 1 (1:2,5) da taxa de madeira:cimento, onde este se diferencia estatisticamente das demais médias. Pôde-se ainda verificar, que o nível 2 (1:3,0) da taxa de madeira:cimento apresentou resultados estatisticamente iguais na presença dos tratamentos de partículas nível 1 e 2 (s/ tratamento e água quente), mas obtendo também o menor valor médio entre todos quando combinado com o NaOH.

Entre as interações, a A-C (figura 10), de acordo com análise fatorial de covariância (anexo - tabela 14), foi a que mais efeito causou no MOE, apresentando o maior valor de "F" calculado. O aditivo químico cloreto de magnésio ($MgCl_2$), respondeu melhor do que o cloreto de cálcio na presença de particulas não tratadas e tratadas com água quente, porém foi inferior na presença de hidróxido de sódio, apesar de que, somente neste nível de tratamento de partículas (N3), não ocorreu uma diferença siginificativa entre as médias dos dois aditivos. Os tratamentos de partículas níveis 1 e 2 (testemunha e água quente), combinados com o aditivo $MgCl_2$, resultaram em maiores médias de MOE e foram consideradas iguais estatisticamente ao nível de 95% de probabilidade. Esta igualdade pode ser atribuida ao resultado da análise quimica (tabela 5) acima mencionada, onde podemos verificar que não houve no tratamento das partículas com água quente uma efetiva extração dos compostos da madeira solúveis nesta condição.

Para o MOE a combinação entre os fatores B-C e A-B-C, não proporcionaram diferenças significativas entre suas médias.

FIGURA 9 - TENDÊNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE MOE PARA INTERAÇÃO ENTRE TRATAMENTO DE PARTÍCULAS E TAXA DE MADEIRA:CIMENTO

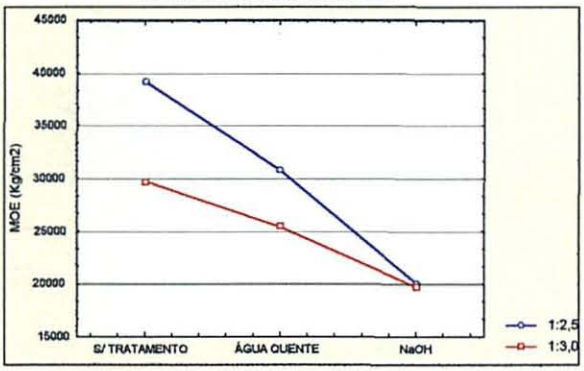
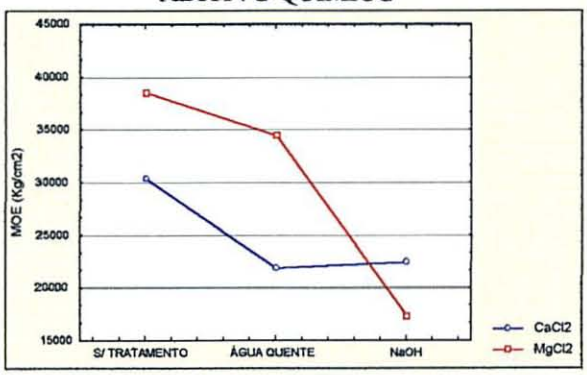


FIGURA 10 - TENDÊNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE MOE PARA INTERAÇÃO ENTRE TRATAMENTO DE PARTÍCULAS E ADITIVO QUÍMICO



4.3.2 Módulo de ruptura (MOR)

A tabela 7 apresenta os valores médios ajustados do módulo de ruptura (MOR) para os 12 tratamentos realizados neste estudo. Verifica-se que os maiores valores foram obtidos para as chapas manufaturadas com partículas que não sofreram tratamento, com uma taxa de madeira:cimento de 1:2,5 e com os dois aditivos químicos ($CaCl_2$ e $MgCl_2$). Semelhante ao que ocorreu para o MOE, aqui também observou-se uma redução no valores de MOR quando se utilizou NaOH para tratar as partículas.

A análise fatorial de covariância para o MOR, apresentada na tabela 14 (anexo), mostrou que, os fatores tratamentos das partículas (A), taxa de madeira:cimento (B), e as interações A-C e B-C, foram significativas a níveis de probabilidade de 95 e 99%, sendo que a

TABELA 7 - VALORES MÉDIOS DE MÓDULO DE RUPTURA (MOR)

TRATAMENTO DE PARTÍCULAS	SEM TRATAMENTO		H_2O (80°C) 1h		NaOH (1%) 24hs		SEM TRATAMENTO		H_2O (80°C) 1h		NaOH (1%) 24hs	
PROPORÇÃO MADEIRA:CIMENTO	1:2,5						1:3,0					
ADITIVOS QUÍMICOS	$CaCl_2$	$Mgcl_2$	$CaCl_2$	$Mgcl_2$	$CaCl_2$	$Mgcl_2$	$CaCl_2$	$Mgcl_2$	$CaCl_2$	$Mgcl_2$	$CaCl_2$	$Mgcl_2$
MÓDULO DE RUPTURA (kg/cm^2)	41,93	40,47	38,99	40,23	35,25	11,46	30,11	40,,05	33,39	48,94	28,,28	29,20
VALOR MÉDIO AJUSTADO PARA DENSIDADE (g/cm^3)	1,158											
MÉDIAS AJUSTADAS (kg/cm^2)	47,94	47,29	40,06	41,64	35,77	20,68	28,80	39,20	26,85	42,27	22,25	25,56
DESVIO PADRÃO PARA OS DADOS AJUSTADOS	8,17	4,91	5,98	8,77	9,81	3,82	4,18	5,95	10,68	11,11	7,64	5,15
Nº DE REPETIÇÕES	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
TRATAMENTOS	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	T_7	T_8	T_9	T_{10}	T_{11}	T_{12}

interação A-B apresentou significância apenas a 95%. O fator tratamento de partículas foi, semelhante ao que ocorreu com MOE, o que mais afetou o MOR. O fator aditivo químico e a interação A-B-C, não proporcionaram diferenças significativas entre os valores obtidos.

A tendência dos fatores analisados isoladamente podem ser observada através da figura 11. De uma maneira geral, verifica-se uma tendência muito semelhante ao ocorrido com o MOE, com pequena diferença. Analisando-se o efeito dos tratamentos de partículas, sobre o MOR, também o nível 1 (testemunha) foi o que apresentou melhor resultado. Neste caso, esta média não difere estatisticamente da média apresentada pelo nível 2 (água quente), mas ambas foram significativamente diferentes do nível 3 (NaOH), que apresentou valores inferiores, mostrando a ineficiência do tratamento com NaOH. Em relação a taxa de madeira:cimento, com a proporção 1:2,5 obteve-se uma média de 38,88 kg/cm^2 de MOR, diferenciando-se estatisticamente da média (30,83 kg/cm^2) da proporcão 1:3,0. Este resultado pode ser observado também nos dados da BISON (1978, p. 2), onde é descrito que aumentando a quantidade de madeira obtem-se altos valores de MOR. Conclusão semelhante foi encontrado por MOSLEMI & PFISTER (1987, p. 170), que obtiveram um decréscimo no MOR aumentando a taxa de madeira:cimento 1:2,0 para 1:3,0. Ao contrário disso, foi os resultados encontrados por MUSOKOTWANE (1982, p. 38), e por SOUZA (1992, p. 52). Os aditivos químicos não produziram efeitos diferenciados estatisticamente.

Observa-se na figura 12, que o maior valor, 47,60 kg/cm^2, de MOR, foi produzido pela combinação de uma taxa de madeira:cimento 1:2,5 e partículas sem tratamento. Para todos os níveis de tratamento de partículas, as médias da proporção 1:2,5 de madeira:cimento foram superiores que as de 1:3,0, demonstrando que também para o MOR, o aumento na quantidade de cimento não implicou num efeito pronunciado dos níveis 2 e 3 dos tratamentos de partículas. Observando-se a figura 13, têm-se que, a exemplo do MOE, o aditivo químico

cloreto de magnésio, respondeu melhor do que o cloreto de cálcio na presença de particulas não tratadas e tratadas com água quente, mas foi inferior na presença de hidróxido de sódio.

FIGURA 11 - TENDÊNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE MOR PARA OS FATORES PRINCIPAIS

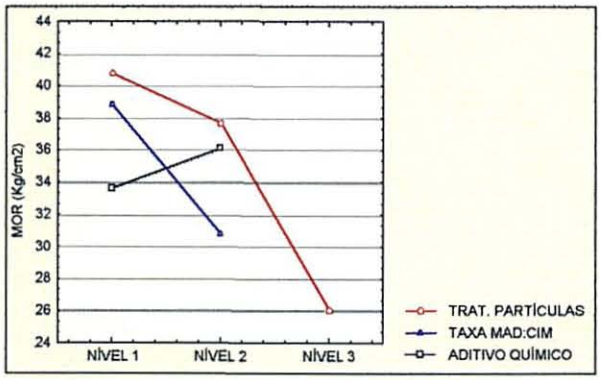
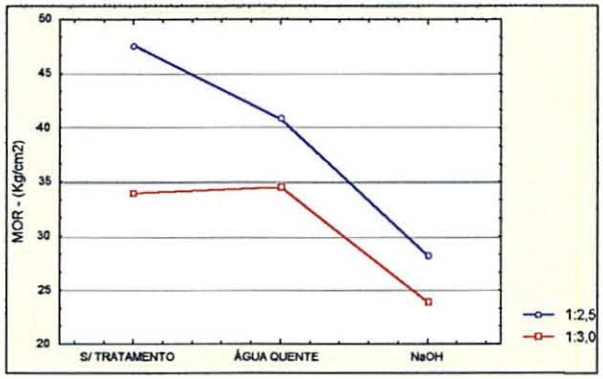


FIGURA 12 - TENDÊNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE MOR PARA INTERAÇÃO ENTRE TRATAMENTO DE PARTÍCULAS E TAXA DE MADEIRA:CIMENTO



A interação que causou um efeito mais evidenciado no MOR, de acordo com o valor de "F" calculado (anexo - tabela 15), foi a interação B-C. Pela figura 14, pode-se observar uma recuperação significativa do valor médio para a proporção 1:3,0 de madeira:cimento na presença do $MgCl_2$, sendo inclusive estatisticamente igual ao nível de 95% de probabilidade, à maior média que é oriunda da interação taxa de madeira:cimento 1:2,5 e o $CaCl_2$ como aditivo químico. Outro fato importante a ser observado, é que ao contrário do MOE, o cloreto de cálcio quando combinado com uma proporção de 1:2,5, superou em valor médio absoluto o cloreto de magnésio submetido à mesma situação.

FIGURA 13 - TENDÊNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE MOR PARA INTERAÇÃO ENTRE TRATAMENTO DE PARTÍCULAS E ADITIVO QUÍMICO.

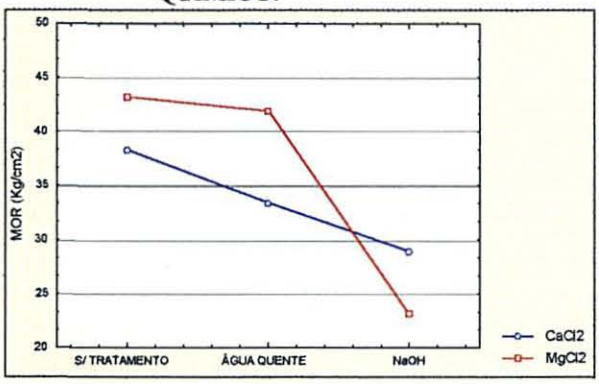
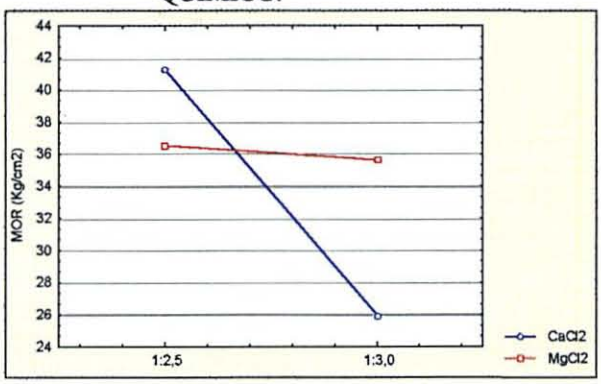


FIGURA 14 - TENDÊNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE MOR PARA INTERAÇÃO ENTRE TAXA DE MADEIRA:CIMENTO E ADITIVO QUÍMICO.



4.3.3 Compressão paralela (CP)

Os valores médios ajustados para compressão paralela à superfície (CP) dos 12 tratamentos, são apresentados na tabela 8. A combinação de partículas que não receberam tratamentos com taxa de madeira:cimento de 1:2,5, e aditivo químico cloreto de magnésio, foi a que melhor resultado apresentou, 53,86 kg/cm^2 de resistência. Os painéis cujas partículas foram tratadas com NaOH, a exemplo do ocorrido aos ensaios anteriores, proporcionaram baixos valores médios, comparados aos resultados de partículas sem tratamento e tratada com água quente.

Pelo resultado da análise fatorial de covariância, apresentado na tabela 15 (anexo), nota-se que, os três fatores, tratamento de partículas (A), taxa de madeira:cimento (B) e aditivo químico (C), foram significativos ao níveis de 95 e 99% de probabilidade, sendo que o fator tratamento de partículas foi o mais preponderante. As interações A-B e A-C, também apresentaram diferenças estatísticas entre suas médias, enquanto que o mesmo não foi observado para as interações B-C e A-B-C.

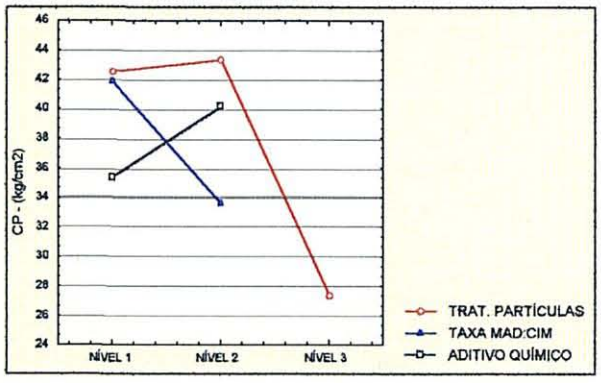
TABELA 8 - VALORES MÉDIOS DE COMPRESSÃO PARALELA (CP)

TRATAMENTO DE PARTÍCULAS	SEM TRATAMENTO		H_2O (80°C) 1h		NaOH (1%) 24hs		SEM TRATAMENTO		H_2O (80°C) 1h		NaOH (1%) 24hs	
PROPORÇÃO MADEIRA CIMENTO	1:2,5						1:3,0					
ADITIVOS QUÍMICOS	$CaCl_2$	$Mgcl_2$	$CaCl_2$	$Mgcl_2$	$CaCl_2$	$Mgcl_2$	$CaCl_2$	$Mgcl_2$	$CaCl_2$	$Mgcl_2$	$CaCl_2$	$Mgcl_2$
COMPRESSÃO PARALELA (kg/cm^2)	44,69	54,30	48,75	49,56	29,88	12,34	32,43	32,75	35,60	49,86	35,74	27,17
VALOR MÉDIO AJUSTADO PARA DENSIDADE (g/cm^3)	1,127											
MÉDIAS AJUSTADAS (kg/cm^2)	47,38	53,86	45,13	49,80	27,09	28,04	32,00	36,95	31,90	46,49	28,59	25,85
DESVIO PADRÃO PARA OS DADOS AJUSTADOS	11,09	6,79	14,23	10,14	5,79	5,49	6,48	7,46	7,72	7,77	8,21	8,64
Nº DE REPETIÇÕES	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
TRATAMENTOS	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	T_7	T_8	T_9	T_{10}	T_{11}	T_{12}

A tendência dos fatores analisados isoladamente podem ser observada na figura 15. Verifica-se que para os três níveis dos tratamentos de partículas, sobressai para a compressão paralela, uma média absoluta do nível 2 (água quente), superior aos demais níveis, ainda que não diferente estatisticamente do nível 1 (sem tratamento). Mesmo apresentando um maior valor, este resultado ainda não comprova a eficiência do método de imersão das partículas em água quente aplicados nas condições impostas (80^0C por 1 h), haja visto que não se observa até o momento uma freqüência dessa superioridade, e sim uma alternância nos resultados.

Sob o aspecto taxa de madeira:cimento, podemos observar uma relação inversa entre a resistência em CP e a proporção de madeira:cimento, ou seja, ocorreu um decréscimo da resistência com o aumento da taxa (figura 15). Alguns pesquisadores como PARKER (1947), ERICKSON (1975) e MUSOKOTWANE (1982), obtiveram melhores resultados quando utilizaram uma proporção maior de cimento em relação a madeira.

FIGURA 15 - TENCÊNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE COMPRESSÃO PARALELA PARA OS FATORES PRINCIPAIS



O resultado obtido neste estudo, pode possivelmente estar relacionado com a compatibilidade da espécie utilizada, na presença de uma menor ou maior quantidade de cimento, sendo que o ideal seria a realização de um teste de compatibilidade usando a temperatura de hidratação do cimento como parâmetro de avaliação. As médias obtidas pelos aditivos químicos foram consideradas estatisticamente diferentes ao nível de 95% de probabilidade, sendo que o cloreto de magnésio ($MgCl_2$) apresentou um valor médio superior (figura 15).

A associação dos tratamentos de partículas com a taxa de madeira:cimento (interação A-B), produziu médias diferenciadas para a CP (figura 16). Os melhores resultados foram obtidos pela proporção 1:2,5 na presença de partículas não tratadas e tratadas com água quente, não sendo inclusive diferentes significativamente ao nível de 95%. Ressalta-se ainda que através da primeira interação, é que se obteve o maior valor médio absoluto.

Pela figura 17, nota-se que a interação de partículas tratadas com NaOH com os dois níveis de aditivos químicos ($CaCl_2$ e $MgCl_2$), influenciaram negativamente os resultados da CP, o que demonstra que esta influência está relacionada com o tipo de tratamento de partículas neste caso empregado. As demais interações foram consideradas iguais estatisticamente ao nível de 95% de probabilidade.

FIGURA 16 - TENDÊNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE COMPRESSÃO PARALELA PARA INTERAÇÃO ENTRE TRATAMENTO DE PARTÍCULAS E TAXA DE MADEIRA:CIMENTO

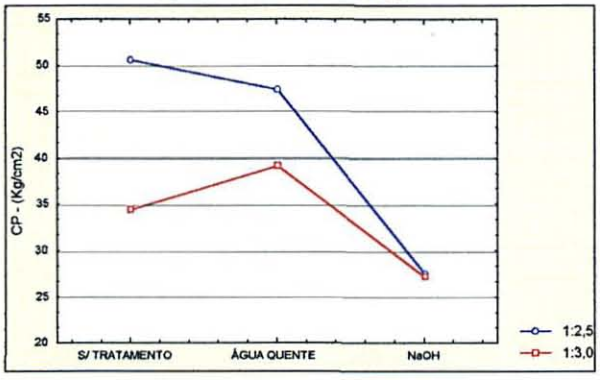
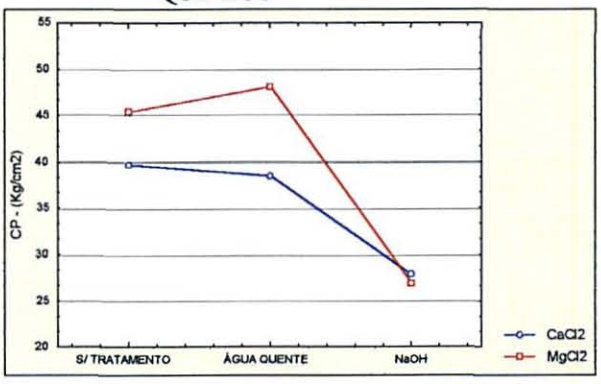


FIGURA 17 - TENDÊNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE COMPRESSÃO PARALELA PARA INTERAÇÃO ENTRE TRATAMENTO DE PARTÍCULAS E ADITIVO QUÍMICO



4.3.4 Ligação interna (LI)

A tabela 9 sumariza os valores médios ajustados para o teste de ligação interna (LI) para os 12 tratamentos. Os paineis manufaturados com as partículas não tratadas, com uma taxa de madeira:cimento 1:3,0 e o uso do aditivo químico cloreto de magnésio, foi a combinação que apresentou o maior valor médio de ligação interna, 1,31 kg/cm^2. Observou-se uma redução no valores de ligação interna quando se utilizou NaOH para tratar as partículas, quando combinado com a taxa de madeira:cimento 1:2,5 e não com a proporção 1:3,0, o que explica a alta influência da taxa de madeira:cimento para esta propriedade.

A análise fatorial de covariância para a ligação interna, apresentada na tabela 16 (anexo), mostrou que todos os fatores (A, B e C) diferenciaram-se significativamente ao nível de 95% de probabilidade, e o fator mais preponderante foi a variação da taxa de madeira:cimento. A única interação que apresentou diferenças significativas a 95% entre suas médias foi a interação A-C.

A figura 18 mostra o comportamento dos três fatores separadamente. As chapas com partículas tratadas com hidróxido de sódio (nível 3), apresentaram uma média inferior e diferente estatisticamente das demais, explicado pelos resultados da análise quimica. Para os outros níveis (testemunha e água quente), aplicando-se o teste de Tukey não resultou em diferenças estatísticas ao nível de 95% de probabilidade.

Com relação a variação da taxa de madeira:cimento, a exemplo dos resultados obtidos por MUSOKOTWANE (1982), a maior taxa gerou um aumento do valor médio da ligação interna (figura 18). Isto significa que o aumento do cimento em relação à madeira proporciona um acréscimo nos valores médios de ligação interna.

TABELA 9 - VALORES MÉDIOS DE LIGAÇÃO INTERNA (LI)

TRATAMENTO DE PARTÍCULAS	SEM TRATAMENTO		H_2O (80°C) 1h		NaOH (1%) 24hs		SEM TRATAMENTO		H_2O (80°C) 1h		NaOH (1%) 24hs	
PROPORÇÃO MADEIRA:CIMENTO	1:2,5						1:3,0					
ADITIVOS QUÍMICOS	$CaCl_2$	$Mgcl_2$	$CaCl_2$	$Mgcl_2$	$CaCl_2$	$Mgcl_2$	$CaCl_2$	$Mgcl_2$	$CaCl_2$	$Mgcl_2$	$CaCl_2$	$Mgcl_2$
LIGAÇÃO INTERNA (kg/cm^2)	0,75	0,81	0,66	0,85	0,47	0,23	0,96	1,29	0,86	1,25	0,92	0,88
VALOR MÉDIO AJUSTADO PARA DENSIDADE (g/cm^3)	1,136											
MÉDIAS AJUSTADAS (kg/cm^2)	0,74	0,80	0,65	0,77	0,48	0,37	0,97	1,31	0,83	1,22	0,91	0,89
DESVIO PADRÃO PARA OS DADOS AJUSTADOS	0,38	0,32	0,28	0,32	0,16	0,17	0,44	0,55	0,47	0,48	0,38	0,31
Nº DE REPETIÇÕES	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
TRATAMENTOS	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	T_7	T_8	T_9	T_{10}	T_{11}	T_{12}

Mantendo as tendências anteriores, o aditivo químico $MgCl_2$, demonstrou ser mais eficiente do que $CaCl_2$ também para ligação interna (figura 18).

Apesar de significativa ao nível de 95%, a interação A-C apresentou apenas duas diferenças estatísticas entre suas médias (figura 19). Somente a média da combinação das partículas não tratadas com o aditivo $MgCl_2$ foi diferente das médias apresentadas pela combinação entre partículas tratadas com NaOH e os dois aditivos químicos ($CaCl_2$ e $MgCl_2$). No geral todas as outras médias não diferiram estatisticamente à 95% de probabilidade.

FIGURA 18 - TENDÊNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE LIGAÇÃO INTERNA PARA OS FATORES PRINCIPAIS.

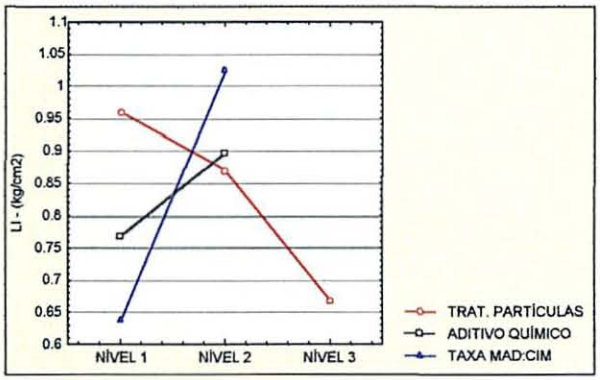
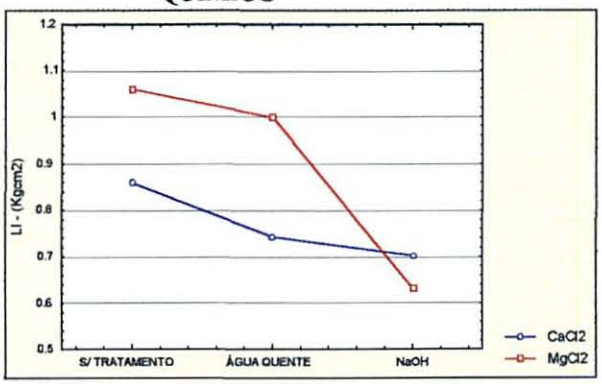


FIGURA 19 - TENDÊNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE LIGAÇÃO INTERNA INTERAÇÃO ENTRE TRATAMENTO DE PARTÍCULAS E ADITIVO QUÍMICO



4.4 ESTABILIDADE DIMENSIONAL

4.4.1 Inchamento em espessura (IE)

Esta análise foi realizada em dois estágios; após a imersão dos corpos de prova em água por 2 horas e após 24 horas. Na tabela 10 são apresentados os valores médios ajustados

TABELA 10 - VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA (IE)

TRATAMENTO DE PARTÍCULAS		SEM TRATAMENTO		H_2O (80°C) 1h		NaOH (1%) 24hs		SEM TRATAMENTO		H_2O (80°C) 1h		NaOH (1%) 24hs	
PROPORÇÃO MADEIRA:CIMENTO		1:2,5						1:3,0					
ADITIVOS QUÍMICOS		$CaCl_2$	$MgCl_2$	$CaCl_2$	$MgCl_2$	$CaCl_2$	$MgCl_2$	$CaCl_2$	$MgCl_2$	$CaCl_2$	$MgCl_2$	$CaCl_2$	$MgCl_2$
INCHAMENTO EM ESPESSURA (%)	2 hs	3,17	2,89	4,50	3,44	7,29	9,00	3,18	3,19	2,,58	2,64	2,90	4,64
	24 hs	4,27	3,78	5,90	3,99	8,34	10,38	4,20	4,26	3,74	4,22	4,20	5,89
VALOR MÉDIO AJUSTADO PARA DENSIDADE (g/cm^3)		1,138											
MÉDIAS AJUSTADAS (%)	2 hs	3,14	2,80	4,44	3,35	7,03	8,76	3,21	3,25	2,72	2,87	3,08	4,78
	24 hs	4,25	3,73	5,86	3,94	8,20	10,25	4,21	4,30	3,82	4,34	4,29	5,97
DESVIO PADRÃO PARA OS DADOS AJUSTADOS	2 hs	0,48	0,68	0,71	1,44	0,91	1,44	0,82	0,65	0,61	0,53	0,99	0,74
	24 hs	0,65	0,76	0,96	1,70	0,95	1,54	0,98	0,84	0,88	0,61	1,39	0,96
Nº DE REPETIÇÕES		10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
TRATAMENTOS		T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	T_7	T_8	T_9	T_{10}	T_{11}	T_{12}

para inchamento em espessura (IE) para os 12 tratamentos realizados neste estudo. Verifica-se que a variação em espessura após o período de 2 horas, foi menos pronunciada naqueles painéis em que as partículas foram tratadas com água quente, à uma taxa de madeira:cimento 1:3,0 e aditivo químico $CaCl_2$. Este mesmo tratamento (T_9) porém, não se repetiu após 24 hs de imersão em água. Para este período o melhor resultado foi obtido para as partículas que não sofreram tratamentos, à uma taxa de 1:2,5 e aditivo químico $MgCl_2$.

Semelhante ao que ocorreu nas propriedades mecânicas, os painéis em que as partículas foram tratadas com NaOH, apresentaram valores médios indesejáveis de IE, tanto após o período de 2 hs como também em 24 hs.

A análise fatorial de covariância para IE após 2 hs, apresentada na tabela 17 (anexo), mostrou que todos os fatores isoladamente (A, B e C) influenciaram significativamente os resultados ao nível de 95%, e que o fator mais preponderante foi a variação dos tratamentos de partículas. Observa-se também, que o fator aditivo químico (menor valor de "F" calculado), não apresentou diferença significativa entre suas médias ao nível de 99% de probabilidade. As interações que apresentaram diferenças significativas entre suas médias foi a A-B e A-C. Para IE após 24 hs, os resultados da análise fatorial de covariância (anexo - tabela 18), mostram uma tendência diferenciada, ou seja, o fator aditivo químico isoladamente não apresentou nenhum efeito pronunciado sobre esta propriedade física, e todas as possíveis interações, demonstraram ser estatisticamente significativas ao nível de 95%.

A diferença estatística apresentada entre as médias do fator tratamento de partículas após os dois períodos de imersão em água, pode ser melhor visualizada através das figuras 20 e 21. Observa-se para os dois casos, que o tratamento com NaOH foi o que mais contribuiu para tal diferença, influenciando negativamente sobre os resultados. Os níveis 1 e 2 (testemunha e água quente) apresentaram médias iguais estatisticamente ao nível de 95%.

O aumento da taxa de madeira:cimento influenciou positivamente os resultados apresentados para IE tanto após o tempo de 2 como 24 hs (figuras 20 e 21). Para ambos os casos, as médias dos níveis 1 e 2 (1:2,5 e 1:3,0) diferenciaram-se estatisticamente à 95% de probabilidade, o que significa que o aumento da proporção de cimento em relação a madeira implica em baixos valores de inchamento em espessura. Estes resultados coincidem com dados apresentados pela BISON (1978).

FIGURA 20 - TENDÊNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA (2hs) PARA OS FATORES PRINCIPAIS.

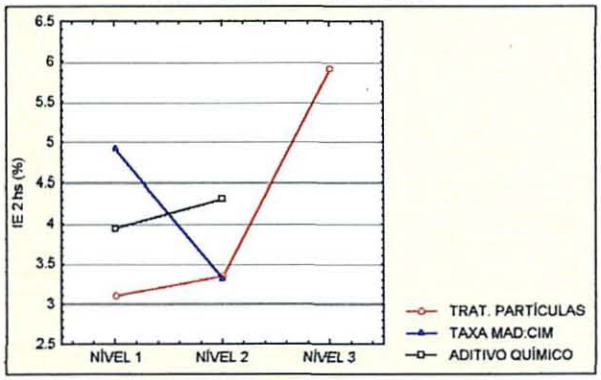
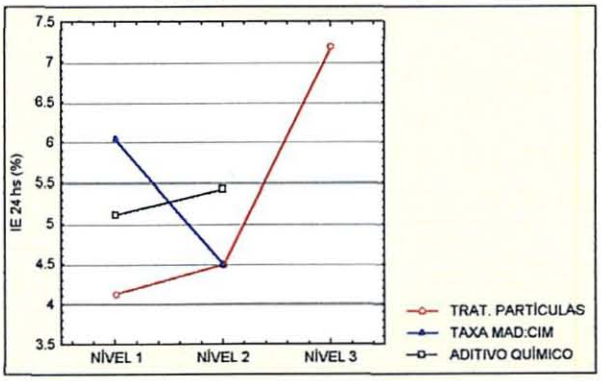


FIGURA 21 - TENDÊNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA (24hs) PARA OS FATORES PRINCIPAIS.



A influência dos aditivos químicos foi apenas pronunciada no IE após 2 hs, como pode ser visualizada pela figura 20. O $CaCl_2$ demonstrou ser o aditivo que menor resultado proporcionou em IE, o que originou desta forma uma diferença estatística entre os dois aditivos químicos. O $CaCl_2$ também apresentou uma menor média em IE após 24 hs (figura 21), apesar de não diferir estatisticamente ao nível de 95% de probabilidade da média apresentada pelo aditivo químico $MgCl_2$.

A interação A-B foi a que mais efeito causou sobre IE. Esta alta significância pode ser observada na figura 22, onde para o período de 2 hs, a combinação entre a taxa de 1:2,5 de

madeira:cimento com partículas tratadas com NaOH resultou em altos valores de IE, sendo inclusive diferente estatísticamente de todas as outras combinações. A interação que melhor resultado proporcionou para IE após 2 hs, foi a associação entre taxa de madeira:cimento de 1:3,0 e partículas tratadas com água quente. Estatisticamente este resultado foi considerado igual aos obtidos pela interação entre partículas não tratadas na presença dos dois níveis de taxa de madeira:cimento. Para IE após 24 hs (figura 23), na associação entre taxa de madeira:cimento 1:2,5 e partículas não tratadas obteve-se o menor valor médio relativo, que foi considerado igual estatisticamente ao nível de 95%, à as outras combinações, com excessão, como dito anteriormente, da média obtida pela interação entre a taxa de 1:2,5 de madeira:cimento com partículas tratadas com NaOH.

FIGURA 22 - TENDÊNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA (2hs) PARA INTERAÇÃO ENTRE TRATAMENTO DE PARTÍCULAS E TAXA DE MADEIRA:CIMENTO

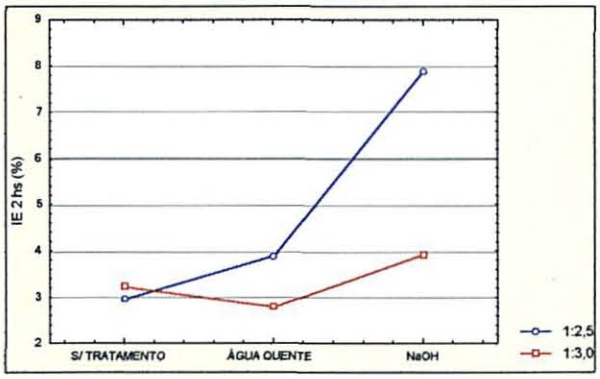
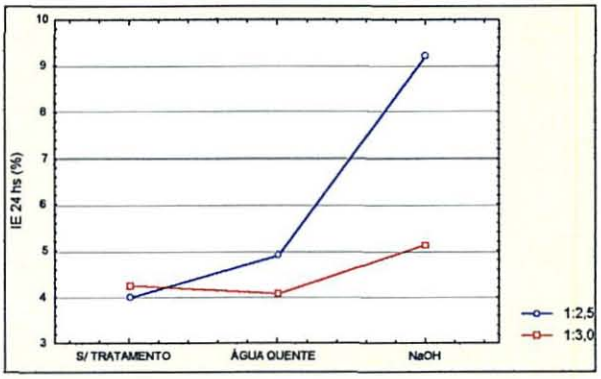


FIGURA 23 - TENDÊNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA (24hs) PARA INTERAÇÃO ENTRE TRATAMENTO DE PARTÍCULAS E TAXA DE MADEIRA:CIMENTO



Nas figuras 24 e 25, podemos observar a interação A-C para IE após 2 hs e 24 hs. As médias obtidas nesta interação foram consideradas diferentes significativamente, mostrada pela analise fatorial de covariância, principalmente porque a combinação entre partículas tratadas

com NaOH e os aditivos químicos $CaCl_2$ e $MgCl_2$, elevaram demasiadamente os valores médios de IE, originando painéis de alta instabilidade. Para ambos os casos (imersão 2 e 24 hs), o menor resultado encontrado para IE nesta interação, foi a associação entre as partículas que não sofreram tratamentos e o aditivo químico $MgCl_2$.

As combinações entre $CaCl_2$ e $MgCl_2$ com a taxa de madeira:cimento 1:2,5, fizeram com que a interação B-C (após 24hs) apresentasse diferenças estatísticas entre suas médias. Se observarmos a figura 26, veremos que estas interações influenciaram negativamente sobre o IE 24 hs, e que os melhores resultados ocorreram entre a taxa de madeira:cimento 1:3,0 combinada com os dois aditivos químicos ($CaCl_2$ e $MgCl_2$). Isto reforça a importância do fator taxa de madeira:cimento sobre os resultados em IE, haja visto, que uma menor proporção de madeira resulta em uma menor higroscopicidade do painél.

FIGURA 24 - TENDÊNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA (2hs) PARA INTERAÇÃO ENTRE TRATAMENTO DE PARTÍCULAS E ADITIVO QUÍMICO.

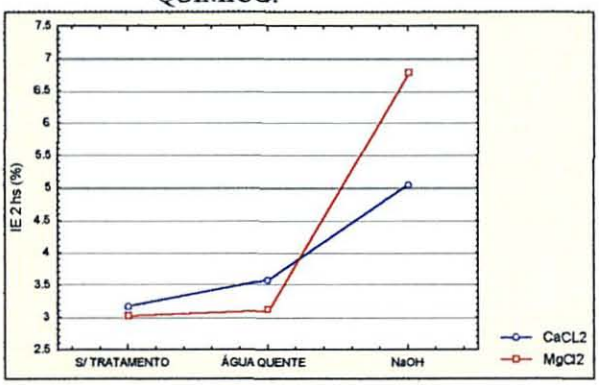
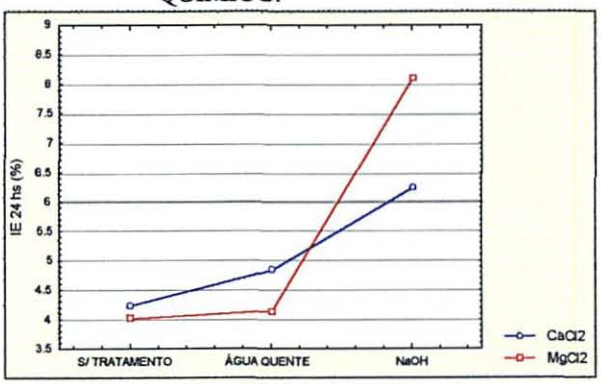


FIGURA 25 - TENDÊNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA (24hs) PARA INTERAÇÃO ENTRE TRATAMENTO DE PARTÍCULAS E ADITIVO QUÍMICO.



Pelo resultado da análise fatorial de covariância para IE 24 hs (tabela 18), observamos que a interação A-B-C foi considerada significativa ao nivel de 95% de probabilidade. Segundo

STEEL & TORRIE (1960, p. 207), uma interação tripla é mais dificil de se interpretar, sendo que ela pode ocorrer de três maneiras, ou seja: normalmente pela interação A-B com o fator C, da interação A-C com o fator B ou da interação B-C com o fator A. Se observamos a figura 27, veremos que um efeito mais pronunciado sobre IE 24 hs, origina-se da interação B-C (taxa de madeira:cimento e aditivo químico) com fator A (tratamento de partículas). Isto significa que o nível 1 da taxa de madeira:cimento (1:2,5) interagindo com os dois aditivos químicos ($CaCl_2$ e $MgCl_2$) mais o nível 3 dos tratamentos de partículas (NaOH), resultam em médias de IE que distoam demasiadamente das demais possíveis combinações, ou seja, estes fatores interagindo proporcionam altos valores de IE, influenciando negativamente os resultados.

FIGURA 26 - TENDÊNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA (24hs) PARA INTERAÇÃO ENTRE TAXA DE MADEIRA:CIMENTO E ADITIVO QUÍMICO.

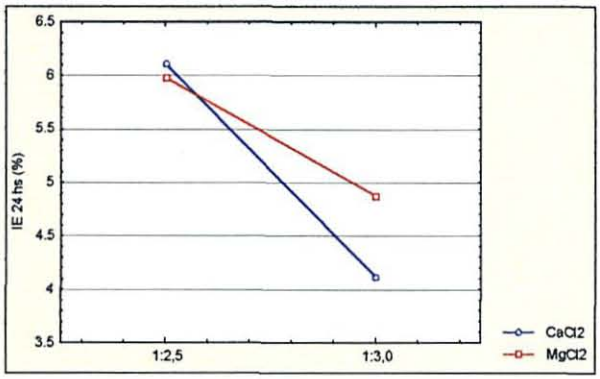
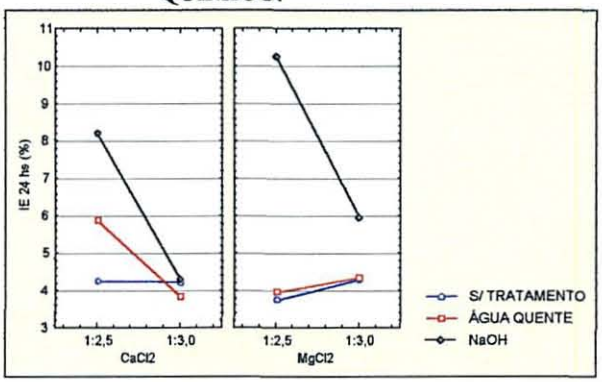


FIGURA 27 - TENDÊNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA (24hs) PARA INTERAÇÃO ENTRE TRATAMENTO DE PARTÍCULAS, TAXA DE MADEIRA:CIMENTO E ADITIVO QUÍMICO.



4.4.2 Absorção de água (AA)

A exemplo do ocorrido com inchamento em espessura, esta análise foi realizada também após a imersão dos corpos de prova em água por 2 e 24 horas. A tabela 11 apresenta as médias ajustadas para absorção de água (AA) para os 12 tratamentos realizados.

TABELA 11 - VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA (AA)

TRATAMENTO DE PARTÍCULAS		SEM TRATAMENTO		H_2O (80°C) 1h		NaOH (1%) 24hs		SEM TRATAMENTO		H_2O (80°C) 1h		NaOH (1%) 24hs	
PROPORÇÃO MADEIRA:CIMENTO		1:2,5						1:3,0					
ADITIVOS QUÍMICOS		$CaCl_2$	$Mgcl_2$	$CaCl_2$	$Mgcl_2$	$CaCl_2$	$Mgcl_2$	$CaCl_2$	$Mgcl_2$	$CaCl_2$	$Mgcl_2$	$CaCl_2$	$Mgcl_2$
ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)	2 hs	14,43	11,50	16,55	15,71	26,07	28,27	14,56	13,97	11,98	12,03	12,95	15,63
	24 hs	15,72	15,38	20,73	20,80	29,32	31,75	17,58	17,50	15,26	15,99	16,51	18,50
VALOR MÉDIO AJUSTADO PARA DENSIDADE (g/cm^3)		1,138											
MÉDIAS AJUSTADAS (%)	2 hs	13,98	10,26	15,58	14,37	22,39	24,85	14,99	14,89	14,02	15,25	15,48	17,60
	24 hs	15,29	14,20	19,80	19,52	25,81	28,48	17,99	18,38	17,21	19,06	18,92	20,39
DESVIO PADRÃO PARA OS DADOS AJUSTADOS	2 hs	0,80	2,42	0,82	1,66	1,13	1,98	1,52	1,07	1,07	1,00	1,54	1,25
	24 hs	0,73	1,66	0,81	1,26	1,02	2,24	1,44	1,00	0,91	0,80	1,53	1,08
Nº DE REPETIÇÕES		10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
TRATAMENTOS		T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	T_7	T_8	T_9	T_{10}	T_{11}	T_{12}

A absorção de água tanto após o período de imersão de 2 como 24 horas, foi menos pronunciada nos painéis que utilizaram partículas não tratadas, taxa de madeira:cimento de 1:2,5 e aditivo químico $MgCl_2$ (tratamento 2). Semelhantemente para os dois períodos (2 e 24 hs), o tratamento de partículas com NaOH, fez com que resultados indesejáveis fossem produzidos, causando valores mais elevados de AA quando comparados com os outros níveis de tratamento de partículas.

A análise fatorial de covariância para AA após 2 hs, apresentada na tabela 19, mostrou que os fatores A e B influenciaram significativamente sobre os resultados de AA ao nível de 95%, e que o fator mais preponderante voltou a ser a variação dos tratamento de partículas, resultado este também obtido para inchamento em espessura. Observa-se também, que o fator aditivo químico isoladamente não apresentou diferença significativa entre suas médias ao nível de 95% de probabilidade. Todas as possíveis interações apresentaram diferenças significativas entre suas médias, sendo que a interação A-B foi a mais expressiva sobre AA, de acordo com resultado do teste "F". Para o período de 24 hs, os resultados da análise fatorial de covariância (anexo - tabela 20), mostram que todos os fatores diferiram na AA, onde também o fator A (tratamento de partículas) apresentou um efeito mais significativo. Com excessão da interação B-C, todas as outras influiram significativamente nos resultados de AA, ao nível de 95% de probabilidade. Neste caso também a interação A-B foi a que melhor efeito proporcionou.

Todos os níveis de tratamento de partículas se diferenciaram estatisticamente ao nível de 95%, semelhantemente para AA após os períodos de imersão em água de 2 e 24 horas. Através das figuras 28 e 29, nota-se a ineficácia dos tratamentos de partículas impostos neste estudo, já que a testemunha (partículas não tratadas) foi a que causou valores médios relativos menos pronunciados em AA. Esta influência negativa, tanto para o tratamento com NaOH e água quente, como dito anteriormente, pode ser explicada através dos resultados obtidos pela

análise química da madeira. Como têm-se observado, estes resultados indesejáveis ocorrem em todas as propriedades estudadas.

Semelhante ao ocorrido com IE, caracteriza-se também aqui uma relação inversamente proporcional entre AA e taxa de madeira:cimento, ou seja, baixos valores relativos são obtidos a medida em que se aumenta a quantidade de cimento em relação à madeira. Esta tendência pode ser observada para AA após 2 e 24 horas através das figuras 28 e 29.

A influência dos aditivos químicos foi pronunciada apenas na AA após 24 hs, como pode ser visualizada pela figura 29. Nota-se que com o uso do aditivo $CaCl_2$, obteve-se um menor valor médio de AA, sendo considerado desta forma o mais apropriado.

FIGURA 28 - TENDÊNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA (2hs) PARA OS FATORES PRINCIPAIS.

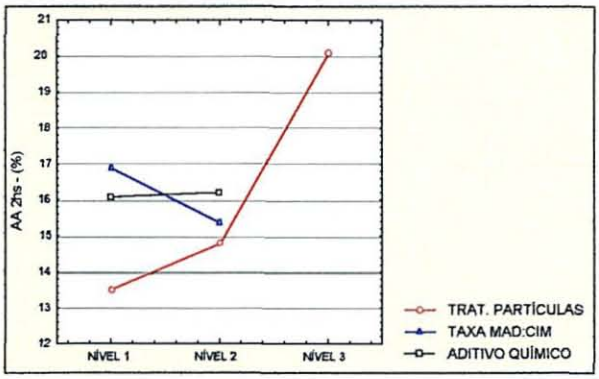
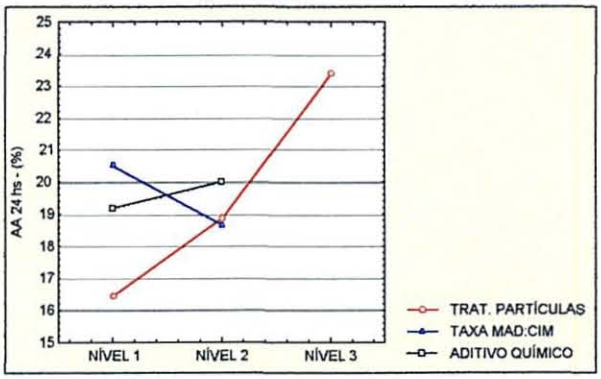


FIGURA 29 - TENDÊNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA (24hs) PARA OS FATORES PRINCIPAIS.



A interação A-B, a mais significativa, pode ser melhor visualizada através das figuras 30 e 31. Para AA após 2 e 24 hs, nota-se que, para ambos os casos, a combinação entre partículas não tratadas com taxa de madeira:cimento 1:2,5, resultou em menores médias de AA, sendo inclusive suas médias, diferentes significativamente ao nível de 95% de probabilidade, das médias de todas as outras possíveis combinações entre tratamento de

partículas e taxa de madeira:cimento, considerando os dois períodos de imersão separadamente. Observa-se ainda, que esta interação manteve o desempenho da taxa de 1:3,0 em uma região intermediária, visto que o melhor e o pior resultado da interação (A-B) foi desenvolvido pela proporção 1:2,5 combinado com o nível 1 e 3 dos tratamentos de partículas respectivamente. De uma maneira geral os painéis com interação em que as partículas foram tratadas com NaOH, apresentaram altos valores médios de AA.

FIGURA 30 - TENDÊNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA (2hs) PARA INTERAÇÃO ENTRE TRATAMENTO DE PARTÍCULAS E TAXA DE MADEIRA:CIMENTO

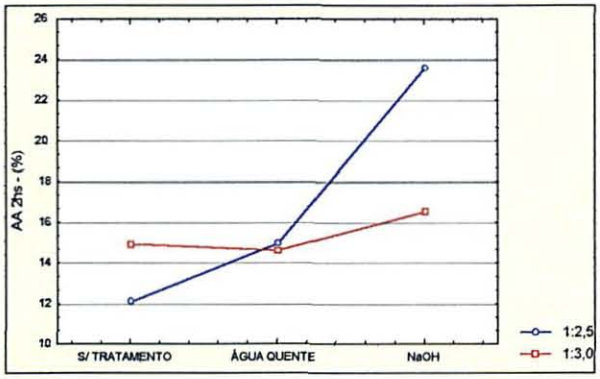
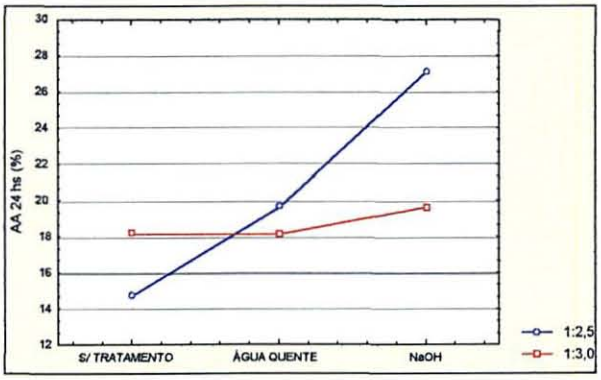


FIGURA 31 - TENDÊNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA (24hs) PARA INTERAÇÃO ENTRE TRATAMENTO DE PARTÍCULAS E TAXA DE MADEIRA:CIMENTO



Observa-se pelas figuras 32 e 33, que a interação A-C, obteve praticamente a mesma tendência para AA nos dois tempos de imersão (2 e 24 hs). O resultado significativo mostrado pela análise fatorial de covariância, deve-se principalmente ao efeito negativo desenvolvido pelas combinações entre os dois aditivos químicos e o tratamento de partículas com NaOH, sendo essas médias diferentes significativamente de todas as outras, considerando os dois períodos de tempo separadamente. Apesar de ser uma interação, este efeito negativo causado, estaria mais relacionado com o tratamento com NaOH, do que com o tipo de aditivo químico empregado.

FIGURA 32 - TENDÊNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA (2hs) PARA INTERAÇÃO ENTRE TRATAMENTO DE PARTÍCULAS E ADITIVO QUÍMICO

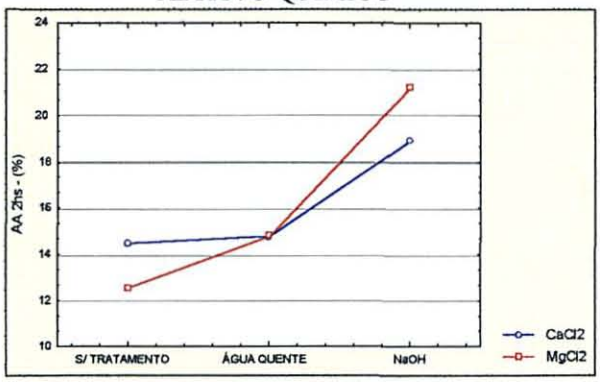
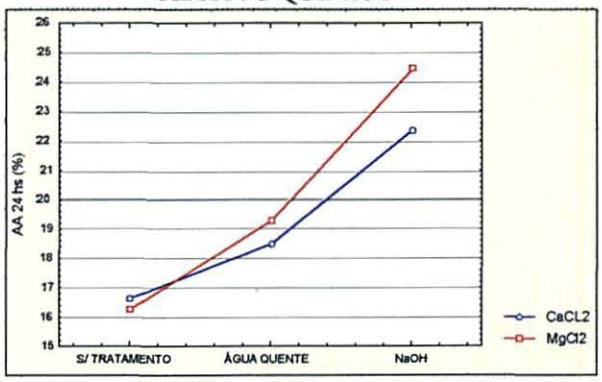
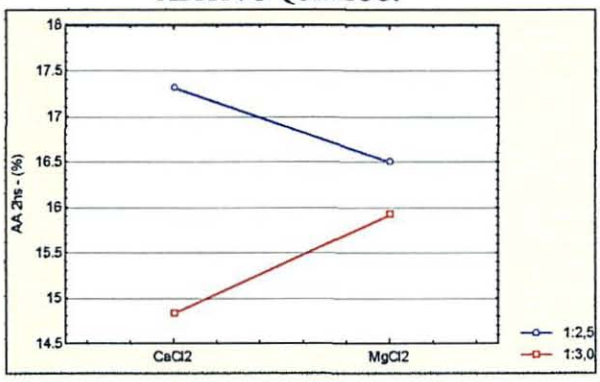


FIGURA 33 - TENDÊNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA (24hs) PARA INTERAÇÃO ENTRE TRATAMENTO DE PARTÍCULAS E ADITIVO QUÍMICO



A interação B-C, segundo análise fatorial de covariância (tabela 19), foi somente significativa para AA após o período de 2 horas. Através da figura 34, podemos observar que pequenas diferenças entre as médias para tal período ocorrem. A combinação que melhor resultado obteve foi para uma taxa de madeira:cimento de 1:3,0 com aditivo químico $CaCl_2$. Esta média foi considerada estatisticamente diferente ao nível de 95% de probabilidade de todas as outras possíveis. Isso mostra que mesmo interagindo com um outro fator a proporção 1:3,0 assume um caráter de muita importância para aquisição de bons resultados em AA.

FIGURA 34 - VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA (2hs) PARA INTERAÇÃO ENTRE TAXA DE MADEIRA:CIMENTO E ADITIVO QUÍMICO.



A interação A-B-C para AA em ambos os períodos de imersão (2 e 24 hs), apresentaram na análise fatorial de covariância um valor de "F" considerado significativo ao nível de 95% de probabilidade. Para ambos os casos se verifica uma mesma tendência dos dados. Se analisarmos as figuras 35 e 36,

veremos que a combinação entre a interação B-C (taxa de madeira:cimento1:2,5 e aditivos químicos $CaCl_2$ e $MgCl_2$) e o fator A nível 3 (tratamento de partículas com NaOH), resultou em médias que diferiu acentuadamente das demais combinações, isto fez com que essa interação indesejável causasse essa diferença significativa no teste "F".

FIGURA 35 - TENDÊNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA (2hs) PARA INTERAÇÃO ENTRE TRATAMENTO DE PARTÍCULAS, TAXA DE MADEIRA:CIMENTO E ADITIVO QUÍMICO.

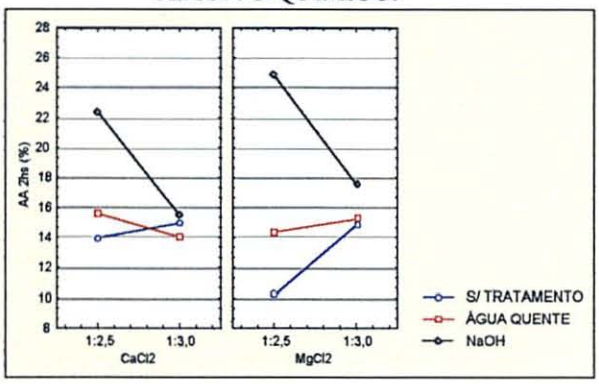
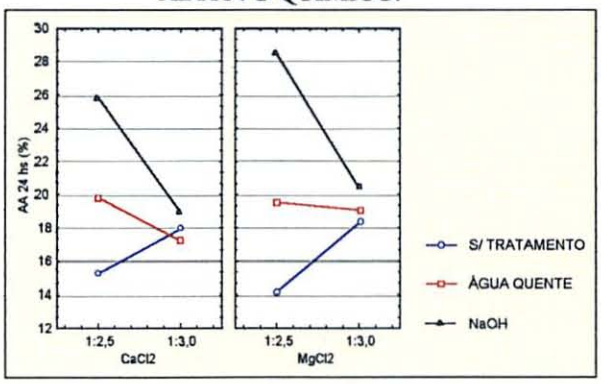


FIGURA 36 - TENDÊNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA (24hs) PARA INTERAÇÃO ENTRE TRATAMENTO DE PARTÍCULAS, TAXA DE MADEIRA:CIMENTO E ADITIVO QUÍMICO.



4.5 SUMARIZAÇÃO DOS RESULTADOS

Através da tabela 12 podemos observar a síntese dos resultados, onde os mesmos são apresentados em ordem decrescente, observados pelos valores de "F" obtidos na análise fatorial de covariância. Verifica-se que a influência dos fatores isoladamente (tratamento de partículas, taxa de madeira:cimento e aditivo químico) e de suas interações, apresentaram-se distintamente entre as variáveis para as propriedades mecânicas, enquanto que para as propriedades fisicas, os resultados foram semelhantes.

Observa-se que o tratamento de partículas foi o fator que maior efeito causou sobre as variáveis, com a excessão da ligação interna. Isto demonstra que dentre os fatores estudados, este foi o que mais interferiu nos resultados obtidos. Para ligação interna, a taxa de madeira:cimento influenciou diretamente nos resultados. Como se observou anteriormente, o aumento da proporção do cimento em relação a madeira, proporcionou um aumento dos valores médios de ligação interna.

TABELA 12 - SUMARIZAÇÃO DOS RESULTADOS

		PROPRIEDADES MECÂNICAS			
		MÓDULO DE ELASTICIDADE	**MÓDULO DE RUPTURA**	**COMPRESSÃO PARALELA**	**LIGAÇÃO INTERNA**
FATORES	1º	Tratamento de Partículas (A)	Tratamento de Partículas (A)	Tratamento de Partículas (A)	Taxa Madeira:Cimento (B)
	2º	Aditivo Químico (C)	Taxa Madeira:Cimento (B)	Taxa Madeira:Cimento (B)	Tratamento de Partículas (A)
	3º	Taxa Madeira:Cimento (B)	Aditivo Químico (C)	Aditivo Químico (C)	Aditivo Químico (C)
INTERAÇÕES	1º	A-C	B-C	A-B	A-C
	2º	A-B	A-C	A-C	B-C
	3º	A-B-C	A-B	A-B-C	A-B
	4º	B-C	A-B-C	B-C	A-B-C
		PROPRIEDADES FÍSICAS			
		INCHAMENTO EM ESPESSURA (2 hs)	**INCHAMENTO EM ESPESSURA (24 hs)**	**ABSORÇÃO DE ÁGUA (2 hs)**	**ABSORÇÃO DE ÁGUA (24 hs)**
FATORES	1º	Tratamento de Partículas (A)	Tratamento de Partículas (A)	Tratamento de Partículas (A)	Tratamento de Partículas (A)
	2º	Taxa Madeira:Cimento (B)	Taxa Madeira:Cimento (B)	Taxa Madeira:Cimento (B)	Taxa Madeira:Cimento (B)
	3º	Aditivo Químico (C)	Aditivo Químico (C)	Aditivo Químico (C)	Aditivo Químico (C)
INTERAÇÕES	1º	A-B	A-B	A-B	A-B
	2º	A-C	A-C	A-C	A-C
	3º	B-C	B-C	B-C	A-B-C
	4º	A-B-C	A-B-C	A-B-C	B-C

Nota-se também que o fator aditivo químico (C) isoladamente pouco influenciou nos resultados, igualmente ocorrendo com a interação B-C (taxa de madeira:cimento e aditivo químico) e a interação A-B-C (tratamento de partículas, taxa de madeira:cimento e aditivo químico).

5 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos neste trabalho, pode-se concluir que:

- Através da análise fatorial de covariância, observa-se que para todas as propriedades físicas e mecânicas estudadas, com excessão da ligação interna, o fator tratamento de partículas isoladamente foi aquele que mais influenciou nos resultados obtidos;
- A ligação interna, é influenciada diretamente pela variação da taxa de madeira:cimento. Aumentando-se a proporção de cimento em relação a madeira, obtém-se melhores resultados em ligação interna;
- A variação na taxa de madeira:cimento de 1:2,5 para 1:3,0, não implicou necessariamente num aumento de módulo de elasticidade, módulo de ruptura e compressão paralela, o que pode ser considerado uma vantagem, sob o ponto de vista econômico;
- O aditivo químico $MgCl_2$, com um custo cerca de 40% menor que $CaCl_2$, apresentou de uma maneira geral melhores resultados em praticamente todas as propriedades;
- A interação que maior influência causou sobre o módulo de ruptura foi a interação dos fatores taxa de madeira:cimento e aditivo químico. O $MgCl_2$ manteve-se constantemente melhor para esta propriedade, sendo que, o melhor resultado foi na presença da taxa 1:2,5. A interação que menos efeito causou sobre o módulo de ruptura foi a interação tripla (A-B-C);
- A interação entre os fatores tratamento de partículas e aditivo químico, foi aquela que influenciou mais significativamente sobre o módulo de elasticidade e a ligação interna. O $MgCl_2$ e partículas que não sofreram tratamentos foi a combinação que resultou maior valor médio para o MOE. Esta propriedade foi menos influenciada pela interação taxa de

madeira:cimento e aditivo químico., enquanto que a ligação interna foi menos influenciada pela interação tripla (A-B-C);

- O fator tratamento de partículas associado com o fator taxa de madeira:cimento, proporcionou o efeito mais evidenciado sobre a compressão paralela. Para esta combinação a propriedade obteve as melhores médias em resistência quando se utilizou uma taxa de madeira:cimento 1:2,5 na presença de partículas não tratadas e tratadas com água quente;

- A maior influência das interações sobre as propriedades dimensionais, foi exercida pela combinação entre tratamento de partículas e taxa de madeira:cimento;

- Os aditivos químicos exerceram baixa influência sobre as propriedades dimensionais, tanto isoladamente, quanto interagindo com outro fator;

- Os tratamentos de partículas da espécie *Eucalyptus dunnii*, com água quente e mais expressivamente com hidróxido de sódio nas condições aplicadas neste estudo, mostraram-se inadequados, visto que proporcionaram resultados inferiores aos apresentados pela testemunha (partículas sem tratamento) basicamente em todas as propriedades. A análise química revelou que estes tratamentos não foram considerados eficazes para a retirada principalmente dos extrativos da madeira;

- Cinco dos doze tratamentos (T_1, T_2, T_4, T_8, T_{10}) realizados neste estudo, atendem a exigências mínimas do processo BISON para a propriedade de módulo de elasticidade de painéis comerciais.

- Em síntese, pode-se considerar que a espécie *Eucalyptus dunnii* possuí potencial para o uso em chapas minerais. Apesar dos valores obtidos não terem sido muito expressivos, a de se considerar que, como observado em todas as propriedades, os tratamentos de partículas contribuíram negativamente nos resultados. Por ser ele um fator amplamente mencionado na

literatura, é plenamente esperado que, com o emprego de tratamentos mais eficazes, melhores painéis sejam produzidos, e consequentemente bons resultados deverão ser alcançados.

RECOMENDAÇÕES

Mediante um resumo geral dos resultados obtidos, observa-se que os tratamentos aplicados nas partículas teve um efeito pronunciado sobre os resultados de todas as propriedades. Desta forma recomenda-se para futuras pesquisas, uma atenção especial no método a ser utilizado. Em relação aos empregados neste estudo, períodos maiores que 1 hora, para imersão em água quente (80^0C), podem ser pesquisados, afim de se avaliar qual a amplitude ideal de tempo necessário para realizar sua principal função, que é retirar extrativos. Métodos para a lavagem dessas partículas após sofrerem tratamentos, devem também serem observados com cuidado, haja visto, que existe a necessidade em se extrair os extrativos que ficam localizados nas superfícies das partículas.

O tratamento com NaOH, deve ser estudado de duas maneiras possíveis, são elas: utilizar uma concentração inferior a 1%, variando essa concentração, bem como o período de tempo de imersão das partículas; utilizar uma concentração de 1% por 24 hs, porém seguida de um tratamento com água fria ou quente, procurando-se determinar o tempo necessário de imersão para estes dois últimos tratamentos. Deve-se ressaltar que uma completa análise química deve monitorar todos os resultados encontrados para qualquer tipo de tratamento de partículas a ser estudado.

A utilização do teste de compatibilidade entre a madeira e o cimento, utilizando a temperatura de hidratação do cimento como parâmetro de comparação, seja talvez o teste ideal na qual deva preceder a fase de manufatura das chapas. Este teste é importante porque o tipo de tratamento de partículas e o aditivo químico a ser utilizado, pode ser previamente definido, sem antes ter que fazer os painéis. Desta forma deve-se fazer o uso da investigação, na fase em

que a avaliação é feita através das propriedades das chapas, de outros importantes fatores, como variação da taxa de madeira:cimento, densidade do painel, tempo ideal de maturação das chapas, variação na umidade e geometria das partículas, entre outros.

ANEXO

TABELAS DAS ANÁLISES ESTATÍSTICAS

- ANÁLISE FATORIAL DE COVARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL MÓDULO DE ELASTICIDADE (MOE)....84
- ANÁLISE FATORIAL DE COVARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL MÓDULO DE RUPTURA (MOR)....85
- ANÁLISE FATORIAL DE COVARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL COMPRESSÃO PARALELA....86
- ANÁLISE FATORIAL DE COVARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL LIGAÇÃO INTERNA....87
- ANÁLISE FATORIAL DE COVARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 2 hs....88
- ANÁLISE FATORIAL DE COVARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 24 hs....89
- ANÁLISE FATORIAL DE COVARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL ABSORÇÃO DE ÁGUA APÓS 2 hs....90
- ANÁLISE FATORIAL DE COVARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL ABSORÇÃO DE ÁGUA APÓS 24 hs....91

TABELA 13 - ANÁLISE FATORIAL DE COVARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL MÓDULO DE ELASTICIDADE (MOE)

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	GRAUS DE LIBERDADE	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
COVARIAVEL:					
DENSIDADE	1,3630E0009	1	1,3630E0009	32,594*	0;0000
TRATAMENTOS:					
A - TRATAMENTO DE PARTÍCULAS	4,0846E0009	2	2,0423E0009	48,837**	0,0000
B - TAXA DE MADEIRA:CIMENTO	3,5132E0008	1	3,5132E0008	8,401**	0,0046
C - ADITIVO QUÍMICO	7,5622E0008	1	7,5622E0008	18,083**	0,0000
INTERAÇÕES:					
A-B	4,0777E0008	2	2,0389E0008	4,875**	0,0094
A-C	1,5391E0009	2	7,,6955E0008	18,402**	0,0000
B-C	5,8208E0007	1	5,8208E0007	1,392	0,2407
A-B-C	1,9228E0008	2	9,6138E0007	2,299	0,1053
ERRO	4,4746E0009	107	41818560,00		
TOTAL	1,3859E0010	119			

* SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE

** SIGNIFICATIVO AOS NÍVEIS DE 99 E 95% DE PROBABILIDADE

TABELA 14 - ANÁLISE FATORIAL DE COVARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL MÓDULO DE RUPTURA (MOR)

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	GRAUS DE LIBERDADE	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
COVARIAVEL:					
DENSIDADE	1781,8931	1	1781,8931	30,655**	0.0000
TRATAMENTOS:					
A - TRATAMENTO DE PARTÍCULAS	4788,5600	2	2394,2800	41,190**	0.0000
B - TAXA DE MADEIRA:CIMENTO	897,1970	1	897,1970	15,435**	0.0002
C - ADITIVO QUÍMICO	173,6673	1	173,6673	2,988	0.0868
INTERAÇÕES:					
A-B	474,4554	2	237,2277	4,081*	0.0196
A-C	1022,1946	2	511,0973	8,793**	0.0003
B-C	1529,3786	1	1529,3786	26,311**	0.0000
A-B-C	67,3270	2	33,6635	0,579	0.5621
ERRO	6219,6717	107	58,127773		
TOTAL	18001,8950	119			

* SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE
** SIGNIFICATIVO AOS NÍVEIS DE 99 E 95% DE PROBABILIDADE

TABELA 15 - ANÁLISE FATORIAL DE COVARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL COMPRESSÃO PARALELA

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	GRAUS DE LIBERDADE	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
COVARIAVEL:					
DENSIDADE	7649,5109	1	7649,5109	101,512**	0,0000
TRATAMENTOS:					
A - TRATAMENTO DE PARTÍCULAS	9532,2269	2	4766,1134	63,248**	0,0000
B - TAXA DE MADEIRA:CIMENTO	2810,9774	1	2810,9774	37,303**	0,0000
C - ADITIVO QUÍMICO	909,7355	1	909,7355	12,073**	0,0007
INTERAÇÕES:					
A-B	1659,9705	2	829,98527	11,014**	0,0000
A-C	759,9157	2	379,95787	5,042**	0,0075
B-C	27,4006	1	27,40062	0,364	0,5538
A-B-C	400,7929	2	200,39646	2,659	0,0730
ERRO	12584,4100	167	75,355747		
TOTAL	44402,6580	179			

* SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE
** SIGNIFICATIVO AOS NÍVEIS DE 99 E 95% DE PROBABILIDADE

TABELA 16 - ANÁLISE FATORIAL DE COVARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL LIGAÇÃO INTERNA

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	GRAUS DE LIBERDADE	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
COVARIAVEL:					
DENSIDADE	2,4735965	1	2,4735965	17,300**	0,0001
TRATAMENTOS:					
A - TRATAMENTO DE PARTÍCULAS	2,6289691	2	1,3144845	9,193**	0,0002
B - TAXA DE MADEIRA:CIMENTO	6,6968950	1	6,6968950	46,836**	0,0000
C - ADITIVO QUÍMICO	0,7417547	1	0,7417547	5,188*	0,0240
INTERAÇÕES:					
A-B	0,1920877	2	0,0960439	0,672	0,5122
A-C	0,8822000	2	0,4411000	3,085*	0,0483
B-C	0,5026857	1	0,5026857	3,516	0,0625
A-B-C	0,0905605	2	0,0452802	0,317	0,7290
ERRO	23,878676	167	0,1429861		
TOTAL	40,548854	179			

* SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE
** SIGNIFICATIVO AOS NÍVEIS DE 99 E 95% DE PROBABILIDADE

TABELA 17 - ANÁLISE FATORIAL DE COVARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 2 hs

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	GRAUS DE LIBERDADE	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
COVARIAVEL:					
DENSIDADE	1,4213905	1	1,4213905	1,771	0,1861
TRATAMENTOS:					
A - TRATAMENTO DE PARTÍCULAS	180,91482	2	90,457408	112,695**	0,0000
B - TAXA DE MADEIRA:CIMENTO	31,89918	1	31,899182	39,741**	0,0000
C - ADITIVO QUÍMICO	3,99246	1	3,992459	4,974*	0,0278
INTERAÇÕES:					
A-B	72,198081	2	36,099040	44,973**	0,0000
A-C	27,629918	2	13,814959	17,211**	0,0000
B-C	2,066054	1	2,066054	2,574	0,1116
A-B-C	2,047739	2	1,023869	1,276	0,2835
ERRO	85,886158	107	0,8026744		
TOTAL	536 69673	119			

* SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE
** SIGNIFICATIVO AOS NÍVEIS DE 99 E 95% DE PROBABILIDADE

TABELA 18 - ANÁLISE FATORIAL DE COVARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 24 hs

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	GRAUS DE LIBERDADE	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
COVARIAVEL:					
DENSIDADE	0,4091238	1	0,4091238	0,352	0,5607
TRATAMENTOS:					
A - TRATAMENTO DE PARTÍCULAS	207,84659	2	103,92239	89,368**	0,0000
B - TAXA DE MADEIRA:CIMENTO	29,91544	1	29,91544	25,725**	0,0000
C - ADITIVO QUÍMICO	2,98391	1	2,98391	2,566	0,1121
INTERAÇÕES:					
A-B	80,515776	2	40,257888	34,619**	0,0000
A-C	36,939250	2	18,469625	15,883**	0,0000
B-C	5,890736	1	5,890736	5,066*	0,0264
A-B-C	10,075121	2	5,037560	4,332*	0,0155
ERRO	124,42752	107	1,1628741		
TOTAL	603,42277	119			

* SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE
** SIGNIFICATIVO AOS NÍVEIS DE 99 E 95% DE PROBABILIDADE

TABELA 19 - ANÁLISE FATORIAL DE COVARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL ABSORÇÃO DE ÁGUA APÓS 2 hs

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	GRAUS DE LIBERDADE	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
COVARIAVEL:					
DENSIDADE	291,72026	1	291,72026	139,523**	0,0000
TRATAMENTOS:					
A - TRATAMENTO DE PARTÍCULAS	912,41887	2	456,20943	218,195**	0,0000
B - TAXA DE MADEIRA:CIMENTO	28.98643	1	28,98643	13,864**	0,0003
C - ADITIVO QUÍMICO	0,50801	1	0,50801	0,243	0,6283
INTERAÇÕES:					
A-B	395,06233	2	197,53116	94,475**	0,0000
A-C	88,51928	2	44,25964	21,168**	0,0000
B-C	26,80294	1	26,80294	12,819**	0,0005
A-B-C	20,31118	2	10,15559	4,857**	0,0096
ERRO	223,71925	107	2,0908341		
TOTAL	3739,7266	119			

* SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE
** SIGNIFICATIVO AOS NÍVEIS DE 99 E 95% DE PROBABILIDADE

TABELA 20 - ANÁLISE FATORIAL DE COVARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL ABSORÇÃO DE ÁGUA APÓS 24 hs

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	GRAUS DE LIBERDADE	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
COVARIAVEL:					
DENSIDADE	265,06940	1	265,06940	159,199**	0,0000
TRATAMENTOS:					
A - TRATAMENTO DE PARTÍCULAS	955,35874	2	477,67937	286,891**	0,0000
B - TAXA DE MADEIRA:CIMENTO	42,86852	1	42,86852	25,747**	0,0000
C - ADITIVO QUÍMICO	20,83010	1	20,83010	12,510**	0,0006
INTERAÇÕES:					
A-B	456,19317	2	228,09659	136,993**	0,0000
A-C	29,46470	2	14,73235	8,848**	0,0003
B-C	4,75941	1	4,75941	2,858	0,0938
A-B-C	15,40590	2	7,70295	4,626*	0,0118
ERRO	178,15700	107	1,6650187		
TOTAL	3729,5967	119			

* SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE
** SIGNIFICATIVO AOS NÍVEIS DE 99 E 95% DE PROBABILIDADE

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1 AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL. **Standard methods of evaluating the properties of wood-base fiber and particle panel materials**. In: Annual Book of ASTM Standard, ASTM D 1037-78B. Philadelphia, 1982.

2 AUER, C. G.; FERRARI, M. P.; TOMAZELLO FILHO, M. **et al.** Estrutura anatômica e composição química de cavacos de madeira de eucalipto inoculados com o fungo *Thermoascus aurantiacus*. **IPEF**, Piracicaba, ISSN 0100-4557, p. 45-50, dez. 1987.

3 BIBLIS, E. J. & LO, C. F. Sugars and other wood extratives: effect on the setting of Southern pine-cement mixtures. **Forest Products Journal**. v. 18, n. 8, p. 28-34, 1968.

4 BISON WOOD-CEMENT BOARD. **Bison - Report**. 1978. 10 p.

5 BORTOLETTO JR., Geraldo. **Indicações para a utilização da madeira de seis espécies e variedades de pinus na construção civil**. São Carlos, 1993. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

6 BRUNAUER, Stephen; COPELAND, L. E. The chemical reactions that occur when water is added to portland cement in the mixing of concrete continue for months. **The Chemistry of Concrete**. **[S.I.]**, p. 81-90, s.d.

7 CHITTENDEN, A. E. Wood and cement: past and future. In: SEVENTH WORLD FORESTRY CONGRESS. **Anais**. Buenos Aires: 1972. p. 6128-6132.

8 CHITTENDEN, A. E. ; HAWKES A. J. ; HAMILTON, H. R. **Wood cement Systems**. Food and Agriculture Organization of the United Nations. New Delhi, 1975, 20p.

9 COMISSIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. **Método de determinación del peso específico aparente**. COPANT 461. Buenos Aires, 1972.

10 DAVIS, T. C. Effect of blue stain on setting of excelsior-cement mixtures. **Forest Products Journal**. **[S.I.]**, v. 16, n. 6, p. 49-50, jun. 1966.

11 FAO. **El eucalipto en la repoblación forestal**. Roma, FAO, 1981. 723 p.

12 FENGEL, Dietrich; WEGENER, Gerd. **Wood: Chemistry, ultrastructure, reaction**. New York: Walter de Gruyter, 1989

13 HUFFAKER, E. M. Use of Mill Residues in Wood-Fiber Concrete. **Forest Products Journal**. v. 12, n. 7, p. 298-301, 1962.

14 IPT. **Celulose e papel**: Tecnologia de fabricação da pasta celulósica. 2. ed. São Paulo, IPT, 1981. 559 p.

15 KEINERT JR., Sidon. **Laboratory evaluation of *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus robusta* for the manufacture of composition board**. Michigan, 1980. Dissertação (Doctor of Philophy) - Department of Forestry, Michigan State University.

16 LEE, A. W. C. Physical and mechanical properties of cement bonded southern pine excelsior board. **Forest Products Journal**. v. 34, n. 4, p. 30-34, 1984.

17 MARRA, A. A. **Technology of Wood Bonding: Principles in Practice**. New York: Van Nostrand Reinhold., 1992.

18 MOSLEMI, A. A. ; AHN, W. Y. SEM Examination of Wood-Portland Cement Bonds. **Wood Science**. v. 13, n. 2, p. 77-82, 1980.

19 MOSLEMI, A. A. ; GARCIA, J. F. ; HOFSTRAND, A. D. Effect of various treatments and additives on wood-portland cement-water systems. **Wood and Fiber Science.** v. 15, n. 2, p. 164 -176, 1983.

20 _____. Curing characteristics of wood particles from nine northern Rocky Mountain species mixed with portland cement. **Forest Products Journal**. v. 34, n. 2, p. 57-61, 1984.

21 MOSLEMI, A. A.; PFISTER, Stephen C. The influence of cement/wood ratio and cement type on bending strength an dimensional stability of wood-cement composite panels. **Wood and Fiber Science**, v. 19, n. 2, p. 165-175, abr. 1987.

22 MUSOKOTWANE, India. E. O. **Particle moisture content effects on the physical and mechanical properties of magnesite cement-bonded particleboard**. Vancouver, 1982. Tese (Master of Science) - The University of Bristish Columbia.

23 NNABUIFE, Elias L. C. **A research programme on the development of building meterials composed of amazonian timbers and cement**. Brasília: IBDF, 1984.

24 PARKER, T. W. Sawdust-cement and other sawdust building products. **Chemistry and Industry**. **[S.I.]**, p. 593-596, set. 1947.

25 PASZNER, Laszlo. Novel development in non-restricted bonding of lignocellulosics by mineral binders. **The Forest Industries**, Vancouver, p. 545-553.

26 PEREYRA, Obdulio. **Avaliação da madeira de *Eucalyptus dunnii* (Maid) na manufatura de painéis compensados**. Piracicaba, 1994. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Madeiras) - ESALQ/USP.

27 PRESTMON, Dean R. Preliminary evaluation of a wood-cement composite. **Forest Product Journal**. v. 26, n. 2, p. 43-45, 1976.

28 SHURLA, V. K.; JAIN, V. K.; PANT, R. C. **et al.** Suitability of Lignocellulosic Materials for the Manufacturing of Cement Bonded Wood-Wool Boards. **Timb. Dev. Assoc.** v. 30, n. 3, p. 16-23, jul. 1984.

29 SIMATUPANG, M. H.; SCHWARZ G. H.; BRÖKER F. W. Small scalle plants for the manufacture of mineral-bonded wood composites. In: EIGHTH WORLD FORESTRY CONGRESS. (1978: Jakarta). **Special paper**. Indonésia, 1978. 21 p.

30 SINGH, N. B. Influence of calcium gluconate with calcium chloride or glucose on the hydration of cements. **Cement and Concrete Research**. United States, v. 5, n. 6, p. 545-550, 1975.

31 _____. Effect of gluconates on the hydration of cement. **Cement and Concrete Research**. United States, v. 6, n. 4, p. 455-460, 1976.

32 SORFA, P. ; BONGERS, J. **Wood-cement composite building units** - Part I. National Timber Research Institute. CSIR Special Report HOUT 270. Pretória, 1982, 24 p.

33 _____. **Wood-cement composite building units** - Part II: Optimized products and manufacturing process. National Timber Research Institute. CSIR Special Report HOUT/304, Pretória, 1983. 28 p.

34 SOUZA, M. R. **Effect of carbon dioxide gas in manufacturing cement-bonded particleboard**. Idaho, 1992. Dissertação (Master of Science) - University of Idaho. 121 p.

35 _____. **Durability of cement-bonded particleboard made conventionally and carbon dioxide injection**. Idaho, 1994. Dissertação (Doctor of Philosophy). University of Idaho. 123 p.

36 STEEL, Robert G. D. & TORRIE, James H. **Principles and procedures of statistics**. New York: McGRAW-HILL BOOK COMPANY, INC, 1960.

37 TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY. **Testing Methods Recommended Practices Specification of the New York**. TAPPI Standards. 1969.

38 TEIXEIRA, Divino. E. & GUIMARÃES, Tânia L. **Tratamento de partículas de *Acacia mearnsii* De Wild. para produção de chapas de cimento-madeira**. Brasília: IBAMA - DIRPED - LPF. Série Técnica 11, 1989.

39 WEATHERWAX, R. C. & TARKOW, H. Effect of wood on setting of Portland cement. **Forest Products Journal**. v. 14, n. 12, p. 567-570, 1964.