

CARLA PRISCILLA TÁVORA CABRAL

**PROPRIEDADES DE PAINÉIS DO TIPO OSB FABRICADOS COM
FLOCOS ESTERIFICADOS.**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de pós-graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS
MAIO - 2010

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

CARLA PRISCILLA TÁVORA CABRAL

PROPRIEDADES DE PAINÉIS DO TIPO OSB FABRICADOS COM FLOCOS
ESTRIFICADOS.

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA:

Prof. Ricardo Marius Della Lucia
(Co-orientador)

Prof. Angélica de Cássia O. Carneiro
(Co-orientadora)

Doutor Daniel Barcellos

Pesq. Ana Márcia M. L. Carvalho

Prof. Benedito Rocha Vital
(Orientador)

AGRADECIMENTOS

A DEUS, pela força espiritual.

Aos meus pais, e principalmente, a minha irmã Cláudia Valéria Távora Cabral.

Ao professor Benedito Rocha Vital, pela dedicação, paciência e amizade.

À Universidade Federal de Viçosa e ao DEF pela oportunidade de realização do curso.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa.

Aos professores, Ricardo Marius Della Lúcia, Angélica de Cássia e Ana Márcia.

Ao doutor Daniel pela contribuição e pelas sugestões no trabalho.

Ao “Seu Maninho” pela amizade e carinho e aos demais funcionários, Sálvio, “Seu Zé” e Aristeu.

Aos estagiários, Hugo, Cristiane, Lorena, Guto, Rafael, Ricardo, Bruno e Tainan, pela ajuda e pela amizade.

Aos amigos: Fábio (“Sete”), Wescley, Zaíra, Solange, Flávia, Mariana e Graziela.

Ao estudante Renan e ao professor Sukarmo, do Departamento de Física, pela ajuda prestada.

Aos funcionários e amigos do Laboratório de Propriedades Físicas e Mecânicas da Madeira, Joel e Oswaldo.

A todos os demais estudantes, professores e amigos que, de uma forma ou de outra, contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

CARLA PRISCILLA TAVORA CABRAL, filha de Jorge de Oliveira Cabral e Joselina de Siqueira Távora Cabral, nasceu em 29 de Fevereiro de 1976, em Juiz de Fora-MG.

Cursou o ensino fundamental e o ensino médio em Juiz de Fora.

Em março de 1998, ingressou no curso de Engenharia Florestal, da Universidade Federal de Viçosa. Em março de 2003, iniciou o programa de pós-graduação em Ciência Florestal, em nível de mestrado, na Universidade Federal de Viçosa, obtendo o título de Mestre em maio de 2005.

Em maio de 2006, iniciou o programa de pós-graduação em Ciência Florestal, em nível de doutorado, na Universidade Federal de Viçosa, obtendo o título de Doutora em maio de 2010.

CONTEÚDO

| | Página |
|--|--------|
| RESUMO..... | vi |
| SUMMARY | ix |
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA | 4 |
| 2.1. O gênero <i>Eucalyptus</i> | 4 |
| 2.2. O gênero <i>Pinus</i> | 6 |
| 2.3. OSB (Oriented Strand Board)..... | 8 |
| 2.3.1. Definição | 9 |
| 2.3.2. Requisitos para a fabricação do OSB | 9 |
| 2.3.3. Utilizações do OSB..... | 10 |
| 2.5. A Indústria Brasileira de Painéis de Madeira..... | 13 |
| 2.6. Esterificação | 17 |
| 2.6.1. Reações de esterificação | 17 |
| 2.6.1.1 Ésteres ftálicos | 17 |
| 2.6.1.2 Ésteres de anidrido maleico | 21 |
| 2.6.1.3 Acetilação | 23 |
| 3. MATERIAIS E MÉTODOS..... | 29 |
| 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES | 38 |
| 5.1 Massa Específica | 38 |
| 5.2 Teor de Umidade..... | 39 |
| 5.3 Adsorção de água | 42 |

| | |
|---|----|
| 5.4 Expansão linear..... | 47 |
| 5.5 Absorção de água (2H) | 53 |
| 5.6 Absorção de água (24H) | 56 |
| 5.7 Inchamento em espessura (2H) | 59 |
| 5.8 Inchamento em espessura (24H) | 62 |
| 5.9 Arrancamento de parafuso | 63 |
| 5.10 Dureza Janka | 65 |
| 5.11 Tração perpendicular..... | 67 |
| 5.12 Compressão longitudinal | 69 |
| 5.13 Flexão estática (MOR)..... | 71 |
| 5.14 Flexão estática (MOE)..... | 75 |
| 6. RESUMO E CONCLUSÕES | 79 |
| 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 82 |
| APÊNDICE | 86 |

RESUMO

CABRAL, Carla Priscilla Távora Cabral, D.S., Universidade Federal de Viçosa, Maio de 2010. **Propriedades de Painéis do Tipo OSB Fabricados com Flocos Esterificados.** Orientador: Benedito Rocha Vital. Conselheiros: Ricardo Marius Della Lucia e Angélica de Cássia O. Carneiro.

Atualmente, há uma luta incessante pela busca de novas tecnologias que viabilizem a utilização de vários tipos de matérias-primas, principalmente, resíduos, para a fabricação de produtos de boa qualidade que possam satisfazer as exigências do mercado consumidor. Desta forma, no mercado de painéis estruturais, aparecem os tipos OSB que são os concorrentes do compensado. Visando melhorar algumas das características dos painéis, o presente trabalho teve como objetivo mostrar a viabilidade técnica da utilização de flocos de madeira modificados quimicamente, a fim de melhorar a estabilidade dimensional dos painéis OSB. As espécies utilizadas neste trabalho foram do gênero *Eucalyptus* (*Eucalyptus grandis*) e do gênero *Pinus* (*Pinus caribaea* var. *hondurenses*), oriundas da cidade de Viçosa, Minas Gerais, com as respectivas densidades: 0,51 e 0,49 g/cm³. Os painéis de OSB, destas madeiras, foram fabricados a partir de flocos oriundos de tábuas e costaneiras, de dimensões 20,00 x 0,46 x 90,00 mm, e com valores de densidade pré-estabelecidos em 0,70 g/cm³). Os flocos foram classificados por tamanho em peneiras manuais. O adesivo utilizado para a confecção dos painéis OSB foi o fenol-formaldeído, empregado na proporção de 8% de sólidos em relação à massa seca de flocos. Os painéis tiveram em sua composição 50% de flocos não tratados e 50% de flocos esterificados pelos anidridos ftálico, maleico e acético. Como os dois primeiros anidridos eram sólidos, houve a necessidade de serem solubilizados em solventes orgânicos, tais como álcool etílico e éter etílico, no caso do anidrido ftálico, e acetato de etila e acetona para o anidrido maleico. No caso do anidrido acético, foram empregados os ácidos acético e ftálico para catalisar a reação. Os painéis foram prensados à temperatura de 140°C e 32 kgf/cm² de pressão, e foram testados, segundo as normas da ABNT(NBR 14810-3) de 2002 e ASTM-D 1037 de 1991. Os resultados foram comparados utilizando-se as normas ANSI/A

– 208.1 (1993) e CSA 0437-93 (1993). Utilizou-se para a análise estatística o teste de médias e o Teste de Tukey, a um nível de 5% de significância. Os painéis que apresentaram as maiores médias para adsorção de vapor de água foram aqueles fabricados com flocos de *Pinus caribaea*, esterificados com anidrido maleico e acetona, durante 24 horas, enquanto que, os que apresentaram as menores médias foram aqueles confeccionados com flocos da espécie *Eucalyptus grandis*, tratados com anidrido acético e ácido acético durante 3 horas. Para o teste de expansão linear, os painéis que apresentaram maior estabilidade dimensional foram aqueles fabricados com madeira da espécie *Eucalyptus grandis*, tratados com anidrido acético e ácido acético. Na absorção de água, durante 2 horas, os painéis que apresentaram as menores médias foram os fabricados com flocos de *Eucalyptus grandis*, esterificados por anidrido maleico com acetona por 48 horas. Na absorção de água, por 24 horas, os painéis que apresentaram os melhores resultados foram os fabricados com a espécie *Pinus caribaea*, esterificados com anidrido maleico, anidrido acético com ácido acético. Para dureza Janka, as maiores médias obtidas foram dos painéis confeccionados com flocos tratados com anidrido acético e ácido ftálico. Na tração perpendicular e compressão longitudinal, as menores médias foram dos painéis confeccionados com anidrido acético e ácido acético. Para os módulos de ruptura e elasticidade, sentido longitudinal, as menores médias foram dos painéis confeccionados com anidrido acético e ácido acético.

A acetilação empregando-se o ácido acético influenciou de forma positiva as seguintes propriedades físicas: adsorção de vapor de água, inchamento em espessura e expansão linear nos painéis OSB, tornando os de flocos acetilados mais estáveis dimensionalmente. Contudo, houve uma perda de resistência nas propriedades mecânicas, tais como arrancamento de parafuso, compressão longitudinal e tração perpendicular. Quando o anidrido acético foi associado com ácido ftálico, a maioria das propriedades mecânicas tiveram um ganho na resistência. Os painéis fabricados com flocos acetilados, tratados com anidridos maleico e ftálico, também foram influenciados pelo tipo de solvente e tempo de reação, melhorando e/ou piorando suas propriedades físicas e mecânicas. De modo geral, os painéis apresentaram valores médios satisfatórios. Além disto,

para alguns testes mecânicos, os resultados estavam bem acima dos valores mínimos estabelecidos pela norma, para a maioria dos ensaios. Isto mostra que estes anidridos apresentam um grande potencial a ser explorado pelas indústrias de painéis, havendo pois a necessidade de mais pesquisas.

SUMMARY

CABRAL, Carla Priscilla Távora Cabral, D.S., Universidade Federal de Viçosa, May of 2010. **Properties of OSB Type Panels Manufactured with Esterified Flakes.** Advisor: Benedito Rocha Vital. Thesis panel members: Ricardo Marius Della Lucia and Angélica de Cássia O. Carneiro.

There is at present an incessant struggle in the search for new technologies that enable the use of various types of raw materials, principally residues, in the manufacture of high quality products that could satisfy the demands of the consumer market. In the market of structural panels, there thus appear the types of OSB that compete with plywood. Aiming to improve some of the characteristics of the panels, the present work shows the technical viability of the use of wooden flakes when modified chemically, in order to improve the dimensional stability of OSB panels. The species used in this work were the genus *Eucalyptus* (*Eucalyptus grandis*) and the genus *Pinus* (*Pinus caribaea* var. *hondurensis*), originating from the city of Viçosa, Minas Gerais, with the respective densities: 0.51 and 0.49 g/cm³. The OSB panels of these woods were manufactured from flakes originating from planks and boards, dimensions 20.00 x 0.46 x 90.00 mm, and with pre-established density values of 0.70 g/cm³. The flakes were classified by size in manual sieves. The adhesive used for the production of the OSB panels was phenol formaldehyde employed in the proportion of 8% of solids in relation to the dry mass of flakes. The panels had in their composition 50% untreated flakes and 50% flakes esterified by phtalic, maleic and acetic anhydrides. Since the first two anhydrides were solid, there was the need of solubilizing in organic solvents such as ethylic alcohol and ethyl ether for the phtalic anhydride, and ethyl acetate and acetone in the case of maleic anhydride. In case of the acetic anhydride, the

acetic and phthalic acids were employed to catalyze the reaction. The panels were pressed at a temperature of 140°C and 32 kgf/cm² of pressure, and were tested according to the standards of the ABNT (NBR 14810-3) of 2002 and ASTM-D 1037 of 1991. The results were compared using the standards ANSI/A – 208.1 (1993) and CSA 0437-93 (1993). For the statistical analysis the test of averages and the Tukey Test were used, at a level of significance of 5%. The panels that presented the highest averages for absorption of water vapor were those manufactured with flakes of *Pinus caribaeae*, esterified with maleic anhydride and acetone, for 24 hours, whereas, those which presented the lowest averages were those made with flakes of the species *Eucalyptus grandis*, treated with acetic anhydride and acetic acid for 3 hours. For the linear expansion test, the panels that presented greater dimensional stability were those manufactured with wood of the species *Eucalyptus grandis*, treated with acetic anhydride and acetic acid. In the absorption of water within 2 hours, the panels that presented the lowest averages were those manufactured with flakes of *Eucalyptus grandis*, esterified by maleic anhydride with acetone for 48 hours. In the absorption of water for 24 hours, the panels that presented the best results were those manufactured with the species *Pinus caribaeae*, esterified with maleic anhydride, acetic anhydride with acetic acid. For Janka hardness, the largest averages obtained were from the panels made with flakes treated with acetic anhydride and phthalic acid. In the perpendicular tensile strength and longitudinal compression, the lowest averages were for the panels made with acetic anhydride and acetic acid. For the moduli of rupture and elasticity, in the longitudinal sense, the lowest averages were also for the panels made with acetic anhydride and acetic acid.

The acetylation employing acetic acid influenced in a positive way the following physical properties: adsorption of water vapor, expansion in thickness and linear expansion in the OSB panels, making those of acetylated flakes more dimensionally stable. Nevertheless, there was a loss of strength in mechanical properties such as screw withdrawal, longitudinal compression and perpendicular tensile strength. When the acetic anhydride was associated with phthalic acid, most of the mechanical properties had a strength gain. The panels manufactured with acetylated flakes, treated with maleic and phthalic anhydrides, were also influenced

by the type of solvent and reaction time, improving and/or making their physical and mechanical properties worse. On the whole, the panels presented satisfactory average values. Beyond this, for some mechanical tests, the results were well above the minimum values established by the standard, for most of the tests. This shows that these anhydrides present a great potential to be explored by the panel industries, requiring, however, more research.

1. INTRODUÇÃO

Tradicionalmente, o desdobro de toras, dependendo do seu diâmetro, produz cerca de 38 a 65 % de madeira serrada e 35 a 62% de resíduos. Estes resíduos são formados por costaneiras (14 a 25%), aparas (6 a 30%) e serragem (10 a 15%) (BORGES, 1993). O processamento adicional da madeira, como por exemplo, nas marcenarias e fábricas de móveis, produz mais resíduos de tal forma que, usualmente, de cada 100 m³ de toras que chegam em uma serraria apenas cerca de 30 m³ são efetivamente transformados em móveis. Além disso, a casca das árvores, que representa pelo menos 13% do volume não é utilizada pela indústria, exceto, para a geração de energia.

Os painéis de madeira tem a vantagem do aproveitamento de resíduos e a supressão de defeitos que a madeira sólida apresenta, tais como: nós, desvios de grã, tortuosidade, conicidade acentuada e lenho de reação entre outros. Além de que, os painéis também conseguem eliminar a anisotropia apresentada pela madeira sólida, sendo, portanto, mais estáveis que esta.

Embora seja uma prática tradicional em diversos países, o emprego de resíduos na indústria madeireira depende das dimensões do resíduo e também do tipo de chapa que será fabricada. A indústria de aglomerado é a menos exigente porque emprega partículas que podem ser produzidas a partir de resíduos com geometria e dimensões diferentes. Por outro lado, os flocos empregados na fabricação das chapas do tipo OSB, por serem longos, são normalmente produzidos

a partir de madeira roliça. Contudo, é possível produzir flocos de boa qualidade a partir de resíduos de maiores dimensões como das costaneiras. No entanto, considerando que as propriedades da madeira variam no sentido radial e longitudinal do tronco (PANSHUN e De ZEuw, 1980; TSOUMIS, 1991) é de se esperar que ocorram diferenças entre as propriedades de chapas produzidas com a totalidade da madeira de uma árvore e aquelas produzidas sistematicamente com apenas partes localizadas das árvores.

As propriedades dos painéis OSB dependem, dentre outros fatores, de alguns índices de qualidade da matéria-prima tais como densidade, estabilidade dimensional, acidez e capacidade tampão (MALONEY 1993). A densidade é o fator mais limitante e a indústria, normalmente, trabalha com madeiras com densidades inferiores a $0,60 \text{ g/cm}^3$ (MALONEY, 1993). Madeiras com densidades superiores a $0,60 \text{ g/cm}^3$, normalmente, não são aceitas para a fabricação de chapas de compósitos porque produzirão chapas com densidades superiores àquelas geralmente aceitas pelo mercado. Além disso, madeiras com elevada variação dimensional, como é o caso dos eucaliptos, podem ocasionar tensões nos pontos de cola contribuindo para a desagregação dos painéis (KELLY, 1977).

A estabilidade dimensional pode ser melhorada tratando-se os flocos com um agente estabilizante (ROWELL et al., 1986). Esse agente estabilizante age diminuindo a reatividade da madeira com a água, fazendo com isso, que ela se torne mais estável.

Segundo IWAKIRI (1999) a utilização de painéis OSB tem crescido significativamente ocupando espaço antes exclusivo de compensados em virtude de fatores tais como:

- 1- Redução da oferta de toras de boa qualidade para a laminação;
- 2- O OSB pode ser produzido a partir de toras de qualidade inferior;
- 3- A dimensão dos painéis OSB, depende da tecnologia de produção e não do comprimento das toras.

O objetivo geral deste trabalho foi determinar as propriedades físicas e mecânicas de painéis OSB, fabricados com flocos esterificados pelos anidridos, ftálico, maleico e acético, tendo associado a estes solventes e catalisadores, conforme o caso. As espécies florestais utilizadas foram: *Eucalyptus grandis*, e *Pinus caribaea* var. *hondurenses*.

Os objetivos específicos são:

- i. Determinar o efeito das esterificações nas propriedades dos painéis OSB;
- ii. Avaliar os 3 tipos de esterificações, produzidas na madeira, associadas com os agentes solubilizantes ou catalisadores e o tempo de reação.
- iii. Determinar as propriedades dos painéis OSB, para as duas espécies florestais *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea*, fabricados com flocos esterificados;

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. O gênero *Eucalyptus*

O eucalipto pertence à família das Mirtáceas e é nativo da Austrália, onde cobre 90% da área do país, formando densos maciços florestais nativos. O Serviço Florestal da Austrália já identificou 670 espécies e apenas duas delas, *Eucalyptus urophylla* e *deglupta*, têm ocorrência natural fora do território australiano. Além do elevado número de espécies, existe um número muito grande de variedades e híbridos.

Segundo a REVISTA DA MADEIRA (2001), até o princípio do século XX, o eucalipto foi plantado como árvore decorativa, pelo seu extraordinário desenvolvimento como quebra-vento ou por supostas propriedades sanitárias. Pouquíssimas foram as plantações com fins industriais e caráter florestal. Deve-se à Companhia Paulista de Estradas de Ferro e ao Dr. Edmundo Navarro de Andrade a expansão da eucaliptocultura. Em fins de 1903, em Jundiaí, no estado de São Paulo, iniciou-se uma série de estudos experimentais que deram sustentação à implantação do eucalipto, em grande escala. Em vários outros estados brasileiros, iniciaram-se os estudos sobre a cultura, a partir dos resultados de Navarro de Andrade. Paulatinamente, o eucalipto foi se tornando uma espécie alternativa para o suprimento de madeira, principalmente como combustível nas formas de lenha e carvão, devido ao escasseamento das matas nativas.

A grande demanda de madeira para futuros projetos industriais, fez com que o governo brasileiro instituísse, a partir de 1966, um programa de incentivos fiscais para aumentar a área plantada. Em um intervalo de poucos anos, a área reflorestada com eucaliptos saltou de 400 mil para 3 milhões de hectares. Nessa época, foram criados os cursos de engenharia florestal e várias instituições de pesquisa florestal que deram suporte ao desenvolvimento da cultura. No entanto, muitas falhas ocorreram nas fases de implantação, manejo e exploração da cultura, devido a falta de informações, de profissionais e técnicos especializados, pela falta de equipamentos apropriados, de sementes melhoradas, de programas conservacionistas e de melhoramento etc. Apesar disso, o atual setor industrial de base florestal está sustentado, em sua maior parte, na matéria-prima implantada durante a época dos incentivos fiscais.

Atualmente no Brasil, o eucalipto possui um caráter estratégico, já que é responsável pelo suprimento de madeira da maior parte do setor industrial de base florestal. Basta para isso, citarmos alguns números para se avaliar quão importante é a sua participação na economia nacional. Segundo a REVISTA DA MADEIRA (2001), da madeira de eucalipto, atualmente, se produzem, por ano, no setor de celulose, 5,4 milhões de toneladas de celulose, representando mais de 70% da produção nacional; carvão vegetal, com uma produção anual de 18,8 milhões de metros cúbicos, representando mais de 70% da produção nacional. Outro setor importante é o de chapa de fibra, com uma produção anual de 558 mil metros cúbicos, representando 100% da produção nacional.

O eucalipto é, também, considerado uma espécie importante na economia de mais de cem países, existindo, atualmente, uma área plantada no mundo superior a 13 milhões de hectares. As dez espécies de eucalipto mais importantes nas plantações florestais no mundo, em termos de incremento médio anual de madeira, são: *Eucalyptus grandis*, *E. saligna*, *E. urophylla*, *E. camaldulensis*, *E. tereticornis*, *E. globulus*, *E. citriodora*, *E. robusta*, *E. exserta* e *E. paniculata*. No Brasil, as espécies mais plantadas são o *Eucalyptus grandis*(55%), *Eucalyptus saligna*(17%), *Eucalyptus urophylla*(9%), *Eucalyptus viminalis* (2%), híbridos de *E. grandis* x *E.*

urophylla(11%) e outras espécies(6%) . Entre outras espécies, destacam-se o *E. cloeziana* e o *E. citriodora* (REVISTA DA MADEIRA, 2001).

A idade preferível para se utilizar a madeira de eucalipto para fins de produção de celulose, carvão, lenha, chapas aglomeradas e chapas de fibras é geralmente de 8 a 10 anos.

A adaptabilidade, produtividade e a amplitude de usos da madeira de eucalipto tem feito com que esta espécie seja considerada como o grande trunfo das próximas décadas, no que diz respeito à produção de painéis sejam eles constituídos exclusivamente de madeira de eucalipto ou de mistura desta com outras madeiras (BENADUCE, 1998).

2.2. O gênero *Pinus*

O gênero *Pinus*, da família das *Pinaceae*, é composto por plantas lenhosas, em geral arbóreas, de altura que varia de 3 a 50 m. As plantas têm tronco reto, mais ou menos cilíndrico e copa em forma de cone. Possuem folhas em forma de acículas, agrupadas em fascículos.

Sua área de ocorrência natural vai da região polar até os trópicos, englobando os continentes da Europa, Ásia, América do Norte e Central, não ocorrendo naturalmente na América do Sul.

As espécies de *Pinus* introduzidas no Brasil são provenientes, principalmente, dos Estados Unidos e América Central. Várias espécies desse gênero são utilizadas em plantios florestais no Brasil.

No Brasil são cultivados 1.867.680 ha de *Pinus*, sendo 181.378 hectares no Estado do Rio Grande do Sul, segundo a Sociedade Brasileira de Silvicultura (2007).

Atualmente as espécies mais plantadas no país são: *Pinus caribaea*, *Pinus taeda*, *Pinus elliottii*, *Pinus tecunumanii*, *Pinus maximinoi* e *Pinus pátula*.

As exigências climáticas dos pinus variam com a espécie, abaixo estão listados alguns exemplares e seus critérios:

Pinus oocarpa

- temperatura média anual entre 13 e 21°C
- precipitação média anual maior que 750 mm

Pinus taeda

- temperatura média anual entre 13 e 24°C
- precipitação média anual maior que 1000 mm
- temperatura média mínima do mês de julho entre 4°C e 16°C

Pinus caribaea

- temperatura média anual entre 20 e 27°C
- precipitação média anual maior que 1000 mm
- altitude inferior a 1000 m

Siqueira (2003) indica que o consumo dos segmentos industriais de base florestal foi de 170 milhões de m³, com base em STCP (2001), e o gênero *Pinus* participou com aproximadamente 40 milhões de m³.

Mesmo o gênero *Pinus* tendo algumas espécies enquadradas como exóticas invasoras, é notório que o processo agressivo dá-se em relação a ecossistemas abertos e frágeis, e que tais espécies são atualmente componentes de um sistema socioeconômico que contribui para a manutenção do desenvolvimento da região Sul e de toda uma cadeia produtiva no Brasil.

A prática da silvicultura do *Pinus* na região Sul do Brasil é um processo de baixo impacto ambiental e por suas características técnicas promove a proteção do solo e a redução a zero da pressão pela exploração dos remanescentes florestais nativos, podendo ainda ser uma oportunidade para o seqüestro de carbono.

Os processos de certificação têm a proposição de efetuar a condução da silvicultura e manejo das florestas produtivas plantadas com o gênero *Pinus* de forma a exercer técnicas que garantam o controle da disseminação da espécie, ou seja, realizando a mitigação da possível contaminação que algumas espécies do gênero possam acarretar. Isso já é um procedimento factível e de fácil sistematização junto às funções operativas da silvicultura do gênero *Pinus*.

A silvicultura e o manejo florestal dos maciços formados por Pinus são passíveis de sustentabilidade, no sentido de integrar processos e atender os princípios do "Desenvolvimento Sustentável", tornando-se atividade contribuinte na sociedade brasileira.

2.3 OSB (Oriented Strand Board)

2.3.1. Definição

Segundo MALONEY (1996), OSB é um painel reconstituído de partículas de madeira orientadas e unidas com resina à prova d'água sob prensagem a quente, tornando-o um painel com alta resistência mecânica e grande rigidez. Ideal para construções, embalagens, móveis e decorações.

No OSB, as partículas (strands) com dimensões que geralmente variam de 25 mm de largura por 80-150 mm de comprimento, podem estar dispostas na camada interna de forma aleatória conforme mostra a Figura 2 ou orientadas perpendicularmente conforme mostra a Figura 1, em relação às camadas externas (MENDES, 2001). Devido às dimensões dos strands, não é possível utilizar resíduos de serrarias, em sua fabricação.

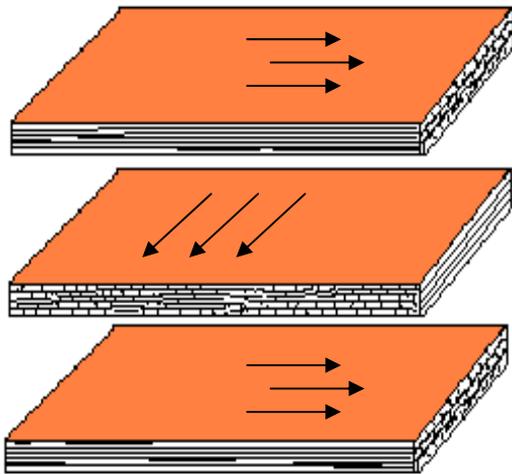


Figura 1 - Orientação perpendicular das partículas da camada interna em relação às da face.

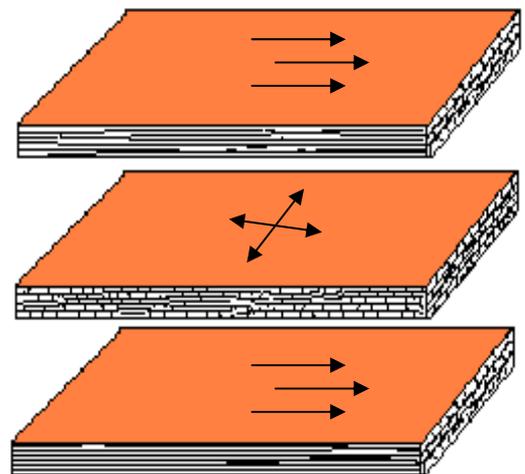


Figura 2 - Orientação aleatória das partículas da camada interna.

Os painéis de partículas orientadas são um tipo de painel aglomerado estrutural, que apresenta maior estabilidade dimensional do que os outros tipos de aglomerados. O principal concorrente dos painéis OSB é o compensado, que é mais estável. Os métodos propostos para a estabilização dimensional de painéis OSB ainda não são aplicados em nível industrial, seja em função do custo ou de aspectos técnicos e operacionais (MENDES, 2001).

2.3.2. Requisitos para a fabricação do OSB

Segundo GOUVEIA (1991) os painéis OSB podem ser produzidos a partir de árvores de pequeno diâmetro e toras de qualidade inferior. Entretanto, algumas características precisam ser estabelecidas para a escolha da madeira a ser utilizada. A qualidade da madeira necessária para painéis OSB é diferente da requerida para madeira serrada e polpação. As principais características são densidade da madeira, forma do tronco, tipo dos anéis de crescimento, teor de umidade e teor de extrativos.

Um dos fatores mais importantes é a densidade, pois está diretamente ligada a densidade do painel e a determinação de suas propriedades mecânicas. Madeiras de baixa densidade permitem taxas de compactação mais elevadas, com alta superfície de contato entre as partículas de madeira, ao contrário das madeiras de alta densidade. Além do mais, madeiras de baixa densidade geram painéis com maior uniformidade, que possuem alta capacidade de distribuição de forças entre os strands, melhorando suas propriedades de resistência à flexão estática e ligação interna. Os valores ideais de densidade da madeira para painéis OSB variam entre 0,25 – 0,45 g/cm³ (GOUVEIA, 2001). Espécies com densidade superior a essa faixa podem ser utilizadas, porém são menos desejadas e freqüentemente são empregadas em misturas com espécies mais leves.

O formato da tora também influencia, pois a estabilidade dimensional dos strands está associada à direção da grã na árvore. Uma alta porosidade na madeira e a transição abrupta, entre o lenho juvenil e tardio, propiciam uma alta proporção de finos.

2.3.3. Utilizações do OSB

O OSB pode ser utilizado para quase todas as finalidades as quais se destinam as chapas de partículas e compensados. Deve-se levar em consideração o fato de que, chapas OSB, se expandem quando são expostas diretamente à chuva, ou alta umidade relativa por longos períodos. Por conseguinte, o uso se limita a construções protegidas e interiores.

Segundo ALBUQUERQUE (1999), no estágio inicial de desenvolvimento de mercado, a Structural Board Association recomendou que importadores formassem grupos de usuários potenciais, a fim de trabalharem com um ou dois produtores, obtendo a vantagem em relação a volume e baixo custo. Por ser um produto versátil ele pode ser utilizado para diversos fins. Atualmente, os principais usos do OSB são:

- Forro para telhados;

- Base para paredes e pisos em construções residenciais;
- Empacotamento e engradamento;
- Pallets para estocagem a seco;
- Estandes para exibição;
- Armações para mobília;
- Assento e encosto de cadeira;
- Tampo de mesa industriais;
- Painéis de paredes decorativas;
- Miolo para composto destinado a pisos de madeiras nobres;
- Piso acabado;
- Base para tampo de escrivaninha;
- Para construção de depósitos e tanques;
- Tapumes e divisórias;
- Formas descartáveis para concreto;
- Decks e plataformas;
- Paredes de carroceria de caminhões;
- Chalés rústicos;
- Cercas e janelas;
- Prateleiras e estantes;
- Alma para vigas em I;
- Painéis de apoio estrutural;
- Painéis estruturais isolantes (miolo de espuma);
- Garagens e barracões de ferramentas;

O uso mais comum para o OSB é na fabricação de telhados, paredes e base para pisos. É considerado, pelas normas de construção Canadenses e Americanas, como material equivalente ao compensado em aplicações estruturais, e o está substituindo em tais aplicações. Várias razões explicam a crescente demanda de OSB pelo mercado em relação ao compensado (ALBUQUERQUE, 1999):

- A largura do painel de OSB é determinada pela tecnologia de produção, e não pelo comprimento das toras, como é o caso dos compensados;

- A disponibilidade de toras para lâminas de qualidade tem decrescido substancialmente;

- O OSB pode ser feito com espécies de baixo custo e toras de baixa qualidade;

Se compararmos os custos de produção do OSB em relação aos seus concorrentes no mercado americano de painéis estruturais, como é mostrado na Figura 3, nota-se que seus custos são aproximadamente a metade dos compensados produzidos naquele país (compensado produzido de coníferas do norte dos E.U.A., Compensado 1 e aquele produzido de *Pinus* do sul dos E.U.A., Compensado 2) e praticamente iguais ao waferboard. Se pensarmos neste fator combinado com o aumento em resistência mecânica e estabilidade dimensional, sendo estes determinados pelo processo de produção, e fundamentais, entendemos porque este produto está aumentando cada vez mais a sua participação no mercado em relação aos produtos concorrentes (MALONEY, 1984).

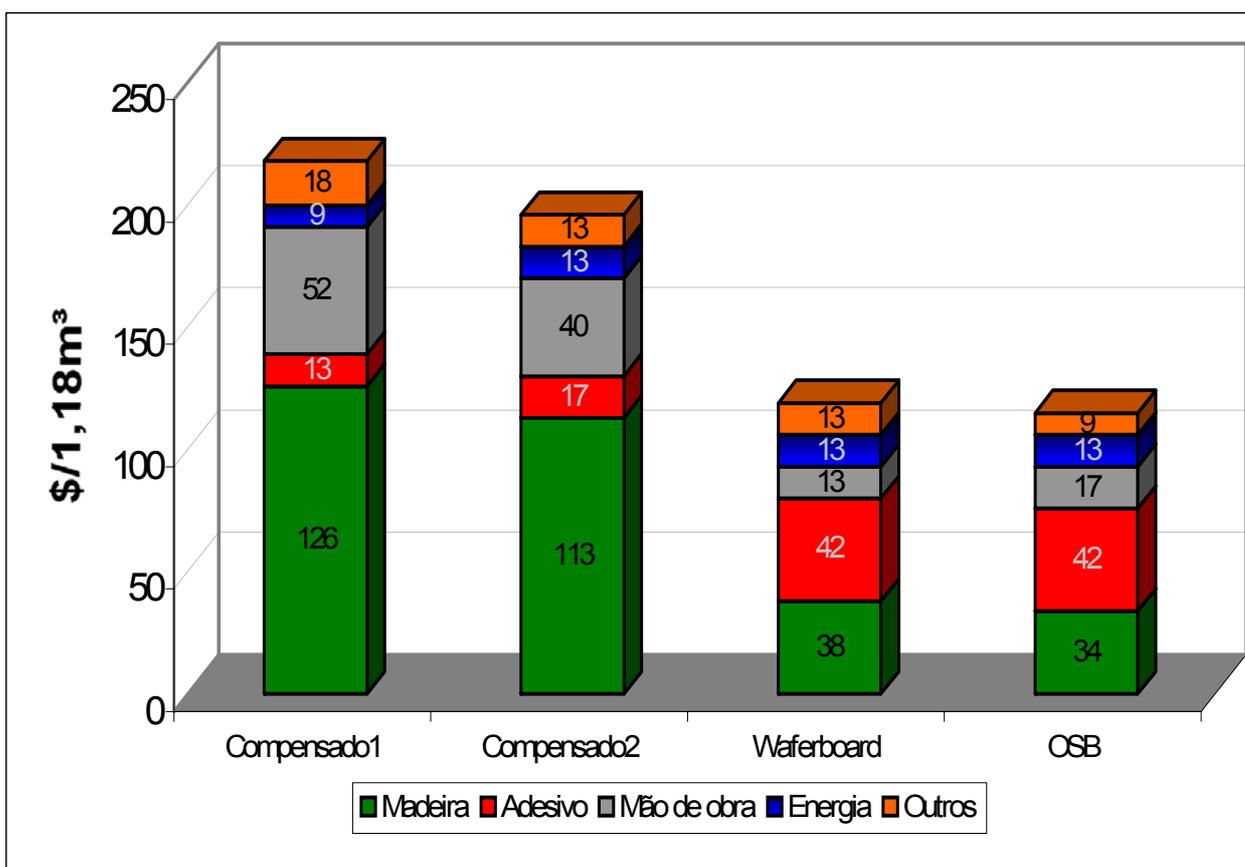


Figura 3 – Comparação dos custos de produção entre compensado de coníferas (Softwood), waferboard e OSB.

2.5. A Indústria Brasileira de Painéis de Madeira

A crescente demanda por madeiras providas de reflorestamento se deve ao alto custo para se obter madeiras nativas e as dificuldades para retirar tais madeiras do local de origem e transportá-las até o pátio das empresas. Outro fato, que também tem contribuído para aumentar a competitividade é a pressão das instituições ecológicas, impondo restrições inclusive ao comércio internacional de madeiras providas de florestas nativas.

As pesquisas, feitas anteriormente visando o melhoramento genético do eucalipto, tinham como objetivo atender as necessidades das empresas de papel e celulose e siderúrgicas. Atualmente este pensamento está mudando e as instituições de pesquisa também estão voltadas para o melhoramento do eucalipto visando a produção de madeira serrada de boa qualidade.

Esta estratégia econômica também pode ser considerada como ecológica, pois reduz a pressão sobre as florestas nativas, uma vez que as madeiras de rápido crescimento proporcionam ciclos de corte em períodos de tempo bem menores, além de produzir madeira com características homogêneas, o que aumenta o rendimento durante o processamento (MENDES,2003).

Se pensarmos na utilização da madeira para a confecção de chapas, veremos que as vantagens são muitas, pois a conversão das toras em partículas é próxima de 100%. Dependendo do uso final do painel, podem ser acrescentadas pequenas quantidades de resíduos da indústria madeireira e agro-industrial.

O Brasil apresenta uma defasagem em relação aos principais países produtores de painéis de madeira reconstituída, o que é bastante preocupante visto que também estamos com isso defasados na tecnologia, ficando, pois, o Brasil prejudicado na concorrência com outros países no mercado internacional de painéis de madeira.

A indústria brasileira de painéis de madeira apresenta duas características distintas. A 1ª se apresenta na indústria de painéis de partículas e painéis de fibras e a 2ª, na indústria de compensados e laminados.

Na indústria de painéis de partículas e painéis de fibras predominam poucas empresas, em sua maioria, de grande porte, cujo referencial é a alta produtividade e modernidade. Com a busca de tecnologia na última década, essa indústria modernizou seu parque industrial e introduziu novos produtos, o MDF em 1997 e o OSB em 2002 (ABIPA, 2002).

A indústria brasileira de compensado é bastante fragmentada, predominando empresas de pequeno porte com estrutura de produção tipicamente familiar. Estimativas da ABIMCI (2000), indicam que 60% do compensado brasileiro é

produzido com madeira tropical, enquanto que os outros 40% são produzidos a partir de madeira proveniente de florestas plantadas nas regiões Sul e Sudeste, particularmente o Pinus. Cabe salientar que inclui como compensado tropical o tipo “combi” (face em madeira tropical e miolo em madeira de Pinus).

Ao longo dos últimos 10 anos, os principais países importadores do compensado brasileiro foram os EUA, o Reino Unido, Porto Rico e Alemanha. Durante estes anos (1990-2000), o Brasil teve um bom desempenho nas exportações de compensado, apresentando um crescimento de 12,8% ao ano, devido principalmente às condições atrativas e favoráveis do mercado, conforme mostra a Figura 5, (MENDES,2003).

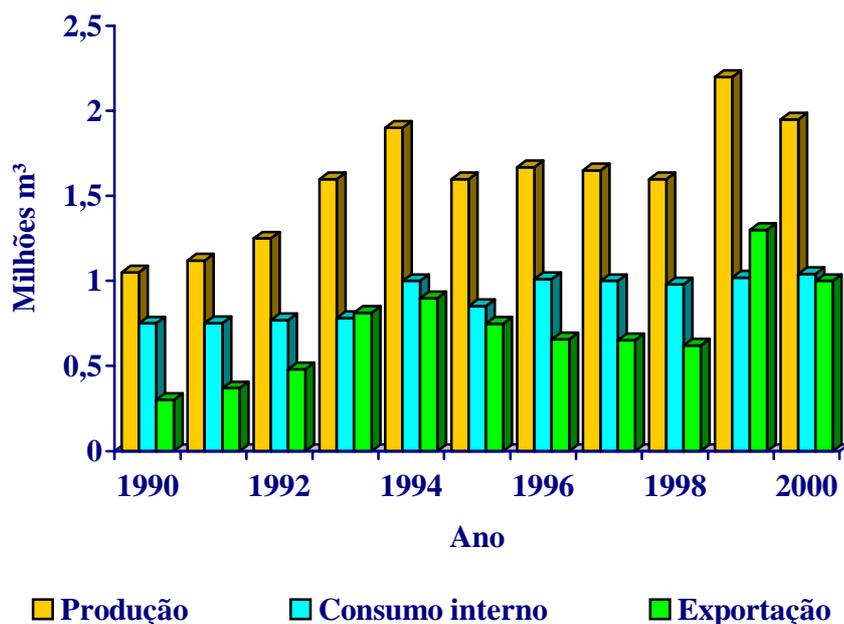


Figura 5 - Evolução do mercado brasileiro da indústria de compensados.

Apesar do compensado ter tido uma demanda bastante significativa na exportação brasileira de chapas nos últimos anos, no mercado interno, o compensado e a chapa dura vêm perdendo espaço para o aglomerado e, mais

recente, para o MDF e o OSB. Assim, o Brasil segue a tendência mundial de substituição do compensado por outros tipos de painéis que ofereçam melhor relação preço/desempenho.

Provavelmente, com o crescimento da produção de MDF e OSB, os preços de compensado cairão e, conseqüentemente, muitas empresas brasileiras de compensado perderão competitividade de escala, não conseguirão cobrir seus custos e, então, serão obrigadas a sair do mercado (ITTO, 2001).

A justificativa para a substituição do compensado pelos painéis de partícula e painéis de fibra, segundo WU e VLOSKY (2000) e SHOOK (1999), baseia-se nas características desses produtos. Por serem os painéis de partícula e os painéis de fibra o que se denomina “produto de madeira engenheirado” (*engineered wood product*), esses apresentam melhor relação custo/benefício, melhor flexibilidade na utilização segundo suas propriedades físico-mecânicas, uniformidade na qualidade, variedade de tamanhos e densidades, e a constância na disponibilidade. Por isso esses produtos têm-se tornado mais atrativos aos consumidores.

Segundo MENDES (2003), a oferta futura de madeira maciça possui uma tendência declinante. Portanto, é de suma importância o desenvolvimento de esforços a fim de evoluir a oferta em variedade e quantidade de produtos reconstituídos, objetivando o aproveitamento máximo da madeira, a exemplo do fineboard, que é um produto reconstituído a partir do pó da madeira.

2.6 Esterificação

Processo de obtenção de ésteres, formado a partir da substituição de uma hidroxila (-OH) de um ácido por um radical alcoxíla (-OR). O método mais comum é a reação reversível de um ácido carboxílico com um álcool, havendo eliminação de água, conforme mostra a Figura 6.

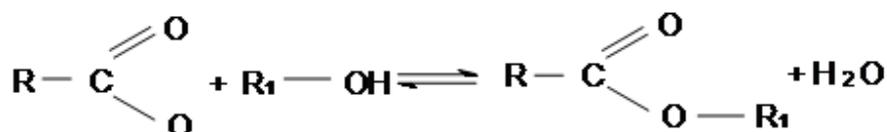


Figura 6. Esterificação (BARCZA, 2010)

Processos de esterificação são importantes na produção de ésteres de interesse comercial principalmente nas áreas de solventes, extractantes, diluentes, plastificantes, surfactantes, polímeros, essências e fragrâncias sintéticas, e como intermediário químico para indústrias farmacêuticas, herbicidas e pesticidas (BARCZA, 2010).

2.6.1. Reações de esterificação

2.6.1.1 Ésteres ftálicos

Ésteres ftálicos destacam-se no mercado de polímeros nas áreas de plastificantes e resinas. Caracterizam-se pelo alto ponto de ebulição, estabilidade, não apresentam odor e cor, confere ao produto final flexibilidade e maciez (BARCZA, 2010).

A maioria dos anidridos de ácido ftálico é convertido em um dos três diferentes tipos de ésteres. O maior uso é para o éster de ácido ftálico monomérico com alcoóis C₄-C₁₀, usados como plastificantes.

O segundo grupo engloba os poliésteres insaturados. Em sua fabricação, o anidrido ftálico, junto com o anidrido maleico, ou ácido fumárico é policondensado com um diol (1, 2 propilenoglicol ou dietilenoglicol), geralmente, em uma fusão. Um subsequente enrijecimento, geralmente, é realizado através de uma ligação cruzada iniciada radicalmente com estireno. Os duroplásticos formados são caracterizados por sua estabilidade térmica e boas propriedades mecânicas para aplicações de fibras.

O terceiro uso para o anidrido ftálico, algumas vezes misturado com, por exemplo, ácido adípico, é para resinas alquídicas e gliptal de sua reação com glicerina. Uma pequena quantidade de anidrido ftálico é também usado para intermediários, como por exemplo, fabricação de corantes.

O principal uso do anidrido ftálico é para fabricação de plastificantes. Dependendo do país, a quantidade de anidrido usado para esta aplicação varia entre 50 e 70%, e se equipara ao desenvolvimento de plásticos flexíveis e dispersões.

Dos variados tipos de ésteres de ácido ftálico usados como plastificantes, di(2-etilhexil) ftalato (também conhecido como di octil ftalato ou DOP), di-isodecil ftalato (DIDP) e di-isononil ftalato (DINP) são os produtos de volume mais elevado.

Durante a formação de ésteres com estes e muitos outros álcoois, os ftalatos ocasionam um grande espectro de amaciantes.

A esterificação do ácido ftálico com 2-etilhexanol é um processo de duas etapas começando com o anidrido ftálico que passa de semi-éster para diéster, conforme mostra a Figura 7:

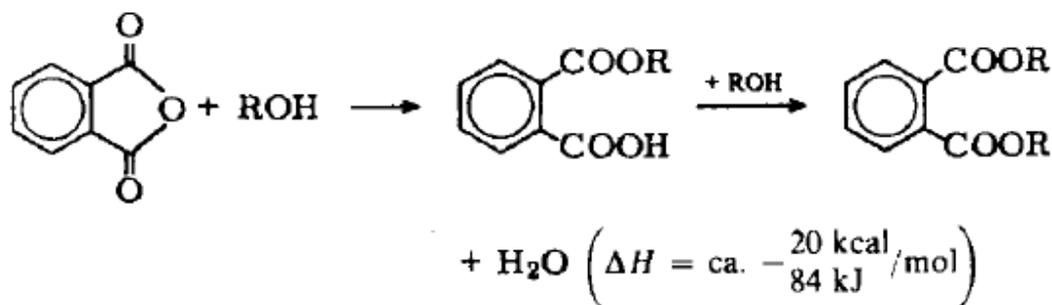


Figura 7- Esterificação do ácido ftálico com 2-etilhexanol partindo do anidrido ftálico (WEISSERMEL e ARPE, 1997).

A primeira etapa para a formação ocorre muito rapidamente; o monoéster é formado à medida que o anidrido se dissolve no álcool.

Na segunda etapa, que determina a velocidade do processo, a ativação é necessária ou pelo catalisador da esterificação ou pelo aumento da temperatura da reação.

Nos processos industriais, catalisadores ácidos, tais como o H_2SO_4 , ácido p-toluenossulfônico, ou ácido α -naftalenossulfônico têm sido preferidos até agora. Contudo, se é permitido que a temperatura da reação atinja os 160°C , a seletividade cai devido às reações secundárias dos prótons catalisados do álcool, ou seja, desidratação para olefina ou éter, e isomerizações. O processo deve, portanto, seguir a pressão reduzida para retirar a água da reação azeotropicamente, com excedente de 2-etilhexanol a uma baixa temperatura. O catalisador também tem de ser separado e uma purificação complicada é necessária para o éster bruto (WEISSERMEL e ARPE, 1997).

Um aperfeiçoamento da M & T Chemicals (EUA) levou ao emprego de catalisadores apróticos a base de estanho, tais como, oxalato de estanho, que resulta em um aumento substancial na taxa de esterificação a $200\text{-}220^\circ\text{C}$ sem a formação de subprodutos causados pela catálise protônica. O oxalato de estanho se separa da mistura da reação química por resfriamento, o que permite facilmente sua remoção (WEISSERMEL e ARPE, 1997).

A BASF desenvolveu uma esterificação de anidrido ftálico sem catalisador a uma temperatura mais elevada. Sob estas condições, o próton do monoéster de ácido ftálico da primeira etapa de esterificação, pode funcionar autocataliticamente na esterificação total. A esterificação de anidrido ftálico com 2-etilhexanol é conduzida continuamente a 185-205°C e à pressão atmosférica. A água da reação é removida continuamente pela destilação azeotrópica com um excedente de 2-etilhexanol..

A seletividade de 98% (a base de anidrido ftálico e 2-etilhexanol) é obtida com uma conversão de 97% do monoftalato para o diéster em uma série de etapas de caldeiras em cascata. Como o ftalato resultante é muito puro, não é necessário tratamento químico (H_2O_2), físico (radiação UV, carbono ativado) ou retificação (WEISSERMEL e ARPE, 1997).

Outros “oxo” alcoóis podem também ser esterificados com anidrido ftálico utilizando o mesmo processo.

A função dos plastificantes de éster de ácido ftálico é transformar termoplásticos duros e quebradiços em maleáveis e elásticos, necessário para o processamento e uso.

As propriedades de PVC, em particular, podem ser amplamente modificadas pela plastificação específica. Por exemplo, quando o PVC é processado para tubulação e filmes, então, uma mistura plastificante é adicionada em quantidades de 30-70% do peso do plástico sem tratamento. Os ftalatos são responsáveis pela grande proporção dos plastificantes.

Um resultado da expansão considerável na produção de PVC tem sido um aumento significativo no crescimento dos plastificantes de ftalato.

2.6.1.2 Ésteres de anidrido maleico

O anidrido maleico é usado principalmente (40-60%) na fabricação de resinas de poliésteres insaturados, plásticos termofixos, especialmente, com fibra de vidro reforçada. Cerca de 10-15% é convertido em isômero trans de ácido maleico, isto é, ácido fumárico, e seus produtos secundários, ácido málico. Outros empregos do anidrido maleico incluem a fabricação de pesticidas, por exemplo, malatol para plantações de arroz ou em crescimento de frutas, e hidrazida maleica como um herbicida para gramados específicos e para regular crescimento, como por exemplo, no crescimento do tabaco; de plastificantes reativos tais como malato de dibutil e de aditivos de óleo lubrificante.

Outra série, comercialmente importante, de derivados de anidrido maleico foi disponibilizada por empresas japonesas e por ICI e UCC/Davy McKee, geralmente, através de multi-etapas de hidrogenação de anidrido maleico via anidrido succínico, maleato de dimetila ou maleato de dietil. Os produtos são os mesmos típicos de reações de Reppe, como por exemplo, γ -butirolactona, 1,4-butanodiol e tetraidrofurano. Com o catalisador Ni, a razão molar de γ -butirolactona para tetraidrofurano pode variar de 10:1 para 1:3, com 100% de conversão do anidrido maleico por mudança de temperatura e pressão da reação.

Um catalisador Ni-Co-ThO₂/SiO₂ a 250°C e 100 bar é usado para a hidrogenação de γ -butirolactona para 1,4-butanodiol. Em uma conversão de 100%, a seletividade é cerca de 98%. O principal subproduto é o tetraidrofurano.

A hidrogenação do anidrido maleico não foi usada para a produção de 1,4-butanodiol e tetraidrofurano por um longo tempo.

Um novo processo para a produção de tetraidrofurano foi desenvolvido pela Du Pont. Uma solução de ácido maleico aquoso obtido da oxidação de n-butano é hidrogenado diretamente para tetraidrofurano com um catalisador de paládio rênio modificado com aproximadamente 90% de seletividade.

Em um processo desenvolvido por Degussa, ácido DL-tartárico pode ser obtido com 97% de seletividade a partir da reação de anidrido maleico com H₂O₂ na

presença um catalisador contendo molibdênio ou tungstênio. A conversão se realiza via um ácido intermediário, epoxitartárico, que é hidrolizado, conforme mostra a Figura 8.

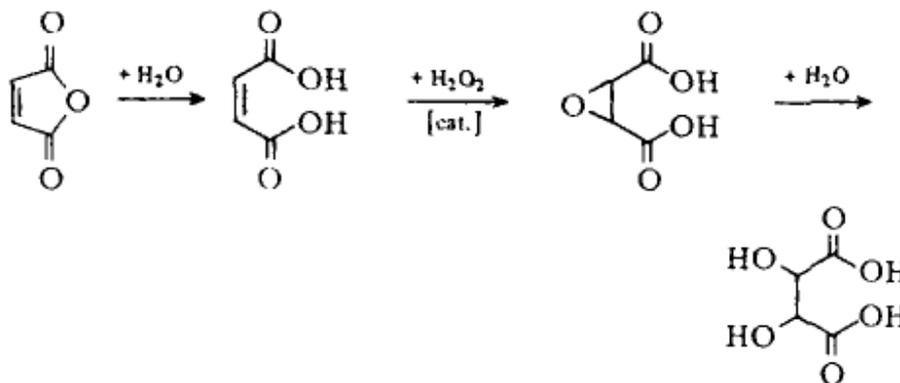


Figura 8. Produção de ácido DL-tartárico a partir de anidrido maleico (WEISSERMEL e ARPE, 1997).

Um uso novo para o ácido maleico é a clivagem oxidativa com ozônio.

A isomerização do ácido maleico para fumárico (Figura 9), que é quase quantitativo, é feito ou em solução aquosa sem catalisador por aquecimento por um longo período de tempo a 150°C , ou com H_2O_2 , tiouréia, persulfato de amônio, etc, a 100°C . Já que o ácido fumárico apresenta uma baixa solubilidade em água, quase precipita-se, completamente, da solução aquosa como um cristal (WEISSERMEL e ARPE, 1997).

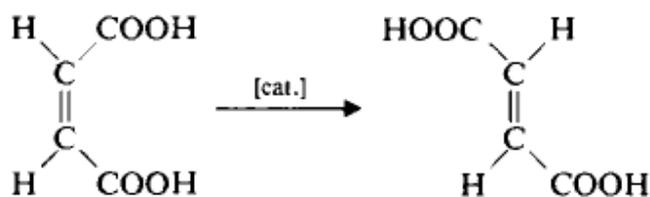


Figura 9. Isomerização do ácido maleico para ácido fumárico (WEISSERMEL e ARPE, 1997).

Um processo industrial desenvolvido por Alusuisse é, atualmente, utilizado em várias indústrias. Baseia-se na isomerização catalítica de uma solução aquosa a 25% de ácido maleico a cerca de 100°C (WEISSERMEL e ARPE, 1997).

Ácido fumárico pode também ser obtido, como nos EUA, por exemplo, pela fermentação de açúcares ou amido.

Mais de 40% da produção de ácido fumárico é utilizado em poliésteres para o uso em indústrias de papel. 10-20% é usado para se obter ácido DL-maleico (ácido hidroxissuccínico) por hidratação próton catalisada (WEISSERMEL e ARPE, 1997), conforme mostra a Figura 10.

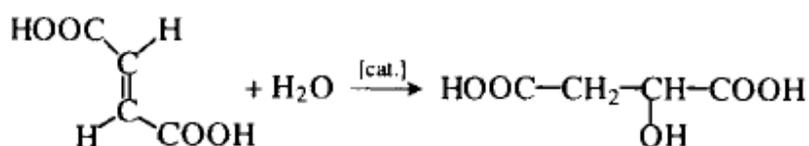


Figura 10. Obtenção do ácido DL-maleico a partir de ácido fumárico (WEISSERMEL e ARPE, 1997).

O processo Allied, que era do maior produtor mundial de ácido málico, foi parado em 1980, e consistia na adição de H₂O ao anidrido maleico (WEISSERMEL e ARPE, 1997).

Dependendo do país, o ácido málico é usado como seu racemato ou como ácido D(-)-málico na indústria alimentícia, como um acidulante para ajustar a acidez.

2.6.1.3 Acetilação

Segundo BURGER & RICHTER (1991), a madeira é um material altamente higroscópico e apresenta os fenômenos de contração e inchamento pela perda e absorção de umidade. A entrada de água entre as moléculas de celulose da parede celular provoca o afastamento das mesmas e, como consequência, o inchamento. O

processo contrário produz a aproximação das moléculas de celulose, resultando na contração da madeira.

Uma vez que a contração e o inchamento ocorrem pela entrada e saída de água das paredes celulares, madeiras que possuem em abundância células de paredes espessas (alta massa específica) apresentam este fenômeno em grau mais acentuado. A anisotropia da madeira em relação à variação dimensional varia entre espécies.

Segundo VICK & HOWELL (1990), a taxa de biodeterioração e a mudança dimensional causada pela variação na umidade relativa, podem ser drasticamente reduzidas por uma modificação na estrutura química da parede celular, por exemplo, pelo processo de acetilação.

Hon e Bangi (1996), citados por MENDES (2001), demonstraram experimentalmente que se as partículas strands passarem por um pré-tratamento de acetilação, pode-se melhorar sensivelmente a estabilidade dimensional dos painéis OSB.

Inúmeras pesquisas, já foram feitas acetilando madeira, mais especificamente voltadas para acetilação da celulose, visando atender principalmente a indústria têxtil, como também a indústria de filmes fotográficos.

Kässig e Schrott estudaram a reatividade relativa das hidroxilas primárias e secundárias em reações de acetilação homogênea e heterogênea. Eles foram capazes de mostrar que, na acetilação homogênea da celulose feita em soluções diluídas de ácido fosfórico, a substituição das hidroxilas primárias sempre ocorre antes da substituição das hidroxilas secundárias. Na acetilação heterogênea, das fibras de celulose reativa, a esterificação inicialmente rápida das hidroxilas de moléculas em regiões acessíveis ou ativadas da estrutura da fibra ocorre estatisticamente, isto é, em relação à ocorrência delas. Aumentar o grau de ativação, por exemplo, pela aplicação de mais agentes hidrofílicos de pré-inchação na troca de solventes ou tratamentos de inclusão, amplia esse estágio de reação que ocorre estatisticamente para graus globais de substituição mais elevados.

Segundo KRÄSSING (1993), as condições ótimas para se certificar de uma boa reatividade dos substratos fibrosos de celulose nas interações químicas são:

(1) Enfraquecimento da parede primária no caso de celuloses nativas, tais como algodão, línter ou polpa dissolvida, por exemplo, por pré-tratamentos com hidrólise.

(2) Permanência ou alargamento dos capilares existentes, vazios ou interstícios fibrilares na morfologia da fibra e através de reações do substrato da fibra no estado recém seco ou seco sob condições apropriadas, tais como sob inclusão de compostos inertes para a reação subsequente.

(3) Aumento da superfície interna acessível através do inchamento e/ou tratamentos de ativação atuando a nível interfibrilar a fim de quebrar as interligações fibrilares.

(4) seleção de meios de reação e condições capazes de abrir as ligações de hidrogênio intra e especialmente intermoleculares.

Ainda, segundo KRÄSSIG (1993), um fato, contudo, deve ser enfatizado: É impossível atribuir a um dado substrato de fibra de celulose (algodão, línter ou polpa dissolvente) acessibilidade ou reatividade características geralmente válidas para todos os tipos diferentes de reações de celulose. Um substrato de celulose, o qual demonstra boa reatividade, por exemplo, na nitração, não reage necessariamente de forma apropriada na acetilação, xantação ou metilação. Independente da morfologia e estrutura, a resposta deles a um determinado meio de reação é também dependente da pureza, por exemplo, a presença de ceras no caso do algodão natural, lignina residual ou hemicelulose, no caso de polpas dissolventes, podem desempenhar um importante papel.

A celulose bem como as hemiceluloses são álcoois polifuncionais que possuem o potencial de formar ésteres também com ácidos orgânicos. A complexidade da morfologia da fibra e a estrutura fina dos substratos da celulose, contudo, dificultam a obtenção de elevados graus de substituição em suas reações com muitos ácidos orgânicos e requerem métodos especiais. Mesmo na aplicação deles, o alcance de altos graus de esterificação é largamente limitado à reação com

ácidos alifáticos normais e a um número limitado de ácidos aromáticos simples (KRÄSSIG,1993). Nas hemiceluloses, as ligações químicas de esterificação são mais fáceis de ocorrerem, devido a sua constituição química e a sua estrutura amorfa e ramificada (SJÖSTRÖM, 1993).

Ácidos acéticos, propiônicos e butíricos em ebulição esterificam substratos de fibra de celulose somente levemente. O alcance da esterificação dependerá da reatividade do substrato de celulose. A inclusão de catalisadores de esterificação reforça a reação, porém leva a severa degradação na temperatura elevada.

A reação com anidridos ácidos na presença de catalisadores ácidos minerais é há muito tempo o processo de esterificação mais comumente aplicado. Ele resulta na completa esterificação, na reação da celulose com os anidridos dos ácidos alifáticos, tais como o ácido acético, o propiônico ou o butírico. Para anidridos de ácidos alifáticos, de massa molecular mais elevada, ou ácidos aromáticos, a reatividade é muito baixa, bem provavelmente devido à habilidade reduzida deles de penetrar no substrato fibroso de celulose.

A reação de esterificação dos anidridos ácidos e cloretos ácidos com substratos fibrosos de celulose é em todos os casos uma reação “topoquímica” heterogênea. Sem tratamentos especiais de ativação, a reação em fibras completamente secas começa da superfície externa das fibras e prossegue relativamente lenta, camada por camada, para dentro do interior das mesmas.

Acetato de celulose:

Devido à sua importância comercial, numerosos estudos têm sido realizados para elucidar os fatores que determinam a reatividade dos substratos de celulose em reações de acetilação. Todas as descobertas sublinham o fato de que a reatividade de um dado substrato de fibra de celulose na acetilação é primariamente uma função da acessibilidade dos grupos de hidroxilas sob as condições de reação que prevalecem. Na Figura 11, mostra um exemplo de formação de um triacetato de celulose.

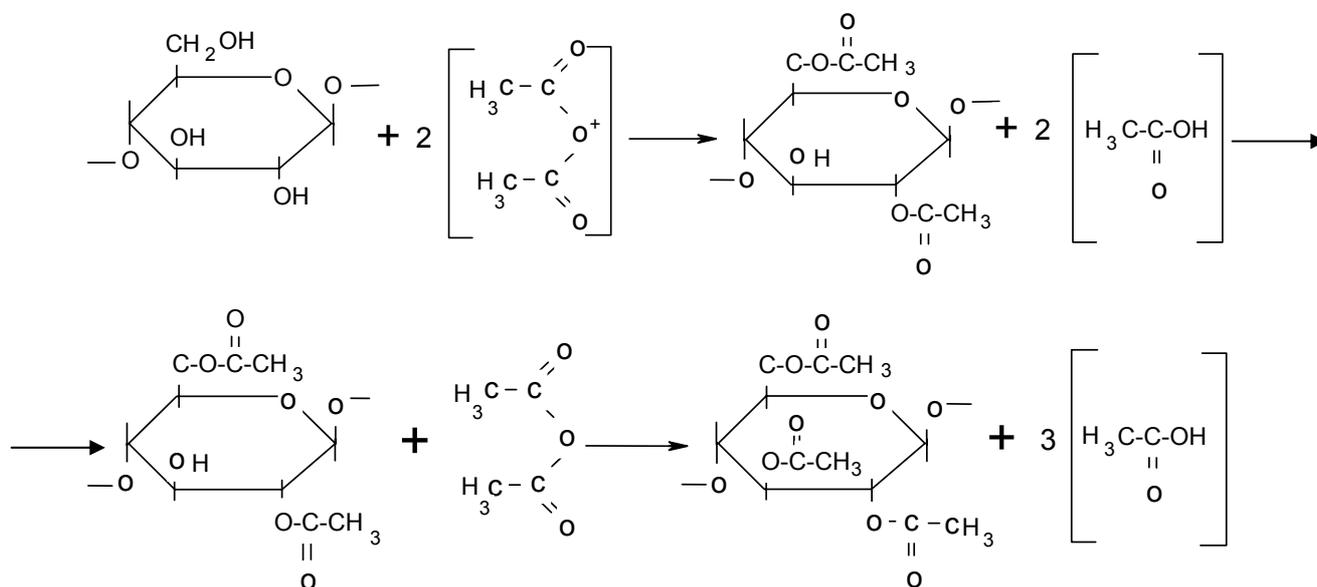


Figura 11 - Acetilação de uma parte da molécula de β -D-anidroglicopirranose, produzindo um triacetato de celulose.

Os resultados do estudo da reação, relativamente lenta e limitada da celulose, com ácido acético e água, mostraram a partir da análise dos produtos da reação, que aproximadamente 12% de todos os grupos de hidroxilas estão livres para reagir. Eles agem de acordo com a cinética da acetilação homogênea e devem, portanto, estar localizados em áreas livremente acessíveis, tais como as superfícies externas das fibras. As outras hidroxilas, estando aparentemente envolvidas na forte ligação com hidrogênio, acetilam muito lentamente e a taxa de reação delas é aparentemente controlada pela taxa de difusão dos constituintes dos meios de reação, isto é, água e/ou ácido acético, para o interior das fibras. Um aumento na temperatura melhora o efeito da ativação, ajuda a superar a barreira de energia das ligações de hidrogênio das hidroxilas, e aumenta a taxa de difusão, aumentando assim o progresso da esterificação. Foi estudada através de uma técnica especial medindo a elevação da temperatura sob condições adiabáticas a taxa de acetilação da celulose ativada e

não ativada. Foi descoberto que ambos os casos de acetilação ocorriam através de uma reação praticamente de primeira ordem.

Nos estágios iniciais da acetilação, a difusão do agente esterificador para dentro dos interstícios interfibrilares acessíveis é o fator de controle da reação. Nesse estágio, a taxa de acetilação de ambos os tipos de hidroxilas pode ser substancialmente maior do que a taxa de difusão. Sob tais condições, as suas diferentes reatividades na acetilação não importarão e o resultado observado será a substituição simultânea das hidroxilas primárias e secundárias na medida em que elas são alcançadas pelo reagente.

Na medida em que a reação passa para o interior, ocorre um melhor ordenamento das unidades fibrilares à taxa de difusão. Nessa fase, a reação mais lenta será influenciada pelo envolvimento das hidroxilas primárias e secundárias nas ligações de hidrogênio intermolecular (intra e interplanar). A penetração do agente de esterificação e o progresso da reação de substituição para dentro da treliça ocorrerá sob rompimento das ligações de hidrogênio. Sob essas condições, o fator de controle da taxa de reação será a liberação das hidroxilas para a acetilação e nesse caso a usual reatividade mais elevada das hidroxilas primárias entrará em cena.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

As espécies utilizadas foram *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea* var. *Hondurensis*, ambas foram obtidas em plantios no município de Viçosa, estado de Minas Gerais.

As densidades básicas das espécies foram: *E. grandis*: 0,51g/cm³ e *Pinus caribaea*: 0,49 g/cm³

Para a confecção dos flocos as toras foram desdobradas em tábuas, com 1 metro de comprimento e 2 cm de espessura. As tábuas e costaneiras foram novamente serradas produzindo-se baguetas com 2 cm de espessura e 9 cm de largura. Após a saturação em água, as baguetas foram processadas em um moinho de disco, produzindo-se flocos com as seguintes dimensões aproximadamente, 90 X 20 X 0,46 mm.

Os flocos foram classificados com o auxílio de peneira pela ação da gravidade. A peneira usada para classificar os flocos era manual, de formato retangular, com malha quadrangular de dimensão 179,94mm², e teve como finalidade separar os finos. Após esta seleção, os flocos foram secos em estufa a uma temperatura de 45 °C e ventilação forçada, até atingirem o teor de umidade igual a 3%. Logo em seguida foram armazenados em sacos plásticos, até a confecção dos painéis que serviram como tratamentos testemunhas.

Os flocos para a confecção das chapas esterificadas, foram secos a uma temperatura de $(100 \pm 3^\circ)\text{C}$ com ventilação forçada por um período de 24 horas. Logo em seguida, foram preparadas as soluções com os anidridos ftálico e maleico.

As soluções de anidrido ftálico e anidrido maleico, foram preparadas com os seguintes solventes e proporções:

- Álcool etílico/éter etílico, 98%, anidrido ftálico, 2%.
- Acetato de etila, 80%, anidrido maleico 20%.
- Acetona 50%, anidrido maleico 50%

Após preparadas as soluções, as mesmas foram despejadas lentamente sobre os flocos em tambores de plástico, com alça vedante. Sendo estes hermeticamente fechados, conforme mostra a Figura 12.



Figura 12 – Tambores contendo os flocos e as soluções de anidridos.

Os flocos ficaram dentro dos tambores durante 24 e 48 horas, depois foram estendidos sobre lonas plásticas no pátio, para volatilizar o restante do solvente e terminar de fixar o produto na madeira. Após a secagem no pátio, os mesmos foram lavados para retirar o excesso de solução e novamente secos a temperatura ambiente, depois foram levados em estufa com ventilação forçada a 45° C por 3 dias, até atingirem 3% de umidade, logo em seguida foram ensacados, até a fabricação dos painéis, conforme mostra a Figura 13.



Figura 13 – Flocos ensacados após esterificados e secos.

Os flocos acetilados foram pesados e deixados por 1 hora, reagindo dentro de tambores hermeticamente fechados com os ácidos ftálico ou acético, empregados neste processo, depois foi drenado o ácido e colocado o anidrido para reagir. O anidrido ficou em contato com os flocos durante 1 hora, em seguida foram transferidos para uma autoclave eletrônica e colocados a temperatura de 120°C, para proceder a reação de acetilação, conforme mostra a Figura 14.



Figura 14 - Foto dos flocos sendo postos dentro da autoclave.

A autoclave permaneceu aquecida a 120°C, por períodos de 1 ou de 3 horas, conforme o tratamento estipulado. Os flocos foram deixados por mais 1 hora dentro da autoclave, sob efeito de vácuo. Depois desta etapa, eles foram retirados e deixados no pátio, por 24 horas. Após este tempo, algumas amostras tratadas foram levadas em estufa a 103 °C, onde permaneceram por mais 24 horas, para serem em seguida pesadas e determinado o teor de acetilação. Os flocos acetilados foram lavados para a retirada do excesso de anidrido.

Para a confecção dos painéis OSB foi usado fenol-formaldeído (CASCOPHEN HL-2080). As propriedades dos adesivo utilizado são mostradas no Quadro 1.

Quadro1 - Propriedades do adesivos.

| Adesivo | Tempo de gelatinização(seg) | PH (25°C) | Teor de sólidos resinosos (%) | Viscosidade (cp) |
|----------|-----------------------------|-----------|-------------------------------|------------------|
| Fenólico | 15,5 | 12,07 | 48 | 700 |

A proporção de adesivo utilizado para a confecção dos painéis foi de 8% de sólidos em relação à massa seca de madeira.

A aplicação do adesivo foi feita em um encolador de tambor, dotado de uma pistola de pintura acionada por ar comprimido.

Para a confecção do colchão dos painéis, foi utilizada uma forma de madeira, vazada, onde os flocos foram distribuídos, orientando-se 25% dos flocos de cada face em uma direção, formando um ângulo de 90° em relação ao miolo. Os flocos foram depositados na caixa formadora com o cuidado de manter a uniformidade para evitar diferenças de gradiente na chapa.

Os flocos não puderam ser orientados na forma com a grade divisória, devido a fragmentação dos mesmos, durante as etapas do processo.

Todas as chapas foram prensadas a uma temperatura de 140°C e a uma pressão de 32Kgf/cm², por 15 minutos, contados a partir do fechamento da prensa.

Todos os painéis tiveram como meta uma densidade igual a 0,70 g/cm³ e espessura igual a 1cm. O tamanho da chapa foi de 40 X 40 cm.

Após, retiradas da prensa, as chapas foram acondicionadas em uma caixa de madeira com tampa, por um período de sete dias.

Depois de uma semana, as chapas foram retiradas da caixa e esquadrejadas, apresentando dimensões de 38 X 38 X 1 cm. Em seguida, foram recortadas para obtenção dos corpos de prova, como mostra a Figura 15.

Os corpos-de-prova foram climatizados até o equilíbrio, a uma umidade relativa de (65±5)% e a uma temperatura de (20±3)°C, conforme estabelecido pela normas ASTM-D 1037(1991) e ABNT (NBR 14810-3), 2002.

Todos os ensaios foram realizados conforme a norma da ABNT (NBR 14810-3), 2002, e os valores obtidos nos testes, foram comparados com a norma ANSI/A -

208.1 (1993). Algumas propriedades foram avaliadas com base na norma canadense CSA O437-93, conforme mostra o Quadro 2.

Quadro 2 – Propriedades requeridas para chapas de partículas.

| Classificação | Inchamento em Espessura | | | Expansão Linear (%) | Absorção em Água Tolerância (%) | | Flexão Estática | | Ligação Interna (Kgf/cm ²) | Dureza (kgf) | Arrancamento de Parafuso (Kgf) | |
|---------------|--------------------------------|-----|------|---------------------|---------------------------------|------|-----------------------------|-----------------------------|--|--------------|--------------------------------|-------|
| | Tolerância média do painel (%) | | | | 2 h | 24 h | MOE (Kgf/c m ²) | MOR (Kgf/c m ²) | | | Face | Borda |
| | Am b. | 2 h | 24 h | | | | | | | | | |
| H – 1 | NE | NE | NE | NE | NE | NE | 24.000 | 165 | 9 | 222,5 | 180 | 132,5 |
| H - 2 | NE | NE | NE | NE | NE | NE | 24.000 | 205 | 9 | 445,0 | 190 | 155,0 |
| H – 3 | NE | NE | NE | NE | NE | NE | 27.500 | 235 | 10 | 667,5 | 200 | 155,0 |
| M – 1 | NE | NE | NE | 0,35 | NE | NE | 17.250 | 110 | 4 | 222,5 | NE | NE |
| M – S | NE | NE | NE | 0,35 | NE | NE | 19.000 | 125 | 4 | 222,5 | 90 | 80 |
| M – 2 | NE | 6* | 15* | 0,35 | 10** | 15** | 22.500 | 145 | 4,5 | 222,5 | 100 | 90 |
| M – 3 | NE | NE | NE | 0,35 | NE | NE | 27.500 | 165 | 5,5 | 222,5 | 110 | 100 |
| LD – 1 | NE | 6 | 15 | 0,35 | 10 | 15 | 5.500 | 30 | 1,0 | NE | 40 | NE |
| LD – 2 | NE | NE | NE | 0,35 | NE | NE | 10.250 | 50 | 1,5 | NE | 55 | NE |

Onde: H – Alta densidade (superior a 800 kg/m³).

M – Média densidade (640 – 800 kg/m³).

MS – Densidade média especial (Propriedades físicas entre M-1 e M-2).

LD – Baixa densidade (menor que 640 kg/m³)

NE – Não-especificado.

* Norma DIN 68m761 (1) – 1961 (SANTANA & PASTORE, 1981) e ** norma CSA 0437-1993.

Fonte: Adaptado de ANSI/A 208.1 – 1993 “Wood Particleboard”

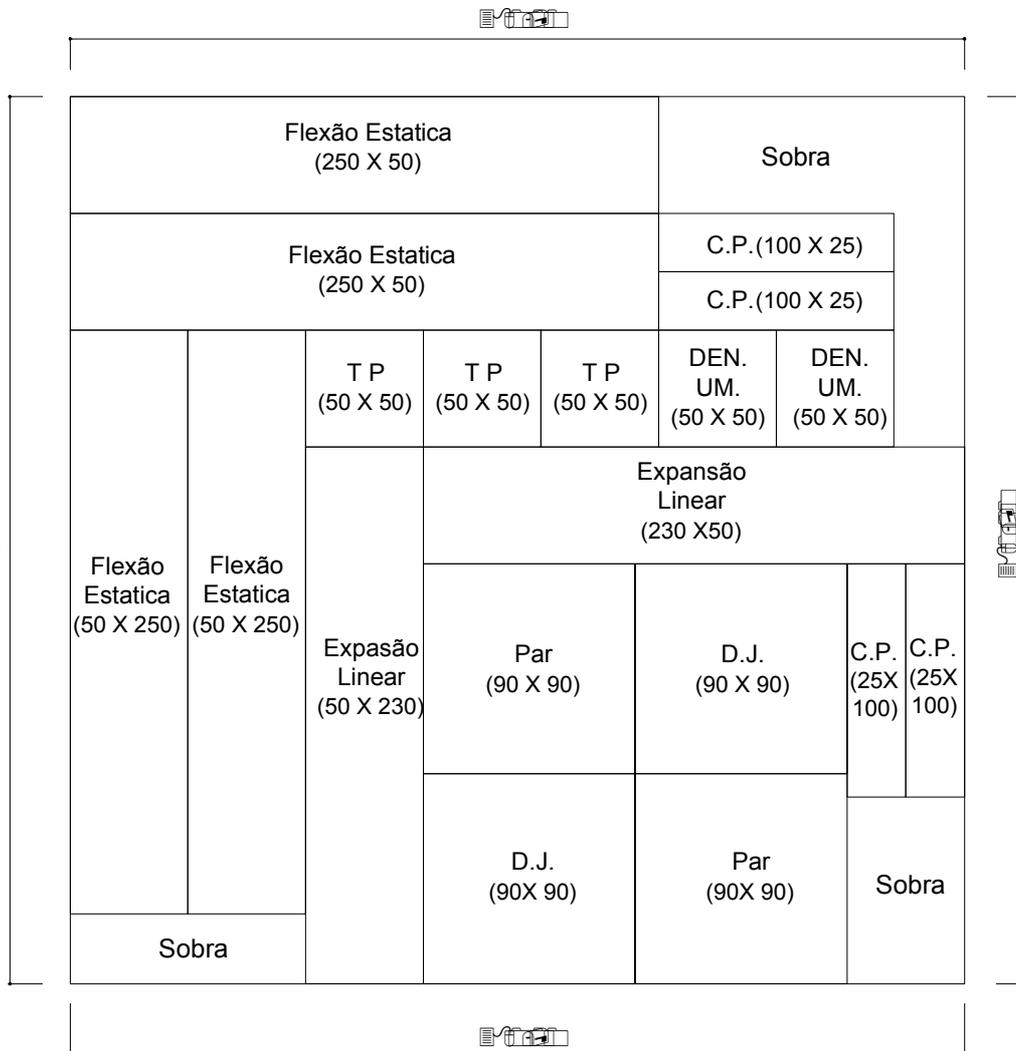


Figura 15 – Representação da posição dos corpos de prova na chapa.

Para o ensaio de expansão linear e adsorção de água, os corpos-de-prova foram novamente climatizados até atingirem equilíbrio a uma temperatura de $(20 \pm 3)^\circ\text{C}$ e uma umidade relativa de $(90 \pm 5)\%$.

Todos os tratamentos foram feitos com três repetições, 2 tempos, 2 tipos de solvente/catalisador, 3 tipos de anidrido, sendo todos estes critérios adotados para as duas espécies.

A) Painéis de *Eucalyptus grandis*

- o E0 – *E. grandis* (testemunha)
- o E1 – *E. grandis* + AF + AE (24H)
- o E2 – *E. grandis* + AF + AE (48H)
- o E3 – *E. grandis* + AF + EE (24H)
- o E4 – *E. grandis* + AF + EE (48H)
- o E5 – *E. grandis* + AM + Acetato de etila (24H)
- o E6 – *E. grandis* AM + Acetato de etila (48H)
- o E7 – *E. grandis* AM + Acetona (24H)
- o E8 – *E. grandis* AM + Acetona (48H)
- o E9 – *E. grandis* AA + AA (24H)
- o E10 – *E. grandis* + AA + AA (48H)
- o E11 – *E. grandis* + AA + AF (24H)
- o E12 – *E. grandis* + AA + AF (48H)

B) Painéis de *Pinus caribaea* var. *Hondurensis*.

- o P0 – *P. caribaea* (testemunha)
- o P1 – *P. caribaea* + AF + AE (24H)
- o P2 – *P. caribaea* + AF + AE (48H)
- o P3 – *P. caribaea* + AF + EE (24H)
- o P4 – *P. caribaea* + AF + EE (48H)
- o P5 – *P. caribaea* + AM + Acetato de etila (24H)
- o P6 – *P. caribaea* AM + Acetato de etila (48H)
- o P7 – *P. caribaea* AM + Acetona (24H)
- o P8 – *P. caribaea* AM + Acetona (48H)

- o P9 – *P. caribae* AA + AA (24H)
- o P10 - *P. caribae* + AA + AA (48H)
- o P11 - *P. caribae* + AA + AF (24H)
- o P12 - *P. caribae* + AA + AF (48H)

Os dados obtidos foram interpretados com o auxílio de análise de variância e as médias comparadas empregando-se o Teste Tukey à nível, de 5% de significância.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Massa específica

Conforme pode ser observado na Figura 16, o valor médio da densidade dos painéis foi de, aproximadamente, $0,71 \text{ g/cm}^3$, Com amplitude de variância entre $0,67 \text{ g/cm}^3$ até $0,73 \text{ g/cm}^3$, não houve diferença significativa em nível de 5% de significância pelo teste de Tukey.

Segundo a norma ANSI/A1-280/93 (1993), estes painéis são classificados como de média densidade.

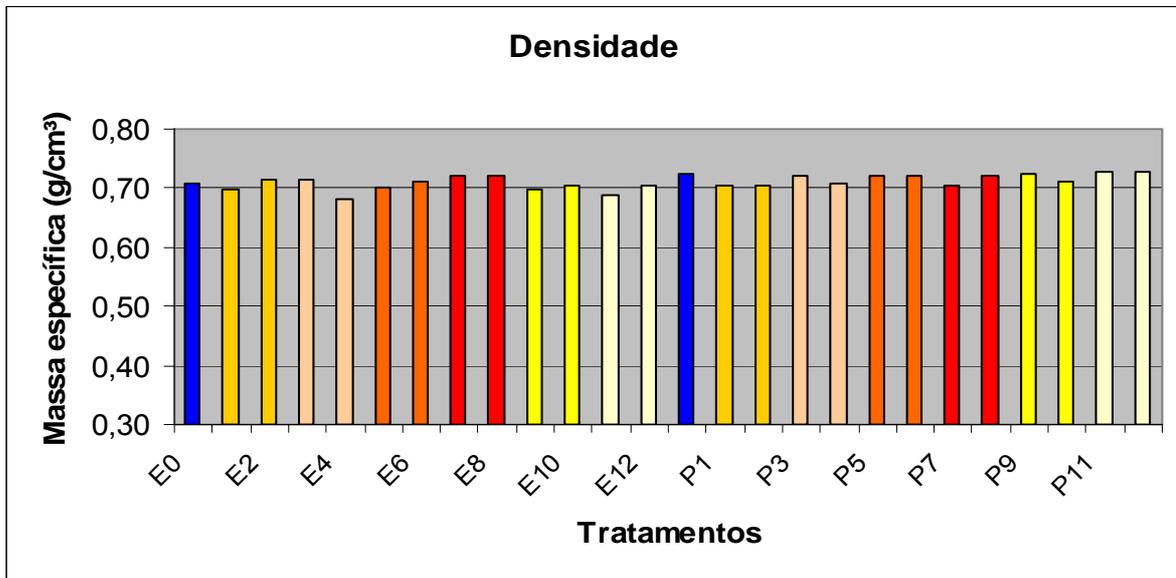


Figura 16 – Valores médios das densidades dos painéis OSB (g/cm³), analisados, sendo: E0 e P0, as testemunhas de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea*, respectivamente; AF: anidrido ftálico; AM: anidrido maleico; Acet.: acetato; AA: anidrido acético; Ac.: ácido.

5.2 TEOR DE UMIDADE

Os valores médios para teor de umidade dos painéis, após equilíbrio a 20°C e 65% de umidade relativa, são representados na Figura 17. Nota-se, no geral, uma tendência dos painéis, fabricados com flocos esterificados, apresentarem médias inferiores às médias apresentadas pelas testemunhas, para as duas espécies. Os valores médios variaram entre 5,05 e 9,98%. No mercado de painéis, estes são comercializados com teores de umidade variando entre 8 e 11%.

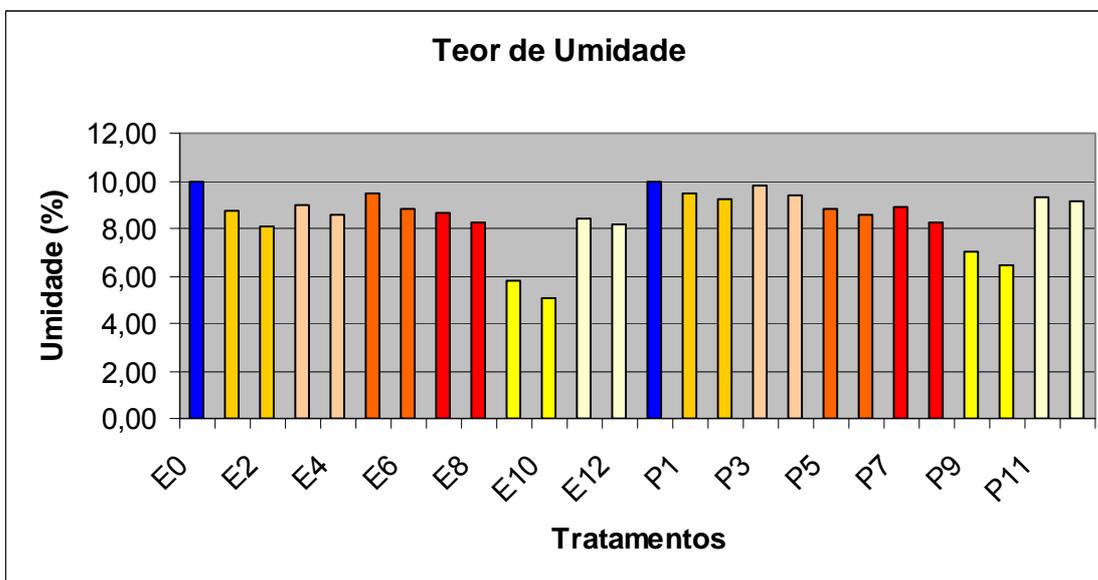


Figura 17 – Valores médios de teor de umidade dos painéis OSB (g/cm^3), sendo: E0 e P0: as testemunhas de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea*, respectivamente; AF: anidrido ftálico; AM: anidrido maleico; Acet.: acetato; AA: anidrido acético; Ac.: ácido.

Pela análise de variância, observa-se diferença significativa entre os tratamentos, em função do tipo de anidrido e do solvente utilizado (Quadro 3). Os painéis confeccionados com os anidridos ftálico e maleico, utilizando o solvente tipo 1 foram os que apresentaram maiores valores para a variável teor de umidade. Isto, provavelmente, se deve a menor esterificação da madeira pelos anidridos ftálico e maleico com este tipo reagente.

Para o anidrido ftálico o solvente tipo 1 utilizado foi o álcool etílico, tendo uma solubilidade de apenas 2%. O mesmo também apresenta uma estrutura de alto peso molecular, o que dificulta tanto sua solubilidade neste solvente, quanto sua penetração e retenção pelos componentes da parede celular.

O anidrido maleico teve como solvente tipo 1 o acetato de etila, tendo uma solubilidade de 20%, enquanto que no solvente tipo 2 (acetona), sua solubilidade é de 50%, porém ele cristaliza rapidamente após a evaporação do solvente, fato que provavelmente interfere em sua penetração na madeira, devido a obstrução dos

elementos de vasos do *Eucalyptus grandis*, e das membranas das pontuações no caso do *Pinus caribaea*.

Quadro 3 - Valores médios de umidade (%) dos tratamentos, em função do tipo de anidrido e solvente/catalisador utilizados, para as duas espécies em questão.

| Anidridos | Solvente/Catalisador | |
|------------------|---|------------------------------------|
| | Tipo 1 Álcool /acetato de etila/ac. acético | Tipo 2 Éter/Acetona/Ac. ftálico |
| Anidrido ftálico | 8,88 (A, b) | 9,19 (A, a) |
| Anidrido maleico | 8,91 (A, a) | 8,51 (B, b) |
| Anidrido acético | 6,07 (B, b) | 8,77 (B, a) |

* Médias seguidas de mesma letra minúscula, numa mesma linha ou mesma letra maiúscula numa mesma coluna, não diferem entre si em nível de 5% de significância, pelo teste Tukey.

O anidrido acético por ser líquido e usado sob condições controladas de temperatura e pressão, possui uma penetração e uma retenção maior na madeira, quando comparado aos anidridos maleico e ftálico, utilizando o catalisador tipo 1 (ácido acético).

Na madeira de *Eucalyptus grandis*, a retenção do anidrido acético empregando-se o catalisador tipo 1, durante 1h, foi de aproximadamente 15%, enquanto que na madeira de *Pinus caribaea*, sob as mesmas condições, foi de 10%. Esta diferença indica que houve uma maior quantidade de grupos hidrofóbicos formados na madeira de *Eucalyptus grandis*, fazendo com que a mesma, entrasse em equilíbrio higroscópico com menor teor de umidade, conforme pode ser observado no **Quadro 4**.

Quadro 4 - Valores médios de umidade (%) dos tratamentos, em função da espécie e do tipo de anidrido utilizado.

| Anidridos | Espécies | |
|------------------|---------------------------|------------------------|
| | <i>Eucalyptus grandis</i> | <i>Pinus caribeeae</i> |
| Anidrido ftálico | 8,60 (A, b) | 9,48 (A, a) |
| Anidrido maleico | 8,79 (A, a) | 8,63 (B, a) |
| Anidrido acético | 6,85 (B, b) | 7,98 (C, a) |

* Médias seguidas de mesma letra minúscula, numa mesma linha ou mesma letra maiúscula numa mesma coluna, não diferem entre si em nível de 5% de significância, pelo teste Tukey.

5.3 ADSORÇÃO DE ÁGUA

A alteração da condição de equilíbrio no acondicionamento dos painéis, de 65% de UR e 20°C, para 90% de UR e 20°C, ocasionou uma adsorção de água, que variou de 3,39 a 8,62%, conforme pode ser observado na **Figura 18**.

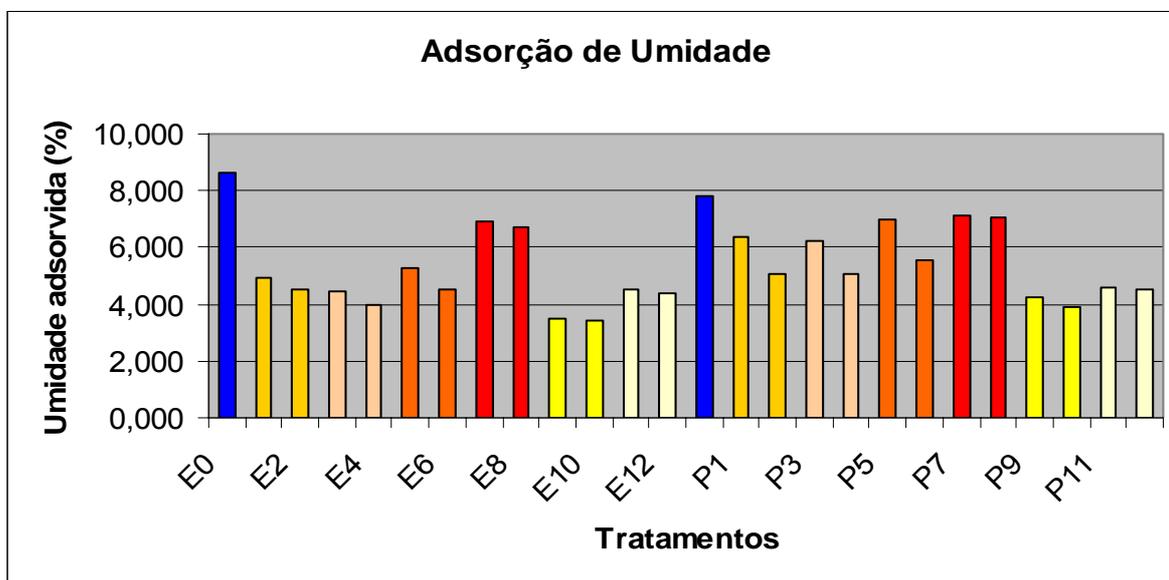


Figura 18 – Valores médios para adsorção de água nos painéis OSB (g/cm³), sendo: e P0: as testemunhas de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribeeae*, respectivamente; AF: anidrido ftálico; AM: anidrido maleico; Acet.: acetato; AA: anidrido acético; Ac.: ácido.

No **Quadro 5** são mostradas as médias analisadas pelo teste de Tukey, onde é possível observar uma interação significativa, entre tipo de anidrido e solvente/catalisador utilizado, no tratamento dos flocos.

O anidrido ftálico, para este ensaio, apresentou resposta indiferente quanto ao tipo de solvente utilizado, fato que pode ser explicado em parte, pela solubilidade do mesmo nos dois solventes, álcool etílico e éter etílico, sendo de 2% em ambos.

Os painéis confeccionados com anidrido maleico, além das testemunhas, apresentaram as maiores médias de adsorção, independente do solvente utilizado, quando comparado com os outros 2 anidridos. Isto deve-se, provavelmente, a solubilidade dos cristais desse anidrido formados no lúmen das células, quando expostos por um longo tempo a uma atmosfera saturada, conforme ocorreu durante o período de climatização destes painéis, que foi de aproximadamente 2 meses.

A acetilação foi o tratamento químico mais eficiente, quanto à adsorção de água, apresentando estes painéis valores inferiores àqueles apresentados pelos painéis tratados com os anidridos maleico e ftálico, conforme mostra o **Quadro 5**.

Quadro 5 - Valores médios de adsorção de água (%) dos tratamentos, em função do tipo de anidrido e do solvente/catalisador utilizado.

| Anidridos | Solvente/Catalisador | |
|------------------|---|------------------------------------|
| | Tipo 1 Álcool /acetato de etila/ac. acético | Tipo 2 Éter/Acetona/Ac. ftálico |
| Anidrido ftálico | 5,22 (B, a) | 4,95 (B, a) |
| Anidrido maleico | 5,59 (A, b) | 6,96 (A, a) |
| Anidrido acético | 3,76 (C, b) | 4,51 (C, a) |

* Médias seguidas de mesma letra minúscula, numa mesma linha ou mesma letra maiúscula numa mesma coluna, não diferem entre si em nível de 5% de significância, pelo teste Tukey.

O tempo de reação do tratamento dos flocos, também apresentou diferença, conforme mostrado no **Quadro 6**. Os tratamentos feitos com anidrido acético no

período de uma hora e três horas apresentaram os melhores resultados, sendo os menos higroscópicos, indicando uma maior eficiência desse tratamento.

A higroscopicidade dos flocos tratados com anidrido maleico e ftálico foi afetado pelo tempo de reação de 24 e 48 horas. Um maior tempo de reação mostrou ser mais eficiente para a esterificação com estes 2 anidridos, provavelmente devido a um tempo maior de exposição do produto com a madeira, o que ocasionou uma maior impregnação do produto e conseqüentemente uma maior percentagem de grupos hidroxilas substituídos.

Quadro 6 - Valores médios de adsorção de água (%) dos tratamentos, em função do tipo de anidrido e do tempo de reação.

| Anidridos | Tempos | |
|------------------|-------------------|--------------------|
| | Tempo1 (24/1H) | Tempo 2 (48/3H) |
| Anidrido ftálico | 5,50 (B, a) | 4,67 (B, b) |
| Anidrido maleico | 6,59 (A, a) | 5,96 (A, b) |
| Anidrido acético | 4,22 (C, a) | 4,06 (C, a) |

* Médias seguidas de mesma letra minúscula, numa mesma linha ou mesma letra maiúscula numa mesma coluna, não diferem entre si em nível de 5% de significância, pelo teste Tukey.

Quanto ao tempo de reação e o tipo de solvente/catalisador utilizado, observa-se no **Quadro 7** que o solvente/catalisador tipo 1 foi mais eficiente que o solvente/catalisador tipo 2, para o ensaio em questão. Em função do tempo de exposição do produto, presume-se que quanto maior o tempo de exposição, mais eficiente se torna o processo, dando melhores resultados para este tipo de ensaio.

Quadro 7 - Valores médios de adsorção de água (%) dos tratamentos, em função do tipo de solvente/catalisador e do tempo da reação.

| Solvente/catalisador | Tempos | |
|--|-------------------|--------------------|
| | Tempo1 (24/1H) | Tempo 2 (48/3H) |
| Tipo 1 Álcool /acetato de etila/ac. acético | 5,22 (B, a) | 4,49 (B, b) |
| Tipo 2 Éter/Acetona/Ac. ftálico | 5,65 (A, a) | 5,30 (A, b) |

* Médias seguidas de mesma letra minúscula, numa mesma linha ou mesma letra maiúscula numa mesma coluna, não diferem entre si em nível de 5% de significância, pelo teste Tukey.

No Quadro 8 são mostrados os valores médios de adsorção de água para os três anidridos observando-se o efeito significativo na interação espécie e anidrido. Para ambas as espécies, os painéis constituídos por flocos tratados com anidrido acético apresentaram as menores médias para adsorção de água, sendo que, os painéis constituídos por madeira de *Eucalyptus grandis* apresentaram as menores médias no geral, devido a maior retenção, e conseqüentemente, maior substituição de grupos hidroxilas por grupos acetilas, quando comparada com a retenção desse anidrido pela madeira de *Pinus caribae*. Nos trabalhos realizados por VICK & ROWELL, 1989, estes dois autores também encontraram valores baixos para adsorção de água em painéis fabricados com madeira acetilada.

Quadro 8 - Valores médios de adsorção de água (%) dos tratamentos, em função da espécie e do tipo de anidrido utilizado.

| Anidridos | Espécies | |
|------------------|---------------------------|------------------------|
| | <i>Eucalyptus grandis</i> | <i>Pinus caribaeae</i> |
| Anidrido ftálico | 4,49 (B, b) | 5,68 (B, a) |
| Anidrido maleico | 5,86 (A, b) | 6,69 (A, a) |
| Anidrido acético | 3,97 (C, b) | 4,31 (C, a) |

* Médias seguidas de mesma letra minúscula, numa mesma linha ou mesma letra maiúscula numa mesma coluna, não diferem entre si em nível de 5% de significância, pelo teste Tukey.

A interação entre reagente e espécie, foi significativa conforme mostrado no **Quadro 9**. O solvente/catalisador tipo 1 para as 2 espécies apresentou os melhores resultados, com as menores médias para adsorção de água. Observa-se que para os dois solventes/catalisadores empregados a espécie que apresentou as menores médias para este ensaio foi a de *Eucalyptus grandis*. Isto provavelmente, está associado a composição química da madeira e a sua constituição anatômica, fato intimamente relacionado com a penetração e retenção dos produtos químicos, quando em contato direto, destes com a madeira, durante a reação.

Quadro 9 - Valores médios de adsorção de água (%) dos tratamentos, em função da espécie e do tipo de solvente/catalisador utilizado.

| Solvente/catalisador | Espécies | |
|---|---------------------------|------------------------|
| | <i>Eucalyptus grandis</i> | <i>Pinus caribeeae</i> |
| Tipo 1 Álcool /acetato de etila/ac. acético | 4,36 (B, b) | 5,36 (B, a) |
| Tipo 2 Éter/Acetona/Ac. ftálico | 5,18 (A, b) | 5,77 (A, a) |

* Médias seguidas de mesma letra minúscula, numa mesma linha ou mesma letra maiúscula numa mesma coluna, não diferem entre si em nível de 5% de significância, pelo teste Tukey.

5.4 EXPANSÃO LINEAR

Na **Figura 19** estão representados os valores médios de expansão linear, no sentido longitudinal, em relação a orientação predominante dos flocos nas faces do painel. As maiores médias, foram observadas nas testemunhas. Pela análise gráfica, observa uma diferença entre os tratamentos feitos com flocos modificados quimicamente, sendo as menores médias observadas nos painéis confeccionados com flocos acetilados.

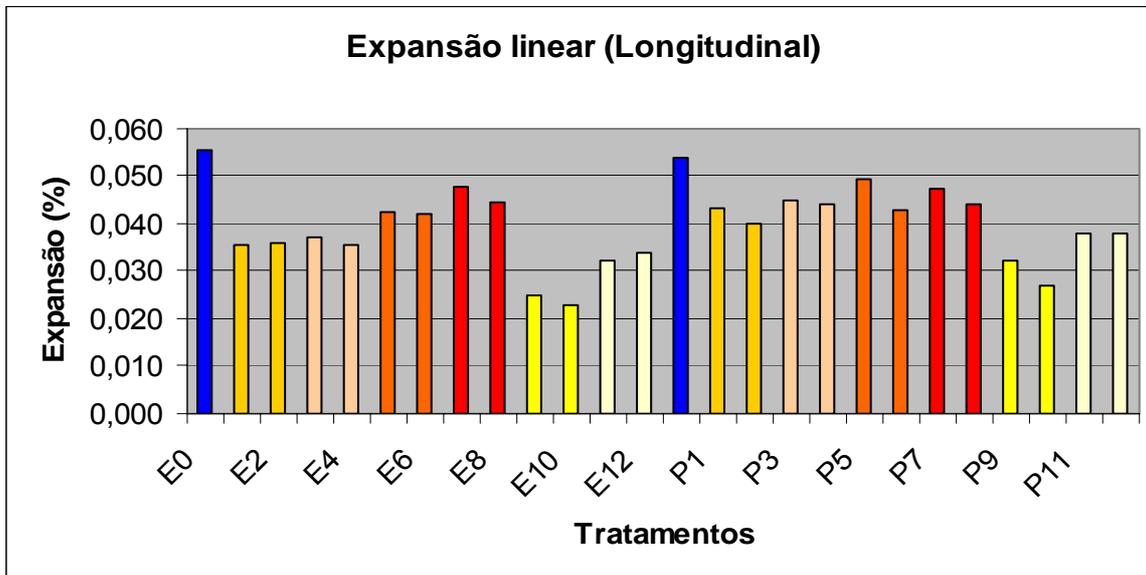


Figura 19 – Valores médios para o ensaio de expansão linear, sentido longitudinal, para painéis OSB (g/cm^3), sendo: E0 e P0, as testemunhas de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea*, respectivamente; AF: anidrido ftálico; AM: anidrido maleico; Acet.: acetato; AA: anidrido acético; Ac.: ácido.

No Quadro 10 são apresentados os valores médios de expansão linear, sentido paralelo a orientação das faces. Em consequência da baixa higroscopicidade, apresentada pelos painéis acetilados, estes foram os painéis que apresentaram as menores médias para este ensaio, sendo o reagente tipo 1 (ácido acético), o responsável pela maior estabilidade dimensional destes painéis. Este resultado pode estar associado a uma menor reatividade do ácido acético residual, usado na primeira fase do tratamento para promover o inchamento das fibras, com o anidrido acético que foi adicionado na segunda fase do processo de acetilação.

Quadro 10 - Valores médios de expansão linear (%), sentido longitudinal, dos tratamentos, em função do tipo de anidrido e do reagente utilizado.

| Anidridos | Solvente/Catalisador | |
|------------------|---|---|
| | Tipo 1 Álcool /acetato de etila/ac. acético | Tipo 1 Álcool /acetato de etila/ac. acético |
| Anidrido ftálico | 0,04 (B, a) | 0,04 (B, a) |
| Anidrido maleico | 0,05 (A, a) | 0,05 (A, a) |
| Anidrido acético | 0,03 (C, b) | 0,04 (C, a) |

* Médias seguidas de mesma letra minúscula, numa mesma linha ou mesma letra maiúscula numa mesma coluna, não diferem entre si em nível de 5% de significância, pelo teste Tukey.

Os painéis fabricados com flocos da espécie *Eucalyptus grandis*, tratados com anidrido acético, apresentaram médias menores do que aqueles fabricados com madeira de *Pinus caribaea*, também acetilados (**Quadro 11**).

Os painéis constituídos por madeira tratada com os anidridos maleico e ftálico, apresentaram as maiores médias, ou seja, foram os painéis que apresentaram maior instabilidade dimensional, quando submetidos em condição de alta umidade relativa (90%), por um período prolongado.

Quadro 11 - Valores médios de expansão linear (%), no sentido longitudinal, dos tratamentos, em função da espécie e do tipo de anidrido utilizado.

| Anidridos | Espécies | |
|------------------|---------------------------|------------------------|
| | <i>Eucalyptus grandis</i> | <i>Pinus caribeeae</i> |
| Anidrido ftálico | 0,03 (B, b) | 0,04 (A, a) |
| Anidrido maleico | 0,04 (A, b) | 0,05 (A, a) |
| Anidrido acético | 0,03 (C, b) | 0,03 (B, a) |

* Médias seguidas de mesma letra minúscula, numa mesma linha ou mesma letra maiúscula numa mesma coluna, não diferem entre si em nível de 5% de significância, pelo teste Tukey.

No ensaio de expansão linear, na direção perpendicular, assim como na direção paralela, é possível observar por meio do gráfico (Figura 20), que os tratamentos com menores médias, os mais estáveis dimensionalmente, foram aqueles confeccionados com flocos acetilados, tanto para o *Pinus* quanto para o *Eucalyptus*.

Segundo a norma CSA 0437-0/93, o mínimo exigido, comercialmente, para a expansão linear em painéis OSB, é de 0,35% no sentido longitudinal e 0,50% no sentido perpendicular, todos os painéis atenderam a essa exigência.

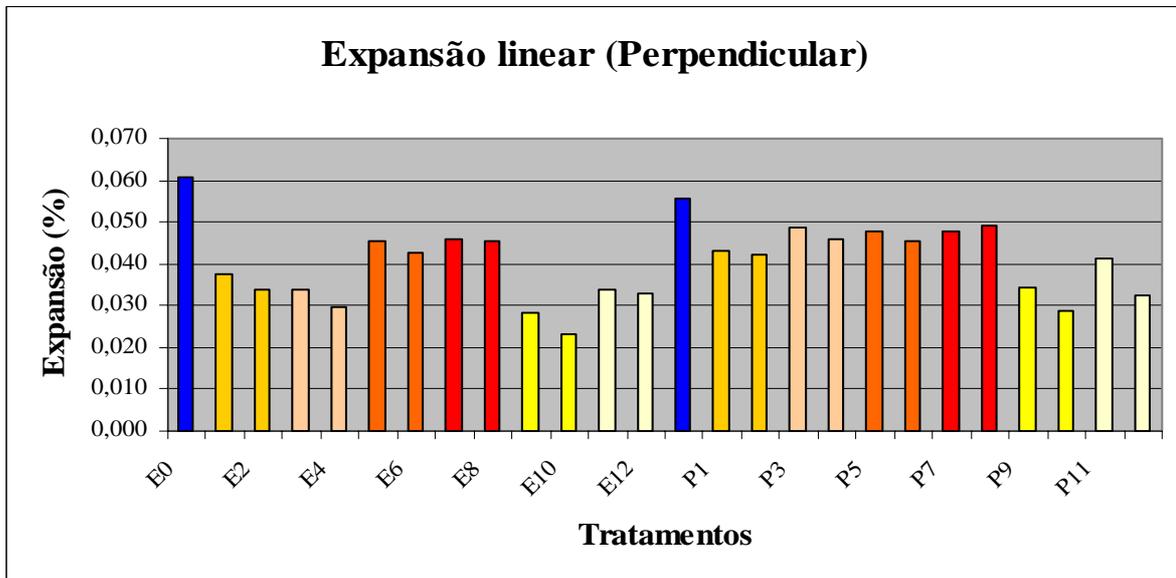


Figura 20 – Valores médios para o ensaio de expansão linear, sentido perpendicular, dos painéis OSB (g/cm^3), sendo: E0 e P0, as testemunhas, de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea*, respectivamente; AF: anidrido ftálico; AM: anidrido maleico; Acet.: acetato; AA: anidrido acético; Ac.: ácido.

No **Quadro 12**, observa-se diferença significativa para a interação anidrido e reagente. Como resultado de uma menor adsorção de água, os tratamentos fabricados com focos acetilados apresentaram as menores médias para expansão linear, na direção normal a orientação dos focos. Isto deve-se a uma maior estabilidade dos componentes químicos da madeira, tendo estes tratamentos seus sítios de adsorção bloqueados.

Os tratamentos fabricados com focos acetilados, nos quais houve a associação do catalisador tipo 2, ácido ftálico, usado para promover o inchamento das fibras, junto com o anidrido acético (agente esterificador), apresentaram valores médios, para expansão linear, superiores aos tratamentos acetilados, onde foi empregado o ácido acético como reagente, para promover o inchamento. Este fato pode estar associado as propriedades físicas do acetofalato de celulose, formado na estrutura química da madeira, nos sítios de adsorção, sendo este, um polímero contendo um grupamento ácido dicarboxílico numa forma parcialmente esterificada, capaz de ser degradado em meio básico, pH acima de 7. O adesivo utilizado na

confeção dos painéis foi o fenol-formaldeído, com pH de aproximadamente 12. Durante as reações de adesão, alguns grupos de acetofalato de celulose formados podem ter sido degradados, tornando a madeira nestes sítios de adsorção, novamente higroscópica, esta reação é intensificada durante o processo de prensagem.

Quadro 12 - Valores médios de expansão linear (%), sentido perpendicular, dos tratamentos, em função do reagente e do tipo de anidrido utilizado.

| Anidridos | Solvente/Catalisador | |
|------------------|---|---|
| | Tipo 1 Álcool /acetato de etila/ac. acético | Tipo 1 Álcool /acetato de etila/ac. acético |
| Anidrido ftálico | 0,04 (B, a) | 0,04 (B, a) |
| Anidrido maleico | 0,04 (A, a) | 0,05 (A, a) |
| Anidrido acético | 0,03 (C, b) | 0,04 (C, a) |

* Médias seguidas de mesma letra minúscula, numa mesma linha ou mesma letra maiúscula numa mesma coluna, não diferem entre si em nível de 5% de significância, pelo teste Tukey.

No **Quadro 13**, observa a influência da espécie no processo de esterificação, esta diferença ocorre devido, provavelmente, a composição química e anatômica diferente para as duas espécies. Os painéis confeccionados com madeira da espécie *Eucalyptus grandis*, apresentaram maior estabilidade dimensional, quando comparados com aqueles, fabricados com madeira de *Pinus caribae*, modificada quimicamente pelos anidridos ftálico e acético. Para os tratamentos com anidrido maleico não houve diferença significativa entre as duas espécies.

Quadro 13 - Valores médios de expansão linear (%), sentido perpendicular, dos tratamentos, em função da espécie e do tipo de anidrido utilizado.

| Anidridos | Espécies | |
|------------------|---------------------------|------------------------|
| | <i>Eucalyptus grandis</i> | <i>Pinus caribaeae</i> |
| Anidrido ftálico | 0,04(B, b) | 0,04 (A, a) |
| Anidrido maleico | 0,04 (A, a) | 0,05 (A, a) |
| Anidrido acético | 0,03 (C, b) | 0,03 (B, a) |

* Médias seguidas de mesma letra minúscula, numa mesma linha ou mesma letra maiúscula numa mesma coluna, não diferem entre si em nível de 5% de significância, pelo teste Tukey.

5.5 ABSORÇÃO DE ÁGUA (2H)

Observa-se graficamente (**Figura 20**), que as médias para os tratamentos confeccionados com flocos esterificados com anidrido maleico, tiveram uma tendência a serem menores para as duas espécies.

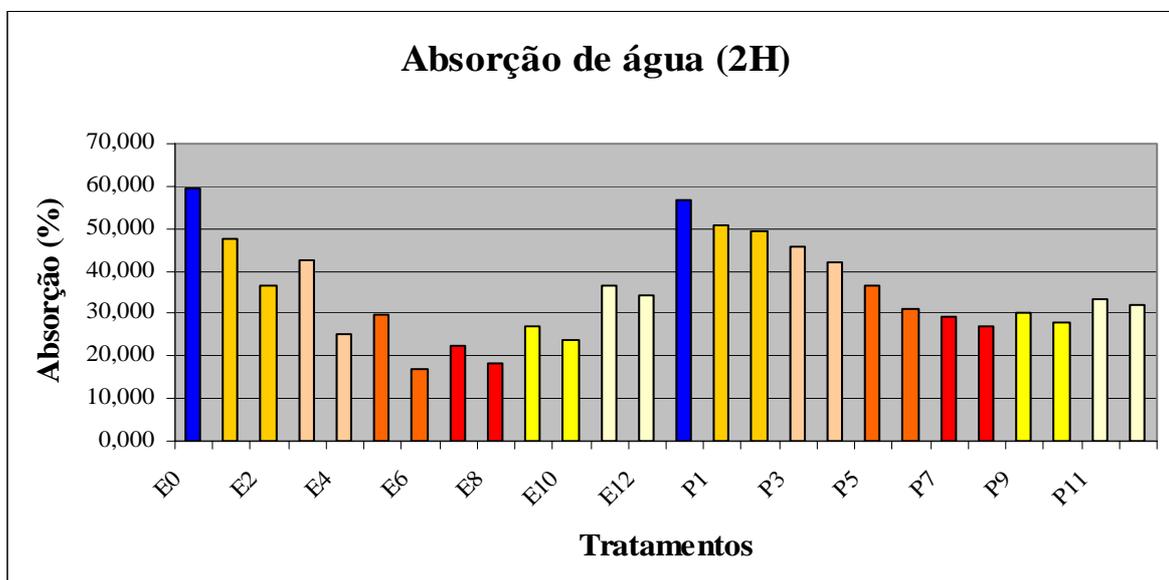


Figura 20 – Valores médios para absorção de água (2 h), pelos painéis OSB (g/cm³), sendo: E0 e P0, os tratamentos testemunhas de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaeae*, respectivamente; AF: anidrido ftálico; AM: anidrido maleico; Acet.: acetato; AA: anidrido acético; Ac.: ácido.

Os valores médios de absorção de água (2H), entre anidrido e solvente/catalisador, são mostrados no **Quadro 14**.

O anidrido maleico por ter uma diluição maior, cerca de 50%, no solvente tipo 2 (acetona), apresentou uma menor absorção de água. Este fato pode estar associado, a uma maior formação de cristais desse anidrido, no interior das células e nos canais que serviram como vias para penetração desse anidrido na madeira, ficando estes obstruídos. O tempo deixado para os corpos-de-prova, absorverem água, provavelmente foi insuficiente para solubilizar estes cristais e permitir a penetração da água na madeira.

Para ambos os solventes, álcool e éter, os tratamentos dos flocos esterificados pelo anidrido ftálico, mostraram ser menos resistentes a penetração de água.

Quadro 14 - Valores médios de absorção de água (%), durante 2 horas pelos tratamentos, em função do tipo de anidrido e do solvente/catalisador utilizado.

| Anidridos | Solvente/Catalisador | |
|------------------|---|---|
| | Tipo 1 Álcool /acetato de etila/ac. acético | Tipo 1 Álcool /acetato de etila/ac. acético |
| Anidrido ftálico | 46,14 (A, a) | 38,94 (A, b) |
| Anidrido maleico | 28,66 (B, a) | 24,24 (C, b) |
| Anidrido acético | 27,16 (B, b) | 34,07 (B, a) |

* Médias seguidas de mesma letra minúscula, numa mesma linha ou mesma letra maiúscula numa mesma coluna, não diferem entre si em nível de 5% de significância, pelo teste Tukey.

No **Quadro 15**, estão representadas as médias de absorção de água, em função do tempo de reação química (24 e 48 h) e do anidrido utilizado. Observa, que um tempo maior de exposição, da solução esterificante com a madeira, tornou o processo mais eficiente para todos os 3 tratamentos de esterificação.

Quadro 15 - Valores médios de absorção de água (%), durante 2 horas pelos tratamentos, em função do tipo de anidrido e do tempo de reação.

| Anidridos | Tempos | |
|------------------|-------------------|--------------------|
| | Tempo1 (24/1H) | Tempo 2 (48/3H) |
| Anidrido ftálico | 46,73 (A, a) | 38,35 (A, b) |
| Anidrido maleico | 29,62 (B, a) | 23,28 (C, b) |
| Anidrido acético | 31,78 (B, a) | 29,45 (B, b) |

* Médias seguidas de mesma letra minúscula, numa mesma linha ou mesma letra maiúscula numa mesma coluna, não diferem entre si em nível de 5% de significância, pelo teste Tukey.

Os painéis fabricados com flocos de *Eucalyptus grandis*, esterificados com anidrido maleico, foram os que apresentaram as menores médias para absorção de água durante 2 horas (**Quadro 16**).

O caminho percorrido pelo anidrido maleico, solubilizado, nesta folhosa, se dá pelo mesmo processo de condução de seiva, sendo a principal via os elementos de vaso. Quando o solvente volatilizou provavelmente obstruiu o lúmen desta células, tornando-se um impedimento a passagem de água.

Na madeira de *Pinus caribae*, o caminho principal percorrido pelo anidrido maleico, solubilizado, é através das pontuações dos fibrotraquídeos, sendo que este caminho é mais difícil para a penetração do anidrido, do que pelos elementos de vaso nas folhosas. Este fato pode estar associado a uma menor formação de cristais, obstruindo a passagem da água, na madeira de *Pinus* sp, o que levaria a uma maior absorção de água para esta espécie, quando comparada com a espécie *Eucalyptus grandis*.

Quadro 16 - Valores médios de absorção de água (%), durante 2 horas pelos tratamentos, em função da espécie e do tipo de anidrido utilizado.

| Anidridos | Espécies | |
|------------------|---------------------------|------------------------|
| | <i>Eucalyptus grandis</i> | <i>Pinus caribeeae</i> |
| Anidrido ftálico | 38,06 (A, b) | 47,02 (A, a) |
| Anidrido maleico | 21,84 (C, b) | 31,06 (B, a) |
| Anidrido acético | 30,41 (B, a) | 30,82 (B, a) |

* Médias seguidas de mesma letra minúscula, numa mesma linha ou mesma letra maiúscula numa mesma coluna, não diferem entre si em nível de 5% de significância, pelo teste Tukey.

5.6 ABSORÇÃO DE ÁGUA (24H)

A **Figura 21**, mostra a média de absorção de água pelos painéis. Nota-se que após um tempo maior de imersão em água, os painéis fabricados com flocos esterificados continuam sendo mais resistentes a absorção de água do que os painéis não esterificados. Ainda, nesta figura, é possível observar uma tendência dos tratamentos, esterificados com anidrido maleico, que apresentarem uma absorção de água maior do que aqueles tratamentos que foram acetilados.

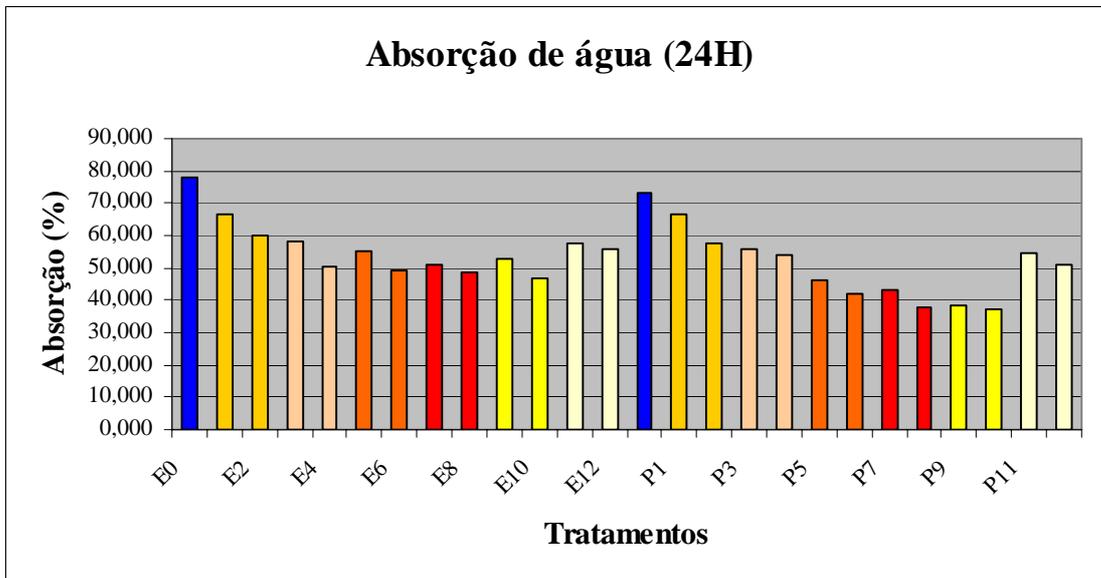


Figura 21 – Valores médios para absorção de água (24 h) dos painéis OSB (g/cm^3), sendo: E0 e P0, os tratamentos testemunhas de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea*, respectivamente; AF: anidrido ftálico; AM: anidrido maleico; Acet.: acetato; AA: anidrido acético; Ac.: ácido.

Os valores médios para absorção de água, durante 24 horas, considerando a interação, anidrido versus reagente, foi significativa, em nível de 5% de significância, pelo teste Tukey, conforme é mostrado no **Quadro 17**.

Os tratamentos que apresentaram as menores médias para absorção de água 24 horas, foram os fabricados com flocos acetilados, utilizando como reagente o ácido acético. Nestes tratamentos o grupamento acetil formado, se manteve mais estável, com poucas alterações na espessura e no peso dos corpos-de-prova submersos.

Quadro 17 - Valores médios de absorção de água (%), durante 24 horas pelos tratamentos, em função do anidrido e do tipo de reagente utilizado.

| Anidridos | Solvente/Catalisador | |
|------------------|---|---|
| | Tipo 1 Álcool /acetato de etila/ac. acético | Tipo 1 Álcool /acetato de etila/ac. acético |
| Anidrido ftálico | 62,65 (A, a) | 54,58 (A, b) |
| Anidrido maleico | 48,04 (B, a) | 45,27 (B, a) |
| Anidrido acético | 43,81 (C, b) | 54,93 (A, a) |

* Médias seguidas de mesma letra minúscula, numa mesma linha ou mesma letra maiúscula numa mesma coluna, não diferem entre si em nível de 5% de significância, pelo teste Tukey.

No **Quadro 18** são mostrados os valores médios da interação anidrido versus espécie, sendo a mesma significativa, em nível de 5% pelo teste de médias, teste de Tukey.

Os painéis que apresentaram as maiores médias para este ensaio, foram aqueles confeccionados com flocos esterificados pelo anidrido ftálico. Isto se deve, provavelmente, a menor retenção do produto químico pela madeira, sendo sua penetração e retenção mais superficial, para as duas espécies testadas. O anidrido ftálico, assim como o anidrido maleico, solubiliza em presença direta com a água. Sendo assim, parte dos cristais retidos tanto na membrana das pontuações, quanto no lúmen dos elementos de vaso, são solubilizados, deixando desimpedidos os referidos componentes anatômicos, para a passagem da água.

Quadro 18 - Valores médios de absorção de água (%), durante 24 horas pelos tratamentos, em função do anidrido e do tipo de reagente utilizado.

| Anidridos | Espécies | |
|------------------|---------------------------|------------------------|
| | <i>Eucalyptus grandis</i> | <i>Pinus caribeeae</i> |
| Anidrido ftálico | 58,65 (A, a) | 58,58 (A, a) |
| Anidrido maleico | 50,96 (B, a) | 42,34 (B, b) |
| Anidrido acético | 53,26 (B, a) | 45,48 (B, b) |

* Médias seguidas de mesma letra minúscula, numa mesma linha ou mesma letra maiúscula numa mesma coluna, não diferem entre si em nível de 5% de significância, pelo teste Tukey.

5.7 INCHAMENTO EM ESPESSURA (2 HORAS)

A representação gráfica, das médias do inchamento em espessura após 2 horas de imersão em água, é mostrada na **Figura 22**. Neste gráfico, observa que os valores médios de inchamento em espessura dos painéis feitos com flocos tratados com anidrido maleico e acetona, *Eucalyptus grandis*, tempo 2 (48 h), mostraram tendência de serem menores, do que as médias dos demais tratamentos.

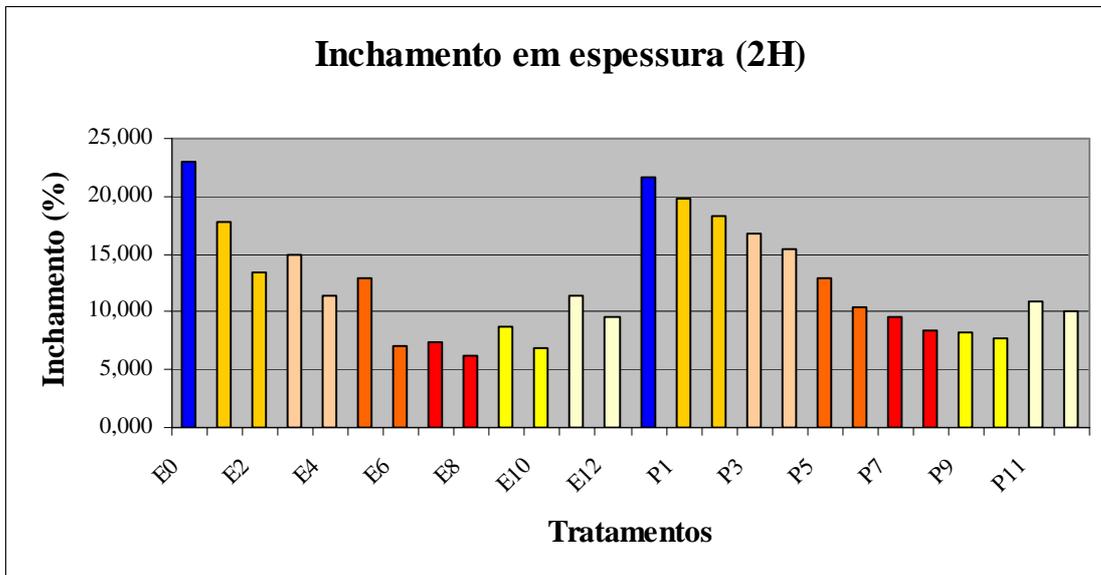


Figura 22 – Valores médios para inchamento em espessura (2 h) dos painéis OSB (g/cm^3), sendo: TEST I e II, os tratamentos testemunhas de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea*, respectivamente; AF: anidrido ftálico; AM: anidrido maleico; Acet.: acetato; AA: anidrido acético; Ac.: ácido.

No **Quadro 19** são mostrados os valores médios da interação anidrido versus solvente/catalisador para inchamento em espessura, 2 horas.

Os painéis confeccionados com flocos tratados com anidrido acético, empregando-se o ácido acético, como solvente mostraram uma maior estabilidade dimensional, em comparação aos outros tratamentos onde foram empregados flocos tratados com os anidridos maleico e ftálico, também usando o reagente tipo 1, acetato de etila e álcool, respectivamente.

Para o ácido ftálico, os painéis mais estáveis foram aqueles confeccionados usando flocos tratados com anidrido maleico. Sendo que, os painéis menos estáveis e mais propensos a deformação, devido ao inchamento em espessura, foram os confeccionados com flocos tratados com anidrido ftálico.

Quadro 19 - Valores médios dos tratamentos para inchamento em espessura(%), durante 2 horas, em função do anidrido e do tipo de reagente utilizado.

| Anidridos | Solvente/Catalisador | |
|------------------|--|--|
| | Tipo 1 Álcool /acetato de etila/ac. acético | Tipo 1 Álcool /acetato de etila/ac. acético |
| Anidrido ftálico | 17,32 (A, a) | 14,67 (A, b) |
| Anidrido maleico | 10,83 (B, a) | 7,89 (C, b) |
| Anidrido acético | 7,87 (C, b) | 10,46 (B, a) |

* Médias seguidas de mesma letra minúscula, numa mesma linha ou mesma letra maiúscula numa mesma coluna, não diferem entre si em nível de 5% de significância, pelo teste Tukey.

No **Quadro 20**, são apresentados os valores médios dos tratamentos, para inchamento em espessura. Os painéis que apresentaram os maiores valores médios para o inchamento em espessura, foram aqueles confeccionados com anidrido ftálico e a espécie *Pinus caribaea*. Tal fato pode ser explicado pela menor impregnação dessa espécie por este tipo de anidrido, tendo este uma estrutura molecular maior e com elevado peso molecular, o que dificulta a sua mobilidade no interior da madeira, mesmo estando na forma desassociada em solução.

Quadro 20 - Valores médios dos tratamentos para inchamento em espessura(%), durante 2 horas, em função da espécie e do tipo de anidrido utilizado.

| Anidridos | Espécies | |
|------------------|---------------------------|-----------------------|
| | <i>Eucalyptus grandis</i> | <i>Pinus caribaea</i> |
| Anidrido ftálico | 14,43 (A, b) | 17,56 (A, a) |
| Anidrido maleico | 8,41 (B, b) | 10,30 (B, a) |
| Anidrido acético | 9,13 (B, a) | 9,20 (B, a) |

* Médias seguidas de mesma letra minúscula, numa mesma linha ou mesma letra maiúscula numa mesma coluna, não diferem entre si em nível de 5% de significância, pelo teste Tukey.

5.7 INCHAMENTO EM ESPESSURA (24 HORAS)

Na **Figura 23** são mostradas as médias, para inchamento em espessura, após uma imersão dos corpos-de-prova em água, durante 24 horas.

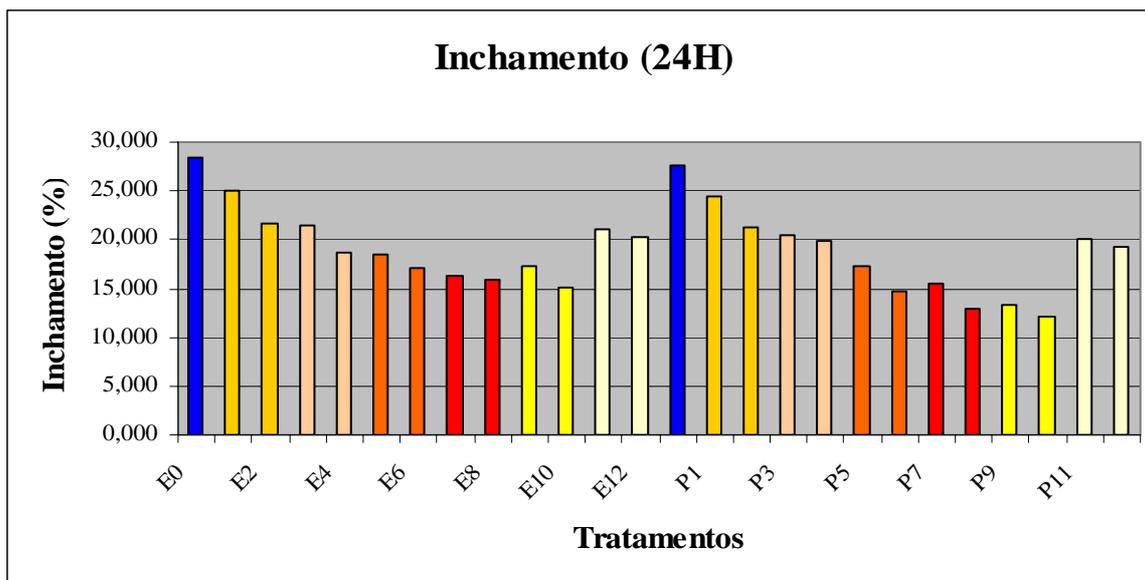


Figura 23 – Valores médios para o inchamento em espessura, dos painéis OSB (g/cm^3), sendo: TEST I e II, os tratamentos testemunhas de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaeae*, respectivamente; AF: anidrido ftálico; AM: anidrido maleico; Acet.: acetato; AA: anidrido acético; Ac.: ácido.

No **Quadro 21**, são apresentados os valores médios para inchamento em espessura, 24 horas. Na interação anidrido versus solvente/catalisador foi significativa.

Os painéis que apresentaram as maiores médias para inchamento em espessura, 24 horas, empregando o reagente tipo 1, foram aqueles confeccionados com focos tratados utilizando o anidrido ftálico. Para o reagente tipo 2, no presente ensaio, os painéis que apresentaram as maiores médias foram aqueles confeccionados com focos tratados utilizando os anidridos: acético e ftálico.

Quadro 21 - Valores médios dos tratamentos para inchamento em espessura (%), durante 24 horas, em função do anidrido e do tipo de solvente/catalisador utilizado.

| Anidridos | Solvente/Catalisador | |
|------------------|---|---|
| | Tipo 1 Álcool /acetato de etila/ac. acético | Tipo 1 Álcool /acetato de etila/ac. acético |
| Anidrido ftálico | 23,09 (A, a) | 20,07 (A, b) |
| Anidrido maleico | 16,83 (B, a) | 15,09 (B, a) |
| Anidrido acético | 14,46 (C, b) | 20,17 (A, a) |

* Médias seguidas de mesma letra minúscula, numa mesma linha ou mesma letra maiúscula numa mesma coluna, não diferem entre si em nível de 5% de significância, pelo teste Tukey.

5.8 ARRANCAMENTO DE PARAFUSO

Os valores médios obtidos na extração de parafuso, variaram entre 176 e 269 kgf, conforme mostrado na **Figura 24**.

Na norma ANSI/A 208.1-93, é estipulado um mínimo de 100 kgf para painéis de média densidade, fabricados comercialmente. Todos os painéis superaram o mínimo exigido pela norma.

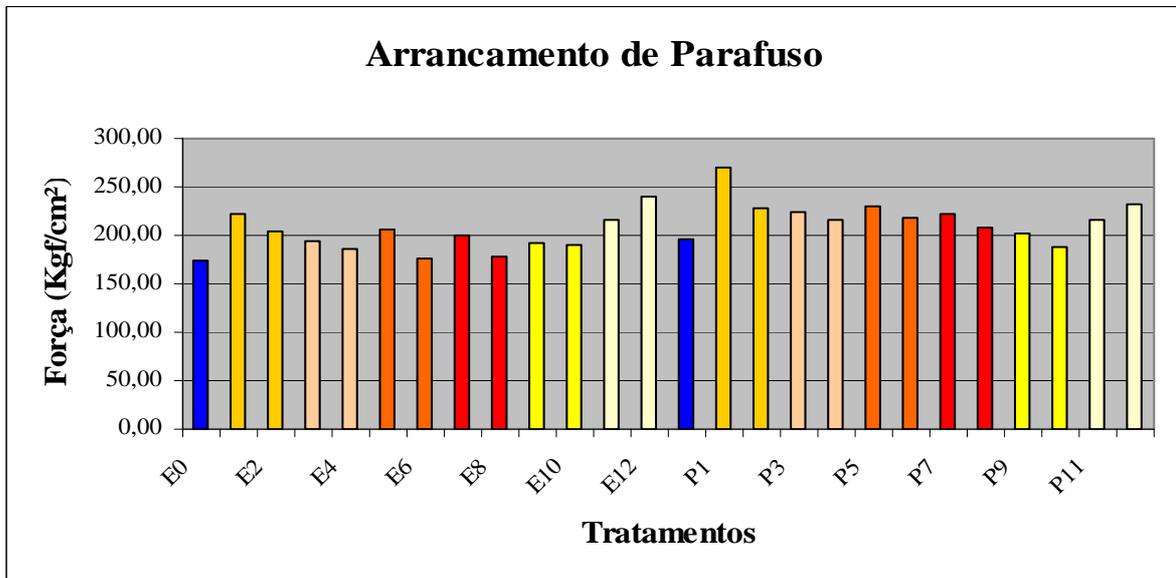


Figura 24 – Valores médios para arrancamento de parafuso, dos painéis OSB (g/cm^3), sendo: TEST I e II, os tratamentos testemunhas de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea*, respectivamente; AF: anidrido ftálico; AM: anidrido maleico; Acet.: acetat; AA: anidrido acético; Ac.: ácido.

Os valores médios apresentados pelos painéis para arrancamento de parafuso, são mostrados no **Quadro 22**. Neste quadro, observa-se que a interação entre anidrido e reagente foi significativa.

Os tratamentos que apresentaram as menores médias, para este ensaio, foram aqueles confeccionados com flocos tratados com anidrido acético e tendo como reagente o ácido acético.

Quadro 22 - Valores médios dos tratamentos para o ensaio de arrancamento de parafuso (kgf), em função do anidrido e do tipo de reagente utilizado.

| Anidridos | Solvente/Catalisador | |
|------------------|---|---|
| | Tipo 1 Álcool /acetato de etila/ac. acético | Tipo 1 Álcool /acetato de etila/ac. acético |
| Anidrido ftálico | 230,73 (AB, a) | 205,35 (A, a) |
| Anidrido maleico | 207,52 (AB, a) | 202,25 (A, a) |
| Anidrido acético | 193,66 (B, b) | 225,81 (A, a) |

* Médias seguidas de mesma letra minúscula, numa mesma linha ou mesma letra maiúscula numa mesma coluna, não diferem entre si em nível de 5% de significância, pelo teste Tukey.

5.9 DUREZA JANKA

A dureza Janka, mede a resistência do painel a penetração da metade de uma esfera de 11,3 mm de raio.

A norma ANSI/A1-280/93, estipula um valor mínimo de 222,5 kgf de dureza Janka para atender as especificações de mercado. Observa-se na **Figura 25**, que todos os painéis confeccionados, apresentaram valores médios superiores ao estipulado pela norma.

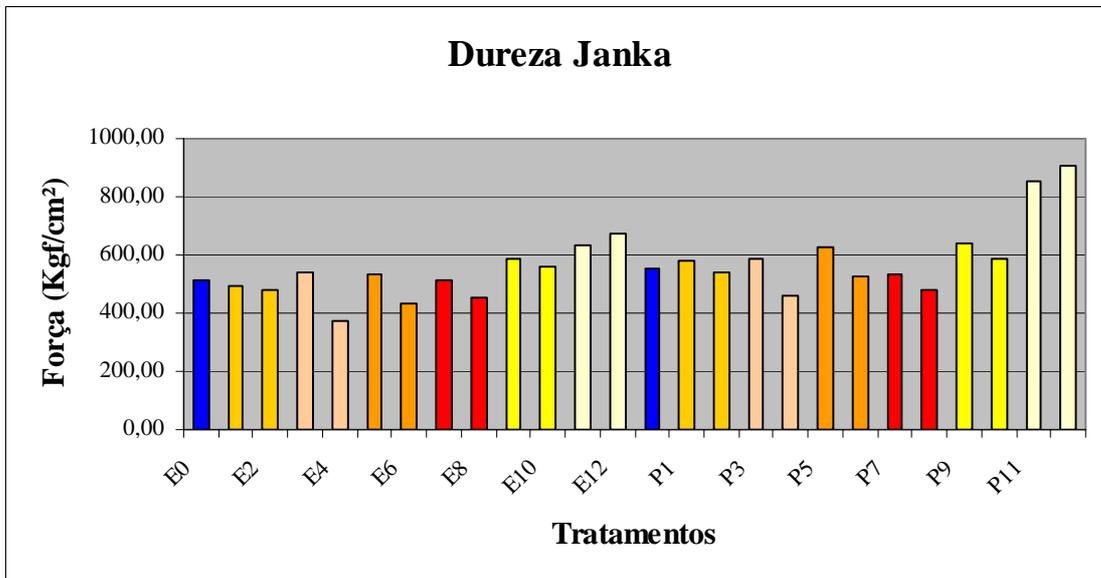


Figura 25 – Valores médios de dureza Janka dos painéis OSB (g/cm^3), sendo: E0 e P0, os tratamentos testemunhas de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea*, respectivamente; AF: anidrido ftálico; AM: anidrido maleico; Acet.: acetato; AA: anidrido acético; Ac.: ácido.

Os valores médios apresentados pelos painéis para dureza Janka, são mostrados no **Quadro 23**. Observa-se que a interação entre anidrido e solvente/catalisador foi significativa. As maiores médias foram observadas nos painéis confeccionados com madeira de *Pinus caribaea* acetilada, empregando-se como catalisador o ácido ftálico.

Os flocos tratados com anidrido acético, tendo como reagente o ácido ftálico, apresentaram uma maior flexibilidade, tornando-se menos quebradiços nas etapas de secagem e armazenamento, também apresentaram facilidade no adensamento dos painéis e na etapa de prensagem. Todos estes fatores podem ter contribuído de forma favorável, promovendo uma melhoria nas propriedades mecânicas destes painéis.

Quadro 23 - Valores médios dos tratamentos para o ensaio de dureza Janka (kgf), em função do anidrido e do tipo de solvente/catalisador utilizado.

| Anidridos | Solvente/Catalisador | |
|------------------|---|---|
| | Tipo 1 Álcool /acetato de etila/ac. acético | Tipo 1 Álcool /acetato de etila/ac. acético |
| Anidrido ftálico | 523,34 (A, a) | 489,81 (B, a) |
| Anidrido maleico | 530,58 (A, a) | 494,63 (B, a) |
| Anidrido acético | 594,92 (A, b) | 766,39 (A, a) |

* Médias seguidas de mesma letra minúscula, numa mesma linha ou mesma letra maiúscula numa mesma coluna, não diferem entre si em nível de 5% de significância, pelo teste Tukey.

5.10 TRAÇÃO PERPENDICULAR

A resistência à tração perpendicular é uma das propriedades mais importantes na avaliação de um painel, pois permite tirar conclusões referentes ao comportamento do adesivo com os componentes químicos da madeira, nas reações de adesão, além de avaliar a eficiência no tempo e temperatura de prensagem entre outros.

Na norma CSA 0437-0/93, o mínimo exigido para atender as especificações do mercado é de 4 kgf/cm². Conforme é mostrado na **Figura 26**, todos os tratamentos atenderam o mínimo exigido pela norma.

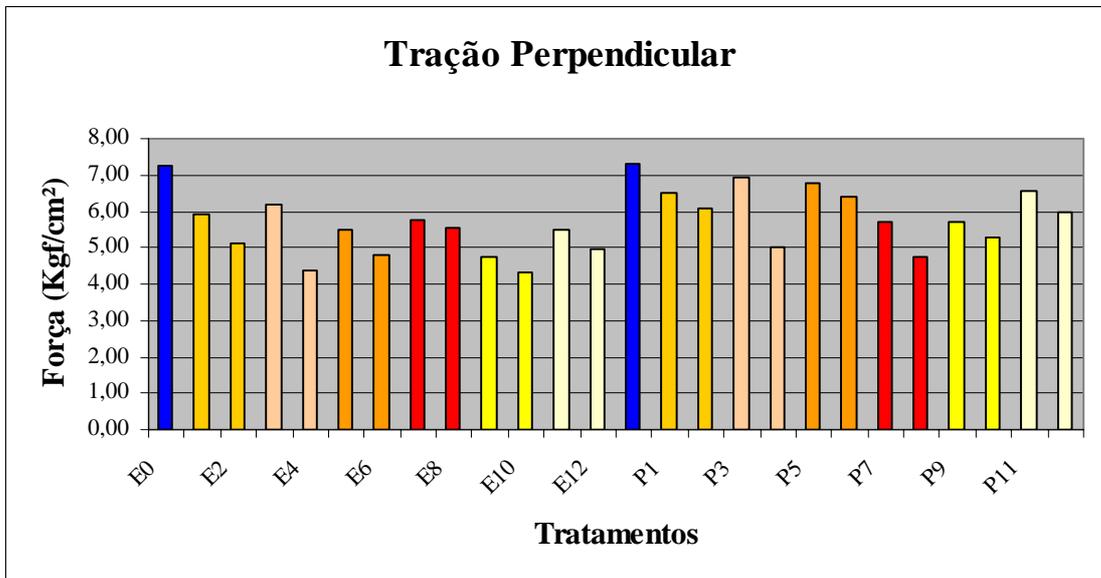


Figura 26 – Valores médios das densidades dos painéis OSB (g/cm^3), analisados, sendo: TEST I e II, os tratamentos testemunhas de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaeae*, respectivamente; AF: anidrido ftálico; AM: anidrido maleico; Acet. de etila: acetato de etila; AA: anidrido acético; Ac.: ácido.

Os valores médios apresentados pelos painéis para resistência a tração perpendicular, são mostrados no **Quadro 24**. A interação entre anidrido e solvente/catalisador foi significativa, em nível de 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Os painéis que apresentaram as menores médias de resistência na tração perpendicular foram aqueles confeccionados com flocos acetilados, nos quais utilizou como catalisador o ácido acético.

A eficiência no processo de acetilação, ocorre até um determinado grau de substituição, dos grupos hidroxilas por grupos acetilas, pois para madeiras que irão ser utilizadas na confecção de painéis, um alto grau de substituição implica em uma menor quantidade de sítios reativos livres para promover a adesão.

Quadro 24 - Valores médios dos tratamentos para o ensaio de tração perpendicular (kgf/cm²), em função do anidrido e do tipo de reagente utilizado.

| Anidridos | Solvente/Catalisador | |
|------------------|---|---|
| | Tipo 1 Álcool /acetato de etila/ac. acético | Tipo 1 Álcool /acetato de etila/ac. acético |
| Anidrido ftálico | 5,89 (A, a) | 5,63 (A, a) |
| Anidrido maleico | 5,88 (A, a) | 5,44 (A, a) |
| Anidrido acético | 5,00 (B, b) | 5,74 (A, a) |

* Médias seguidas de mesma letra minúscula, numa mesma linha ou mesma letra maiúscula numa mesma coluna, não diferem entre si em nível de 5% de significância, pelo teste Tukey.

5.11 COMPRESSÃO LONGITUDINAL

Os valores médios de resistência à compressão longitudinal podem ser observados na **Figura 27**. Não foi encontrado nas normas, consultadas, valores mínimos exigidos para esta propriedade, para a comercialização dos painéis.

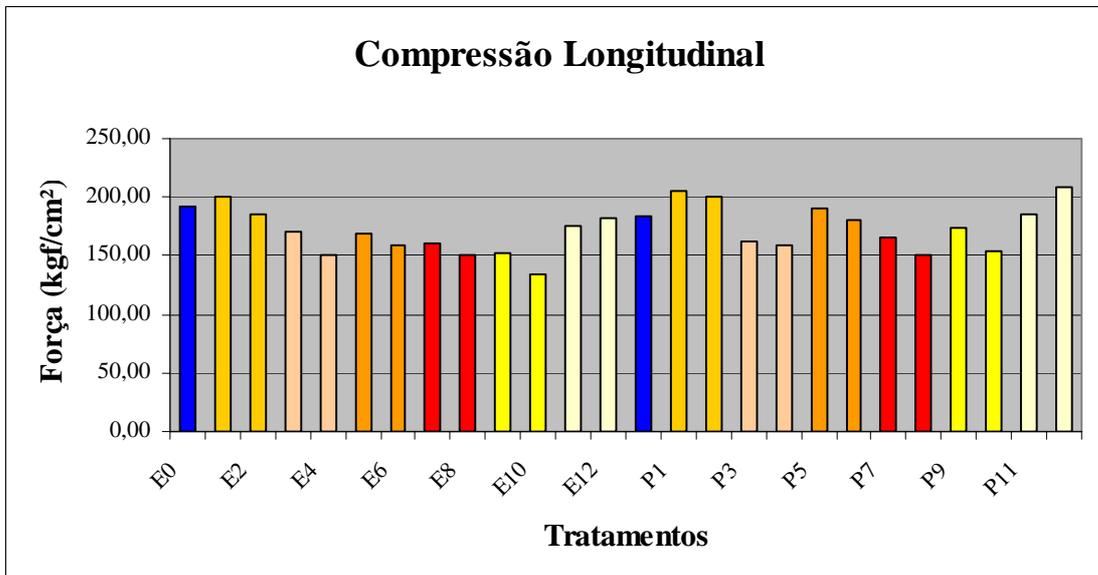


Figura 27 – Valores médios de compressão longitudinal dos painéis OSB (g/cm^3), sendo: TEST I e II, os tratamentos testemunhas de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea*, respectivamente; AF: anidrido ftálico; AM: anidrido maleico; Acet.: acetato; AA: anidrido acético; Ac.: ácido.

No **Quadro 25** são mostrados os valores médios dos painéis para o ensaio de compressão longitudinal. Houve interação significativa, entre anidrido e reagente, em nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. Sendo que, as menores médias em função do reagente, tipo 1, foram dos painéis confeccionados com madeira acetilada, onde o reagente empregado foi o ácido acético. Para o reagente tipo 2, os painéis que apresentaram as maiores médias foram os fabricados com madeira tratada com anidrido acético e ácido ftálico.

Quadro 25 - Valores médios dos tratamentos para o ensaio de compressão longitudinal (kgf/cm²), em função do anidrido e do tipo de reagente utilizado.

| Anidridos | Solvente/Catalisador | |
|------------------|---|---|
| | Tipo 1 Álcool /acetato de etila/ac. acético | Tipo 1 Álcool /acetato de etila/ac. acético |
| Anidrido ftálico | 197,81 (A, a) | 160,70 (B, b) |
| Anidrido maleico | 175,20 (B, a) | 157,01 (B, b) |
| Anidrido acético | 153,24 (C, b) | 187,84 (A, a) |

* Médias seguidas de mesma letra minúscula, numa mesma linha ou mesma letra maiúscula numa mesma coluna, não diferem entre si em nível de 5% de significância, pelo teste Tukey.

5.12 FLEXÃO ESTÁTICA - MÓDULO DE RUPTURA (MOR)

As médias de resistência a flexão estática, na direção longitudinal, estão representadas na **Figura 28**.

A norma CSA 0437-0/93 estipula um valor mínimo de 290 kgf/cm², para painéis com orientação dos flocos na face, no sentido longitudinal e para painéis com orientação dos flocos, no sentido perpendicular, a norma canadense estipula um valor mínimo de 124 kgf/cm².

Analisando, visualmente, as médias de cada tratamento representadas no gráfico, observa-se que somente 2 tratamentos não atingiram o mínimo estabelecido, pela norma, para os valores de módulo de ruptura no sentido longitudinal. Estes tratamentos, que ficaram abaixo do mínimo estabelecido pela norma, foram aqueles fabricados com madeira da espécie *Eucalyptus grandis* e tratados quimicamente com os seguintes anidridos e reagentes: maleico, reagente 1, com média 287,51 kgf/cm²; ftálico, reagente 2, com média 269,84.

Na média geral, considerando uma média para cada tipo de anidrido, todos eles conseguiram atingir o mínimo exigido pela norma.

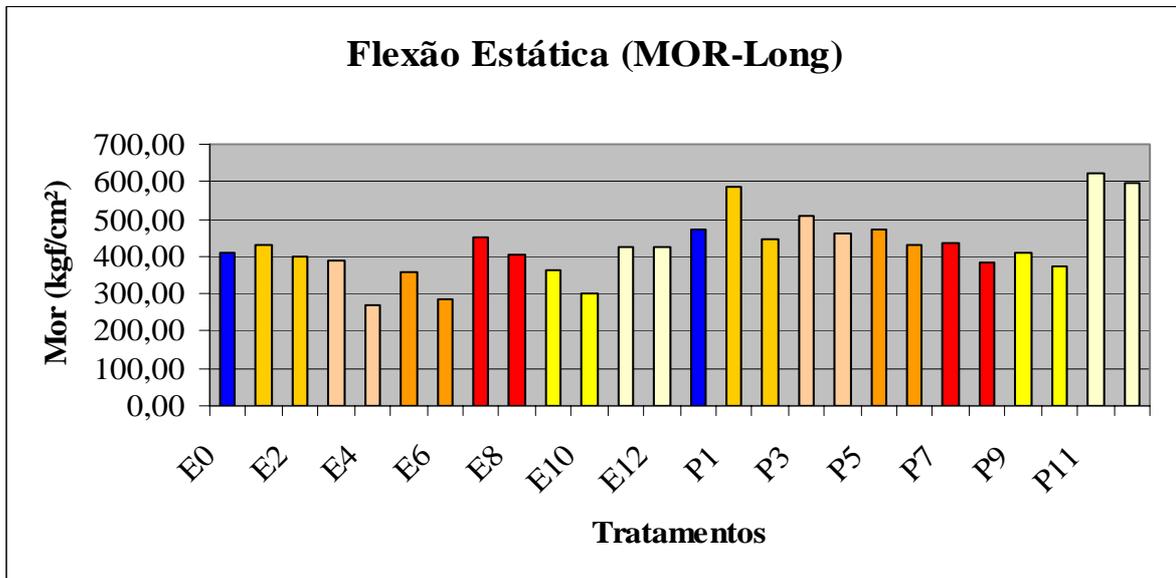


Figura 28 – Valores médios de Mor, sentido longitudinal, para painéis OSB (g/cm^3), sendo: TEST I e II, os tratamentos testemunhas de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea*, respectivamente; AF: anidrido ftálico; AM: anidrido maleico; Acet.: acetato; AA: anidrido acético; Ac.: ácido.

No **Quadro 26** são mostrados os valores médios de módulo de ruptura, sentido longitudinal. Observa-se interação significativa, entre anidrido e solvente/catalisador. Sendo que, as maiores médias em função do solvente/catalisador, tipo 1, foram dos painéis confeccionados com flocos esterificados com anidrido ftálico, onde o solvente empregado foi o álcool etílico. Para o solvente/catalisador tipo 2, os painéis que apresentaram as maiores médias foram os fabricados com madeira tratada com anidrido acético e ácido ftálico.

Quadro 26 - Valores médios dos tratamentos para o ensaio de módulo de ruptura (MOR) (kgf/cm²), sentido longitudinal, em função do anidrido e do tipo de reagente utilizado.

| Anidridos | Solvente/Catalisador | |
|------------------|--|--|
| | Tipo 1 Álcool /acetato de etila/ac. acético | Tipo 1 Álcool /acetato de etila/ac. acético |
| Anidrido ftálico | 465,55 (A, a) | 406,78 (B, b) |
| Anidrido maleico | 388,05 (B, a) | 419,52 (B, a) |
| Anidrido acético | 362,31 (B, b) | 517,58 (A, a) |

* Médias seguidas de mesma letra minúscula, numa mesma linha ou mesma letra maiúscula numa mesma coluna, não diferem entre si em nível de 5% de significância, pelo teste Tukey.

Para o ensaio de flexão estática, o módulo de ruptura, no sentido perpendicular a orientação dos flocos, todos os valores médios estão acima do mínimo estipulado pela norma consultada, conforme mostra a **Figura 29**.

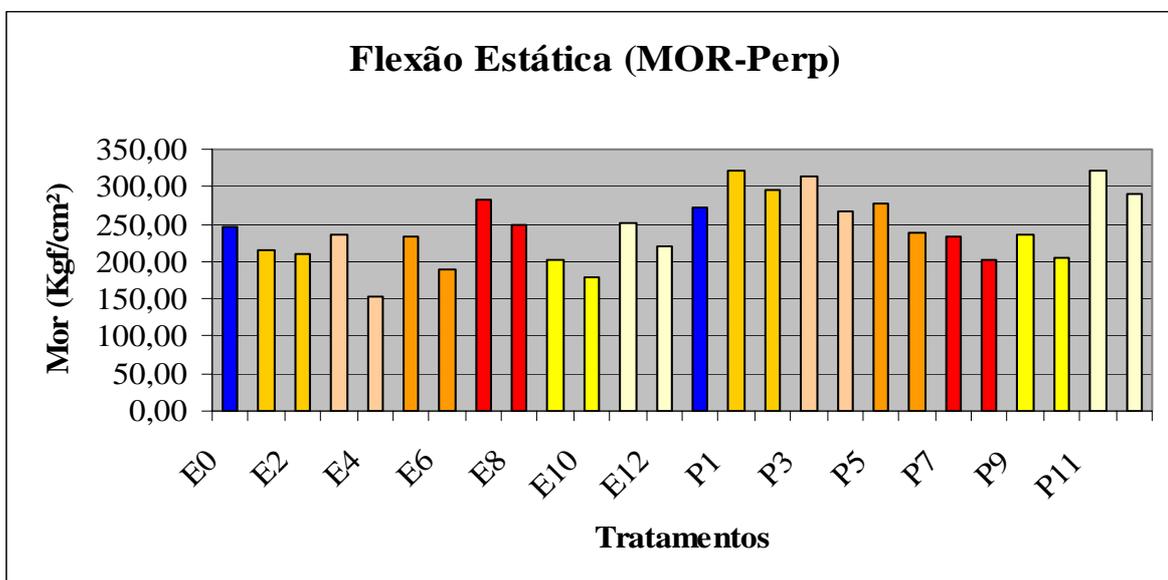


Figura 29 – Valores médios de Mor, sentido perpendicular, dos painéis OSB (g/cm³), sendo: TEST I e II, os tratamentos testemunhas de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea*, respectivamente; AF: anidrido ftálico; AM: anidrido maleico; Acet.: acato; AA: anidrido acético; Ac.: ácido.

No **Quadro 27** são mostrados os valores médios do módulo de ruptura, sentido perpendicular. Pode ser observado que houve interação significativa, entre anidrido e solvente/catalisador. Sendo que, as maiores médias em função do solvente/catalisador, tipo 1, foram dos painéis confeccionados com flocos esterificados com os anidridos ftálico e maleico, onde os solventes empregados foram: o álcool etílico e o acetato de etila. Para o solvente/catalisador tipo 2, não houve diferença significativa entre as médias dos três anidridos.

Quadro 27 - Valores médios dos tratamentos para o ensaio de módulo de ruptura (MOR) (kgf/cm²), sentido perpendicular, em função do anidrido e do tipo de reagente utilizado.

| Anidridos | Solvente/Catalisador | |
|------------------|---|---|
| | Tipo 1 Álcool /acetato de etila/ac. acético | Tipo 1 Álcool /acetato de etila/ac. acético |
| Anidrido ftálico | 259,94 (AB, a) | 242,26 (A, a) |
| Anidrido maleico | 234,76 (AB, a) | 241,62 (A, a) |
| Anidrido acético | 204,96 (B, b) | 271,20 (A, a) |

* Médias seguidas de mesma letra minúscula, numa mesma linha ou mesma letra maiúscula numa mesma coluna, não diferem entre si em nível de 5% de significância, pelo teste Tukey.

No **Quadro 28** são mostrados os valores médios de módulo de ruptura, no sentido perpendicular. Observa-se interação significativa, entre anidrido e espécie. As maiores médias para *Pinus caribaea*, tenderam para os tratamentos fabricados com flocos esterificados com os anidridos ftálico e acético, apesar dos tratamentos fabricados com anidrido maleico não diferenciarem estatisticamente dos outros dois.

Quadro 28 - Valores médios dos tratamentos para o ensaio de módulo de ruptura (MOR) (kgf/cm²), sentido perpendicular, em função da espécie e do tipo de anidrido utilizado.

| Anidridos | Espécies | |
|------------------|---------------------------|------------------------|
| | <i>Eucalyptus grandis</i> | <i>Pinus caribeeae</i> |
| Anidrido ftálico | 203,44 (A, b) | 298,76 (AB, a) |
| Anidrido maleico | 238,60 (A, a) | 237,78 (B, a) |
| Anidrido acético | 213,32 (A, b) | 262,85 (AB, a) |

* Médias seguidas de mesma letra minúscula, numa mesma linha ou mesma letra maiúscula numa mesma coluna, não diferem entre si em nível de 5% de significância, pelo teste Tukey.

5.12 FLEXÃO ESTÁTICA - MÓDULO DE ELASTICIDADE (MOE)

Segundo a norma CSA O437-0/93, o valor mínimo exigido para o painel ser comercializado é de 55000 kgf/cm², no sentido longitudinal e no sentido perpendicular o valor é de 15000 kgf/cm².

Na **Figura 30**, são mostrados os valores médios do módulo de elasticidade, no sentido longitudinal. Pode-se observar, que foram poucos os tratamentos que atingiram o mínimo exigido pela norma canadense, porém esta norma faz menção a painéis com uma espessura superior a espessura apresentada pelos painéis deste experimento.

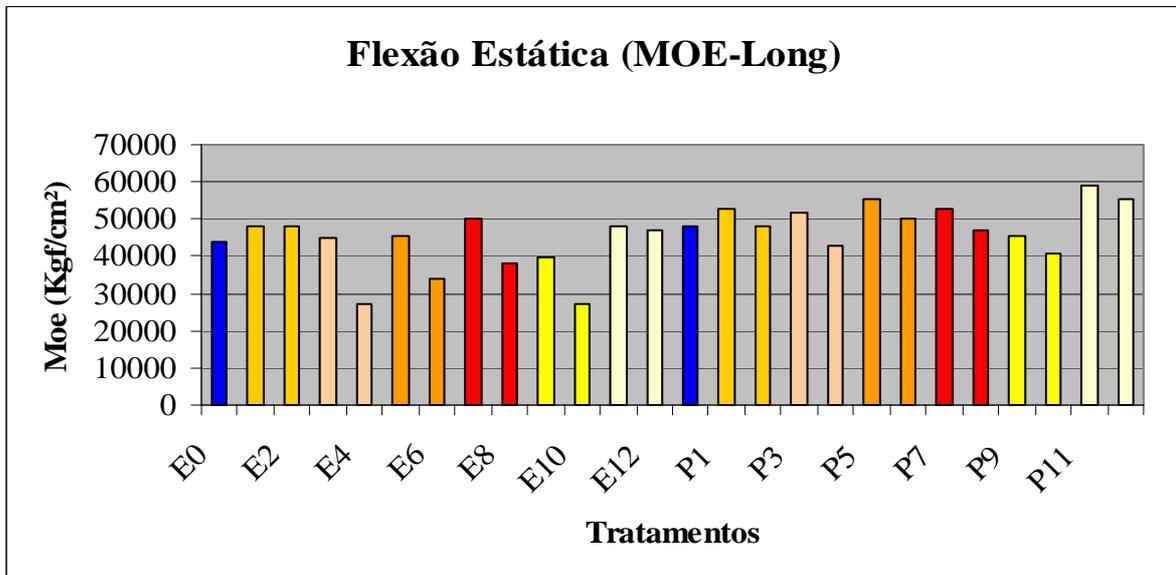


Figura 30 – Valores médios para módulo de elasticidade, sentido longitudinal, painéis OSB (g/cm^3), sendo: TEST I e II, os tratamentos testemunhas de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea*, respectivamente; AF: anidrido ftálico; AM: anidrido maleico; Acet.: acetato; AA: anidrido acético; Ac.: ácido.

No **Quadro 29** são mostrados os valores médios para o módulo de elasticidade, no sentido longitudinal. Houve interação significativa, entre anidrido e solvente/catalisador. As menores médias em função do solvente/catalisador, tipo 1, foram obtidos nos painéis confeccionados com flocos esterificados com o anidrido acético, tendo como catalisador o ácido acético. Dentro do solvente/catalisador tipo 2, não houve diferença significativa entre os tratamentos.

Quadro 29 - Valores médios dos tratamentos para o ensaio módulo de elasticidade (MOE) (kgf/cm²), sentido longitudinal, em função do anidrido e do tipo de reagente utilizado.

| Anidridos | Solvente/Catalisador | |
|------------------|--|--|
| | Tipo 1 Álcool /acetato de etila/ac. acético | Tipo 1 Álcool /acetato de etila/ac. acético |
| Anidrido ftálico | 49126,64 (A, a) | 41748,34 (B, b) |
| Anidrido maleico | 46346,24 (A, a) | 47012,30 (AB, a) |
| Anidrido acético | 38213,39 (B, b) | 52344,13 (AB, a) |

* Médias seguidas de mesma letra minúscula, numa mesma linha ou mesma letra maiúscula numa mesma coluna, não diferem entre si em nível de 5% de significância, pelo teste Tukey.

Na **Figura 31**, são mostrados os valores médios do módulo de elasticidade, em flexão estática, no sentido perpendicular.

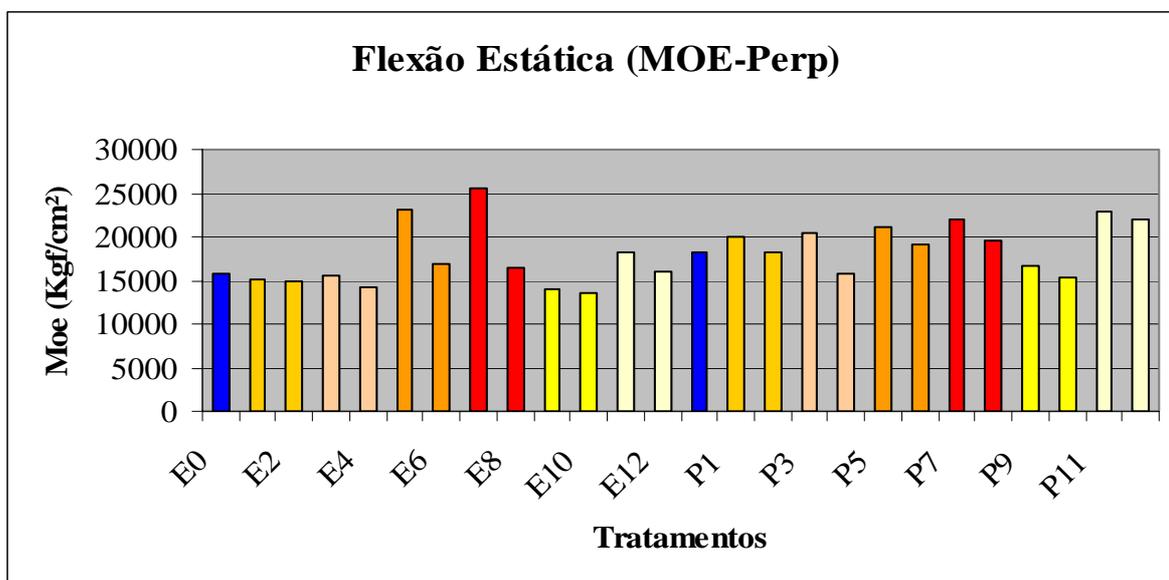


Figura 31 – Valores médios para módulo de elasticidade, sentido perpendicular, dos painéis OSB (g/cm³), sendo: TEST I e II, os tratamentos testemunhas de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribae*, respectivamente; AF: anidrido ftálico; AM: anidrido maleico; Acet.: acetato; AA: anidrido acético; Ac.: ácido.

Para o módulo de elasticidade, sentido perpendicular, não houve interação significativa entre os fatores, sendo, portanto, feita uma comparação apenas entre as médias gerais dos anidridos, **Quadro 30**.

Para os painéis fabricados com flocos tratados com anidrido maleico obteve-se médias de MOE estatisticamente superiores àqueles confeccionados com anidrido ftálico. Este resultado provavelmente se deve a uma reação de esterificação pelo anidrido ftálico mais superficial, havendo cristalização do mesmo na superfície dos flocos, o que tende a diminuir as reações de adesão e com isto, quando os corpos-de-prova são comprimidos na superfície superior e tensionados na face inferior, eles tendem a romper as ligações com maior facilidade, resultando em uma baixa resistência à aplicação de cargas, em sistemas estáticos, aos quais forem submetidos.

Quadro 30 - Valores médios do módulo de elasticidade (MOE) (kgf/cm²), sentido perpendicular, em função do tipo de anidrido.

| Anidridos | Médias |
|------------------|---------------|
| Anidrido maleico | 20484,93 (A) |
| Anidrido acético | 17324,36 (AB) |
| Anidrido ftálico | 16750,39 (B) |

* Médias seguidas de mesma letra minúscula, numa mesma linha ou mesma letra maiúscula numa mesma coluna, não diferem entre si em nível de 5% de significância, pelo teste Tukey.

6. RESUMO E CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como objetivo: determinar as propriedades físicas e mecânicas de painéis OSB, fabricados com madeira de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribae*, esterificados.

Os painéis foram produzidos em laboratório com flocos de madeira das espécies florestais *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribae* (procedentes da região de Viçosa – MG). Sendo constituídos por 50% de flocos, modificados quimicamente com os anidridos: ftálico, maleico e acético e 50% de flocos sem tratamento químico.

As toras foram desdobradas em tábuas, e estas, em baguetas, com 2,0 cm de espessura e 9,0 cm de largura. As mesmas foram processadas em um picador de disco, produzindo os flocos, apresentando estes as seguintes dimensões 20 X 90 X 0,46 mm. Produzidos os flocos, estes foram selecionados em peneira e secos em estufa a 103° C com ventilação forçada até atingirem 0% de umidade.

O tratamento de esterificação com os anidridos ftálico e maleico foram feitos em recipientes fechados herméticamente, contendo os flocos secos mais as soluções de anidrido ftálico + solvente (álcool etílico/éter etílico) ou anidrido maleico + solvente (acetato de etila/acetona). Os tempos usados para as reações foram de 24 e 48 h.

No tratamento de acetilação foi utilizada uma autoclave para ácidos com processador digital, para controle da temperatura e pressão. Os flocos foram tratados com o anidrido acético mais catalisador (ácido acético/ácido ftálico). Os tempos de tratamento foram de 1 e 3 horas.

Para a confecção das chapas, utilizou-se adesivo de fenol-formaldeído, na proporção de 8% em relação à massa seca de madeira; o teor de umidade dos flocos foi de 3%, sendo prensados a uma temperatura de 140°C e a uma pressão de 32 Kgf/cm². Os painéis apresentaram densidade média de 0,71 g/cm³, espessura média de 1,15 cm e tamanho de 40X40cm; após esquadrejadas, 38X38 cm.

Os ensaios físicos realizados mostraram que houve diferença significativa em nível de 5% de probabilidade para os testes de adsorção e absorção de água, expansão linear e inchamento em espessura, variando em função do tipo de anidrido com solvente/catalisador.

Os ensaios mecânicos foram realizados em uma máquina de ensaio universal, mostrando diferença significativa para os ensaios de arrancamento de parafuso, tração perpendicular, compressão longitudinal e dureza Janka, em relação ao tipo de anidrido com o solvente/catalisador, utilizados no tratamento. Para o módulo de ruptura houve diferença entre os tratamentos em função da espécie e o tipo de anidrido, sendo que o *Pinus caribae* apresentou as maiores médias para este teste. Quanto ao módulo de elasticidade, os painéis confeccionados com flocos tratados com as combinações: anidrido maleico + (acetato de etila/acetona), anidrido ftálico + álcool etílico e anidrido acético + ácido ftálico, apresentaram os melhores resultados.

Com base nos resultados obtidos neste trabalho, pode-se concluir que os anidridos maleico, ftálico e acético tem grandes potenciais de uso na indústria de painéis estruturais, pelas propriedades físicas e/ou mecânicas apresentadas pelos painéis testados. Porém, ainda existe uma carência de informações na área de esterificação de madeiras, principalmente, no que se refere a fabricação de painéis, com outros anidridos, além do acético.

Com base nos resultados, podemos concluir:

A estrutura química do anidrido e o tipo de solvente empregado nos tratamentos influenciaram diretamente no processo de esterificação, fazendo com que os anidridos tivessem maior ou menor mobilidade pelos intertícios fibrilares da madeira.

O tempo de reação dos anidridos com a madeira também influenciou nos resultados, sendo que um maior tempo de contato, acarretou uma maior quantidade de grupos químicos, substituídos nos constituintes da madeira, ou então aderidos superficialmente nas camadas mais externas da madeira.

A espécie também teve influência nos tratamentos, sendo que os flocos de *Eucalyptus grandis*, tratados com anidrido acético, mostraram maior retenção do produto e maior estabilidade dimensional em relação aos painéis fabricados com flocos de *Pinus caribaea*, também esterificados pelo mesmo processo.

Algumas combinações de anidridos com seus respectivos solventes, não tiveram uma eficácia pronunciada na estabilidade dimensional, porém os painéis apresentaram um ganho nas propriedades mecânicas em comparação as testemunhas.

É necessário um maior número de pesquisas, na área de esterificação de madeiras, visando o setor de painéis de madeira reconstituída, afim de conhecer um pouco mais sobre os mecanismos da esterificação e aumentar as potencialidades de uso de madeiras que apresentem alta instabilidade dimensional.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIPA. Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira. **Relatório Setorial**. São Paulo, 2002. 22p.

ALBUQUERQUE, C. E. C., MENDES, L. M. OSB **Aspectos de Produção, Usos e Vantagens sobre outros Painéis**. Artigos técnicos: Remade, julho de 1999.

AMERICAN NATIONAL STANDARD. **Mat-formed wood particleboard**: specification ANSI/A 208.1.1993. Gaithersburg: National Particleboards Association, 1993. 9p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS-ASTM. **Standard test methods for evaluating properties of wood-base fiber and particle panels**: ASTM D 1037-91. Philadelphia: ASTM, v.04.09, 1991. (Annual Book of ASTM Standards).

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Chapas de Madeira Aglomerada- Métodos de Ensaio**. ABNT NBR 14810-3. Março, 2002.

BARCZA, M. V. **Esterificação - Processo Unitários Orgânicos (PU191)**. Escola de Engenharia de Lorena (EEL) – USP, 2010.

BENADUCE, K. **Fabricação de painéis de média densidade (MDF) a partir de fibras de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex-Maiden e *Pinus caribaeae* var. *hondurensis* Barret e *Golfari***. (Dissertação – Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira).Piracicaba: USP/ESALQ, 1998. 128p.

BNDES; (MATOS, R.; L.; G. ed.) **Painéis de madeira reconstituída**. BNDES: Brasília, 2002, 21p.

BORGES, A. S.; CINIGLIO, C. e BRITO, J.O. **Considerações energéticas e econômicas sobre resíduos de madeira processada em serraria**. IN: 1º Congresso Florestal Brasileiro – 7º Congresso Florestal Panamericano, SBEF, Curitiba, 1993, p. 603-605.

BRASIL, A., A.; **As exportações brasileiras de painéis de madeira**. (Dissertação – Mestrado na Área de Economia e Política Florestal). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002. 74p.

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

CARNOS, B. **Madeira aglomerada: conceito e utilização**. SAGRA, 1988, 118p.

CONSTANTINO, M. G. **Química Orgânica – Curso básico universitário, vol. 2**. USP (Universidade de São Paulo), 2005. 546 p.

CONSTANTINO, M. G. **Química Orgânica – Curso básico universitário, vol. 3**. USP (Universidade de São Paulo), 2006. 533 p.

GOUVEIA, F. N. OSB – **Alternativa Para Uso Estrutural**. Artigos Técnicos: Remade, julho de 2001, Disponível no Site: WWW.remade.com.br. Consultado em 2003.

HASELEIN, C. R. **Análise de parâmetros para a fabricação de chapas de partículas aglomeradas de madeira de eucalipto (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex-Maiden) e embaúba (*Cecropia sp.*)**. (Dissertação – Mestrado em Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 1989. 75p.

INTERNATIONAL TROPICAL TIMBER ORGANIZATION - ITTO. **Annual Review and Assessment of the World Timber Situation**, 2000. Yokohama, 2001. 196p. (Document GI-7/00).

IWAKIRI, S. Painéis de partículas orientadas OSB. **Revista da Madeira**, ABPM, n. 41, p. 52-53, 1999.

KELLY, M. W. **Critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboard**. Madison, Forest Products, (Laboratory General Technical Report FPL-10), 1977, 64 p.

MALONEY, T. M. **Modern particleboard & dry-process fiberboard manufacturing**. Miller Freeman: San Francisco, USA, 1993, 696 p.

MALONEY, T.M. **The development in the United States and Canada of Waferboard, oriented strand board, and medium density fibreboard.** Holz Als Roh Und Werkstoff, Berlin, v. 42, n.10, p. 361-365. 1984.

MENDES, L. M. ***Pinus spp.* na Produção de Painéis de Partículas Orientadas (OSB).** (Tese – Doutorado em Ciências Florestais, Área de Concentração: Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais). UFP: Setor de Ciências Agrárias – Centro de Ciências Florestais e da Madeira. Curitiba, 2001. 156p.

MENDES, L. M., ALBUQUERQUE, C. E. C., IWAKIRI, S. **A Indústria Brasileira de Painéis de Madeira.** Artigos Técnicos: Remade, *maio de 2003*. Disponível no Site: WWW.remade.com.br. Consultado em 2003.

MOSLEMI, A. A. **Particleboard.** Carbandale: Southern Illinois University Press, USA, 1974, v.1. 243p.

OLIVEIRA, J. T. S.; **Características da Madeira para a Construção Civil.** (Tese de Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997. 95p.

PANSHIN, A.J. & ZEEUW, C. **Textbook of wood technology.** NewYork, MacGraw-Hill, 1980, 722 p.

Revista da Madeira. Nº 59 , Ano 11 - setembro 2001.

ROWELL, R. M.; TILLMANN, A. M.; SIMONSON, R. A simplified procedure for the acetylation of hardboard and softwood flakes for flakeboard production. **Journal of Wood Chemistry Technology.** V. 6, p. 427-448, 1986.

SHOOK, S.R. **Forecasting adoption and substitution of successive generations of structural wood panel products in the United States.** Forest Science, v.45, n.2, p. 232-248, 1999.

SIQUEIRA, J. P. D. **Os conflitos institucionais da gestão florestal no Brasil - um benchmarking entre os principais produtores florestais internacionais.** 182 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

Site da REMADE: www.remade.com.br, atualizado em julho de 2001. Consultado em 2003.

Site da REMADE: www.remade.com.br, atualizado em junho de 2000. Consultado em 2004.

SJÖSTRÖM, E., **Wood Chemistry - Fundamentals and Applications.** Academic Press: San Diego, California, USA, 1993.

TEIXEIRA, L. C. Resíduos Florestais: Tecnologias Disponíveis e suas Tendências de uso. **II Seminário de Produtos Sólidos de Madeira de Eucalipto**, Belo Horizonte, MG, Brasil. 2003.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood: structure, properties and utilization**. Van Nostrand Reinold, New York, USA, 1991, 441 p.

VICK, C. B., ROWELL, R. M., Adhesive bonding of acetylated wood. **Wood Research - Bulletin of the wood research Institute**, Kyoto University, Kyoto, Japan, 1989.

VITAL, B. R. **Effects of species and panel densities on properties of hardwood particleboard**. (Tese M.S.), University of Wisconsin, Madison, USA, 1973. 11 p.

WEISSERMEL, K.; ARPE, H. J. **Industrial Organic Chemistry**. 3. ed. Frankfurt: A Wiley Company, 1997. 464 p.

WU, Q.; VLOSKY, R.P. Panel products: perspective from furniture and cabinet manufacturers in the southern United States. **Forest Products Journal**, v.50, n.9, p.45-50, 2000.

APÊNDICE

- Estatísticas -

Quadro 1A - Resumo da análise de variância (ANOVA) para a variável massa específica, em chapas do tipo OSB esterificadas.

| Fontes de Variação | GL | Soma de Quadrado | Quadrado Médio | F | Sig. |
|--------------------|----|------------------|----------------|------|--------|
| Total | 71 | 0.2105067E-01 | | | |
| Total de Redução | 13 | 0.5932556E-02 | 0.4563504E-03 | 1.75 | 0.0742 |
| Anidrido | 2 | 0.1188884E-02 | 0.5944422E-03 | 2.28 | 0.1113 |
| Reagente | 1 | 0.7120222E-04 | 0.7120222E-04 | 0.27 | ***** |
| Tempo | 1 | 0.3645000E-05 | 0.3645000E-05 | 0.01 | ***** |
| Espécie | 1 | 0.2534720E-02 | 0.2534720E-02 | 9.72 | 0.0028 |
| Anid*Reag | 2 | 0.2514778E-04 | 0.1257389E-04 | 0.05 | ***** |
| Anid*Tempo | 2 | 0.7076933E-03 | 0.3538467E-03 | 1.36 | 0.2653 |
| Reag*Tempo | 1 | 0.1973422E-03 | 0.1973422E-03 | 0.76 | ***** |
| Anid*Esp | 2 | 0.1148093E-02 | 0.5740467E-03 | 2.20 | 0.1197 |
| Reag*Esp | 1 | 0.5582722E-04 | 0.5582722E-04 | 0.21 | ***** |
| Resíduo | 58 | 0.1511812E-01 | 0.2606572E-03 | | |

* Nível de 5% de significância.

| | |
|-------------------|---------|
| Média Geral | 0,71093 |
| Coef. De Variação | 2,2710 |

Quadro 2A - Resumo da análise de variância (ANOVA) para a variável teor de umidade, em chapas do tipo OSB esterificadas.

| Fontes de Variação | GL | Soma de Quadrado | Quadrado Médio | F | Sig. |
|--------------------|----|------------------|----------------|--------|--------|
| Total | 71 | 104.8079 | | | |
| Total de Redução | 13 | 96.87713 | 7.452087 | 54.50 | 0.0000 |
| Anidrido | 2 | 35.18522 | 17.59261 | 128.66 | 0.0000 |
| Reagente | 1 | 13.58942 | 13.58942 | 99.38 | 0.0000 |
| Tempo | 1 | 3.864200 | 3.864200 | 28.26 | 0.0000 |
| Espécie | 1 | 6.845000 | 6.845000 | 50.06 | 0.0000 |
| Anid*Reag | 2 | 31.68192 | 15.84096 | 115.85 | 0.0000 |
| Anid*Tempo | 2 | 0.4667500E-01 | 0.2333750E-01 | 0.17 | ***** |
| Reag*Tempo | 1 | 0.6845000E-01 | 0.6845000E-01 | 0.50 | ***** |
| Anid*Esp | 2 | 5.596108 | 2.798054 | 20.46 | 0.0000 |
| Reag*Esp | 1 | 0.1388889E-03 | 0.1388889E-03 | 0.00 | ***** |
| Resíduo | 58 | 7.930794 | 0.1367378 | | |

* Nível de 5% de significância.

| | |
|-------------------|--------|
| Média Geral | 8,3881 |
| Coef. De Variação | 4,4084 |

Quadro 3A – Resumo da análise de variância (ANOVA) para a variável adsorção de vapor de água, em chapas do tipo OSB esterificadas.

| Fontes de Variação | GL | Soma de Quadrado | Quadrado Médio | F | Sig. |
|--------------------|----|------------------|----------------|--------|--------|
| Total | 71 | 99.58333 | | | |
| Total de Redução | 13 | 91.43925 | 7.033788 | 50.09 | 0.0000 |
| Anidrido | 2 | 54.99719 | 27.49859 | 195.84 | 0.0000 |
| Reagente | 1 | 6.832672 | 6.832672 | 48.66 | 0.0000 |
| Tempo | 1 | 5.281250 | 5.281250 | 37.61 | 0.0000 |
| Espécie | 1 | 11.17069 | 11.17069 | 79.55 | 0.0000 |
| Anid*Reag | 2 | 8.152386 | 4.076193 | 29.03 | 0.0000 |
| Anid*Tempo | 2 | 1.387108 | 0.693554 | 4.94 | 0.0104 |
| Reag*Tempo | 1 | 0.638450 | 0.638450 | 4.55 | 0.0372 |
| Anid*Esp | 2 | 2.218953 | 1.109476 | 7.90 | 0.0009 |
| Reag*Esp | 1 | 0.760555 | 0.760555 | 5.42 | 0.0235 |
| Resíduo | 58 | 8.144078 | 0.140415 | | |

* Nível de 5% de significância.

| | |
|-------------------|--------|
| Média Geral | 5.1669 |
| Coef. De Variação | 7.2523 |

Quadro 4A - Resumo da análise de variância (ANOVA) para a variável expansão linear (sentido perpendicular), em chapas do tipo OSB esterificadas.

| Fontes de Variação | GL | Soma de Quadrado | Quadrado Médio | F | Sig. |
|--------------------|----|------------------|----------------|--------|--------|
| Total | 71 | 0.4461875E-02 | | | |
| Total de Redução | 13 | 0.3929181E-02 | 0.3022447E-03 | 32.91 | 0.0000 |
| Anidrido | 2 | 0.2525250E-02 | 0.1262625E-02 | 137.48 | 0.0000 |
| Reagente | 1 | 0.1416806E-03 | 0.1416806E-03 | 15.43 | 0.0002 |
| Tempo | 1 | 0.1711250E-03 | 0.1711250E-03 | 18.63 | 0.0001 |
| Espécie | 1 | 0.6661250E-03 | 0.6661250E-03 | 72.53 | 0.0000 |
| Anid*Reag | 2 | 0.1263611E-03 | 0.6318056E-04 | 6.88 | 0.0021 |
| Anid*Tempo | 2 | 0.5658333E-04 | 0.2829167E-04 | 3.08 | 0.0535 |
| Reag*Tempo | 1 | 0.2347222E-05 | 0.2347222E-05 | 0.26 | ***** |
| Anid*Esp | 2 | 0.2185833E-03 | 0.1092917E-03 | 11.90 | 0.0000 |
| Reag*Esp | 1 | 0.2112500E-04 | 0.2112500E-04 | 2.30 | 0.1348 |
| Resíduo | 58 | 0.5326944E-03 | 0.9184387E-05 | | |

* Nível de 5% de significância.

| | |
|-------------------|-------------|
| Média Geral | 0.39125E-01 |
| Coef. De Variação | 7.7459 |

Quadro 5A – Resumo da análise de variância (ANOVA) para a variável expansão linear (sentido longitudinal), em chapas do tipo OSB esterificadas.

| Fontes de Variação | GL | Soma de Quadrado | Quadrado Médio | F | Sig. |
|--------------------|----|------------------|----------------|--------|--------|
| Total | 71 | 0.3957778E-02 | | | |
| Total de Redução | 13 | 0.3372667E-02 | 0.2594359E-03 | 25.72 | 0.0000 |
| Anidrido | 2 | 0.2306778E-02 | 0.1153389E-02 | 114.33 | 0.0000 |
| Reagente | 1 | 0.3042222E-03 | 0.3042222E-03 | 30.16 | 0.0000 |
| Tempo | 1 | 0.7605556E-04 | 0.7605556E-04 | 7.54 | 0.0080 |
| Espécie | 1 | 0.3735556E-03 | 0.3735556E-03 | 37.03 | 0.0000 |
| Anid*Reag | 2 | 0.2007778E-03 | 0.1003889E-03 | 9.95 | 0.0002 |
| Anid*Tempo | 2 | 0.1477778E-04 | 0.7388889E-05 | 0.73 | ***** |
| Reag*Tempo | 1 | 0.1250000E-04 | 0.1250000E-04 | 1.24 | 0.2702 |
| Anid*Esp | 2 | 0.8044444E-04 | 0.4022222E-04 | 3.99 | 0.0239 |
| Reag*Esp | 1 | 0.3555556E-05 | 0.3555556E-05 | 0.35 | ***** |
| Resíduo | 58 | 0.5851111E-03 | 0.1008812E-04 | | |

* Nível de 5% de significância.

| | |
|-------------------|-------------|
| Média Geral | 0.38556E-01 |
| Coef. De Variação | 8.2379 |

Quadro 6A - Resumo da análise de variância (ANOVA) para a variável absorção de água (2h), em chapas do tipo OSB esterificadas.

| Fontes de Variação | GL | Soma de Quadrado | Quadrado Médio | F | Sig. |
|--------------------|----|------------------|----------------|--------|--------|
| Total | 71 | 0.6190368E+10 | | | |
| Total de Redução | 13 | 0.5779879E+10 | 0.4446061E+09 | 62.82 | 0.0000 |
| Anidrido | 2 | 0.3347907E+10 | 0.1673954E+10 | 236.52 | 0.0000 |
| Reagente | 1 | 0.4448917E+08 | 0.4448917E+08 | 6.29 | 0.0150 |
| Tempo | 1 | 0.5817631E+09 | 0.5817631E+09 | 82.20 | 0.0000 |
| Espécie | 1 | 0.6914179E+09 | 0.6914179E+09 | 97.69 | 0.0000 |
| Anid*Reag | 2 | 0.6699722E+09 | 0.3349861E+09 | 47.33 | 0.0000 |
| Anid*Tempo | 2 | 0.1133535E+09 | 0.5667675E+08 | 8.01 | 0.0008 |
| Reag*Tempo | 1 | 3737834 | 3737834 | 0.53 | ***** |
| Anid*Esp | 2 | 0.3021883E+09 | 0.1510942E+09 | 21.35 | 0.0000 |
| Reag*Esp | 1 | 0.2505022E+08 | 0.2505022E+08 | 3.54 | 0.0649 |
| Resíduo | 58 | 0.4104886E+09 | 7077390. | | |

* Nível de 5% de significância.

| | |
|-------------------|--------|
| Média Geral | 33.207 |
| Coef. De Variação | 8.0114 |

Quadro 7A - Resumo da análise de variância (ANOVA) para a variável absorção de água (24h), em chapas do tipo OSB esterificadas.

| Fontes de Variação | GL | Soma de Quadrado | Quadrado Médio | F | Sig. |
|--------------------|----|------------------|----------------|-------|--------|
| Total | 71 | 0.5290001E+10 | | | |
| Total de Redução | 13 | 0.4372999E+10 | 0.3363846E+09 | 21.28 | 0.0000 |
| Anidrido | 2 | 0.1887374E+10 | 0.9436868E+09 | 59.69 | 0.0000 |
| Reagente | 1 | 151158.3 | 151158.3 | 0.01 | ***** |
| Tempo | 1 | 0.4161757E+09 | 0.4161757E+09 | 26.32 | 0.0000 |
| Espécie | 1 | 0.5425932E+09 | 0.5425932E+09 | 34.32 | 0.0000 |
| Anid*Reag | 2 | 0.1178363E+10 | 0.5891814E+09 | 37.27 | 0.0000 |
| Anid*Tempo | 2 | 0.2964011E+08 | 0.1482005E+08 | 0.94 | ***** |
| Reag*Tempo | 1 | 0.1383292E+08 | 0.1383292E+08 | 0.87 | ***** |
| Anid*Esp | 2 | 0.2662538E+09 | 0.1331269E+09 | 8.42 | 0.0006 |
| Reag*Esp | 1 | 0.3861594E+08 | 0.3861594E+08 | 2.44 | 0.1235 |
| Resíduo | 58 | 0.9170021E+09 | 0.1581038E+08 | | |

* Nível de 5% de significância.

| | |
|-------------------|--------|
| Média Geral | 51.551 |
| Coef. De Variação | 7.7132 |

Quadro 8A - Resumo da análise de variância (ANOVA) para a variável inchamento em espessura (2h), em chapas do tipo OSB esterificadas.

| Fontes de Variação | GL | Soma de Quadrado | Quadrado Médio | F | Sig. |
|--------------------|----|------------------|----------------|--------|--------|
| Total | 71 | 0.1139812E+10 | | | |
| Total de Redução | 13 | 0.1035536E+10 | 0.7965662E+08 | 44.31 | 0.0000 |
| Anidrido | 2 | 0.7251503E+09 | 0.3625752E+09 | 201.67 | 0.0000 |
| Reagente | 1 | 0.1794604E+08 | 0.1794604E+08 | 9.98 | 0.0025 |
| Tempo | 1 | 0.8193280E+08 | 0.8193280E+08 | 45.57 | 0.0000 |
| Espécie | 1 | 0.5195542E+08 | 0.5195542E+08 | 28.90 | 0.0000 |
| Anid*Reag | 2 | 0.1165893E+09 | 0.5829465E+08 | 32.42 | 0.0000 |
| Anid*Tempo | 2 | 8414428. | 4207214. | 2.34 | 0.1053 |
| Reag*Tempo | 1 | 5209992. | 5209992. | 2.90 | 0.0940 |
| Anid*Esp | 2 | 0.2832024E+08 | 0.1416012E+08 | 7.88 | 0.0009 |
| Reag*Esp | 1 | 17546.89 | 17546.89 | 0.01 | ***** |
| Resíduo | 58 | 0.1042756E+09 | 1797855. | | |

* Nível de 5% de significância.

| | |
|-------------------|--------|
| Média Geral | 11.510 |
| Coef. De Variação | 11.650 |

Quadro 9A - Resumo da análise de variância (ANOVA) para a variável inchamento em espessura (24h), em chapas do tipo OSB esterificadas.

| Fontes de Variação | GL | Soma de Quadrado | Quadrado Médio | F | Sig. |
|--------------------|----|------------------|----------------|-------|--------|
| Total | 71 | 0.1070348E+10 | | | |
| Total de Redução | 13 | 0.8031951E+09 | 0.6178424E+08 | 13.41 | 0.0000 |
| Anidrido | 2 | 0.4126985E+09 | 0.2063492E+09 | 44.80 | 0.0000 |
| Reagente | 1 | 1790778 | 1790778 | 0.39 | ***** |
| Tempo | 1 | 0.5941045E+08 | 0.5941045E+08 | 12.90 | 0.0007 |
| Espécie | 1 | 0.3634208E+08 | 0.3634208E+08 | 7.89 | 0.0068 |
| Anid*Reag | 2 | 0.2665674E+09 | 0.1332837E+09 | 28.94 | 0.0000 |
| Anid*Tempo | 2 | 4896625 | 2448313 | 0.53 | ***** |
| Reag*Tempo | 1 | 3465028. | 3465028 | 0.75 | ***** |
| Anid*Esp | 2 | 0.1405701E+08 | 7028504 | 1.53 | 0.2260 |
| Reag*Esp | 1 | 3967275. | 3967275 | 0.86 | ***** |
| Resíduo | 58 | 0.2671527E+09 | 4606081 | | |

* Nível de 5% de significância.

| | |
|-------------------|--------|
| Média Geral | 18.292 |
| Coef. De Variação | 11.733 |

Quadro 10A - Resumo da análise de variância (ANOVA) para a variável extração de parafuso, em chapas do tipo OSB esterificadas.

| Fontes de Variação | GL | Soma de Quadrado | Quadrado Médio | F | Sig. |
|--------------------|----|------------------|----------------|------|--------|
| Total | 71 | 105716.2 | | | |
| Total de Redução | 14 | 30092.45 | 2149.461 | 1.62 | 0.1015 |
| Anidrido | 2 | 2124.979 | 1062.490 | 0.80 | ***** |
| Reagente | 1 | 4.500000 | 4.500000 | 0.00 | ***** |
| Tempo | 1 | 1909.963 | 1909.963 | 1.44 | 0.2352 |
| Espécie | 1 | 7715.580 | 7715.580 | 5.82 | 0.0191 |
| Anid*Reag | 2 | 10225.66 | 5112.831 | 3.85 | 0.0269 |
| Anid*Tempo | 2 | 2539.935 | 1269.968 | 0.96 | ***** |
| Reag*Tempo | 1 | 1449.014 | 1449.014 | 1.09 | 0.3004 |
| Tempo*Espécie | 1 | 45.65432 | 45.65432 | 0.03 | ***** |
| Anid*Esp | 2 | 3904.492 | 1952.246 | 1.47 | 0.2382 |
| Reag*Esp | 1 | 172.6701 | 172.6701 | 0.13 | ***** |
| Resíduo | 5 | 75623.73 | 1326.732 | | |

* Nível de 5% de significância.

| | |
|-------------------|--------|
| Média Geral | 210.89 |
| Coef. De Variação | 17.272 |

Quadro 11A- Resumo da análise de variância (ANOVA) para a variável dureza Janka, em chapas do tipo OSB esterificadas.

| Fontes de Variação | GL | Soma de Quadrado | Quadrado Médio | F | Sig. |
|--------------------|----|------------------|----------------|-------|--------|
| Total | 71 | 1532593. | | | |
| Total de Redução | 14 | 906400.4 | 64742.89 | 5.89 | 0.0000 |
| Anidrido | 2 | 468640.2 | 234320.1 | 21.33 | 0.0000 |
| Reagente | 1 | 20799.54 | 20799.54 | 1.89 | 0.1742 |
| Tempo | 1 | 51404.58 | 51404.58 | 4.68 | 0.0347 |
| Espécie | 1 | 138640.0 | 138640.0 | 12.62 | 0.0008 |
| Anid*Reag | 2 | 170111.2 | 85055.59 | 7.74 | 0.0011 |
| Anid*Tempo | 2 | 32084.46 | 16042.23 | 1.46 | 0.2407 |
| Reag*Tempo | 1 | 230.6231 | 230.6231 | 0.02 | ***** |
| Tempo*Espécie | 1 | 13.20517 | 13.20517 | 0.00 | ***** |
| Anid*Esp | 2 | 17967.52 | 8983.760 | 0.82 | ***** |
| Reag*Esp | 1 | 6509.112 | 6509.112 | 0.59 | ***** |
| Resíduo | 57 | 626192.8 | 10985.84 | | |

* Nível de 5% de significância.

| | |
|-------------------|--------|
| Média Geral | 566.61 |
| Coef. De Variação | 18.498 |

Quadro 12A - Resumo da análise de variância (ANOVA) para a variável tração perpendicular, em chapas do tipo OSB esterificadas.

| Fontes de Variação | GL | Soma de Quadrado | Quadrado Médio | F | Sig. |
|--------------------|----|------------------|----------------|-------|--------|
| Total | 71 | 60.43771 | | | |
| Total de Redução | 14 | 33.10977 | 2.364984 | 4.93 | 0.0000 |
| Anidrido | 2 | 1.964353 | 0.9821764 | 2.05 | 0.1383 |
| Reagente | 1 | 0.2450000E-02 | 0.2450000E-02 | 0.01 | ***** |
| Tempo | 1 | 10.87334 | 10.87334 | 22.68 | 0.0000 |
| Espécie | 1 | 9.901250 | 9.901250 | 20.65 | 0.0000 |
| Anid*Reag | 2 | 4.805608 | 2.402804 | 5.01 | 0.0099 |
| Anid*Tempo | 2 | 1.951669 | 0.9758347 | 2.04 | 0.1400 |
| Reag*Tempo | 1 | 1.206422 | 1.206422 | 2.52 | 0.1182 |
| Tempo*Espécie | 1 | 0.4355556E-02 | 0.4355556E-02 | 0.01 | ***** |
| Anid*Esp | 2 | 0.6705250 | 0.3352625 | 0.70 | ***** |
| Reag*Esp | 1 | 1.729800 | 1.729800 | 3.61 | 0.0626 |
| Resíduo | 57 | 27.32794 | 0.4794375 | | |

* Nível de 5% de significância.

| | |
|-------------------|--------|
| Média Geral | 5.5961 |
| Coef. De Variação | 12.373 |

Quadro 13A - Resumo da análise de variância (ANOVA) para a variável compressão longitudinal, em chapas do tipo OSB esterificadas.

| Fontes de Variação | GL | Soma de Quadrado | Quadrado Médio | F | Sig. |
|--------------------|----|------------------|----------------|-------|--------|
| Total | 71 | 45607.35 | | | |
| Total de Redução | 14 | 25372.79 | 1812.342 | 5.11 | 0.0000 |
| Anidrido | 2 | 2149.196 | 1074.598 | 3.03 | 0.0563 |
| Reagente | 1 | 856.2845 | 856.2845 | 2.41 | 0.1259 |
| Tempo | 1 | 1162.487 | 1162.487 | 3.27 | 0.0756 |
| Espécie | 1 | 2617.251 | 2617.251 | 7.37 | 0.0088 |
| Anid*Reag | 2 | 16575.11 | 8287.557 | 23.35 | 0.0000 |
| Anid*Tempo | 2 | 322.1556 | 161.0778 | 0.45 | ***** |
| Reag*Tempo | 1 | 370.3398 | 370.3398 | 1.04 | 0.3114 |
| Tempo*Espécie | 1 | 188.2505 | 188.2505 | 0.53 | ***** |
| Anid*Esp | 2 | 618.3425 | 309.1712 | 0.87 | ***** |
| Reag*Esp | 1 | 513.3665 | 513.3665 | 1.45 | 0.2341 |
| Resíduo | 5 | 20234.56 | 354.9923 | | |

* Nível de 5% de significância.

| | |
|-------------------|--------|
| Média Geral | 171.97 |
| Coef. De Variação | 10.956 |

Quadro 14A - Resumo da análise de variância (ANOVA) para a variável módulo de ruptura, sentido longitudinal, em chapas do tipo OSB esterificadas.

| Fontes de Variação | GL | Soma de Quadrado | Quadrado Médio | F | Sig. |
|--------------------|----|------------------|----------------|-------|--------|
| Total | 71 | 681296.3 | | | |
| Total de Redução | 14 | 463898.3 | 33135.59 | 8.69 | 0.0000 |
| Anidrido | 2 | 18966.44 | 9483.222 | 2.49 | 0.0922 |
| Reagente | 1 | 32756.23 | 32756.23 | 8.59 | 0.0049 |
| Tempo | 1 | 58396.78 | 58396.78 | 15.31 | 0.0003 |
| Espécie | 1 | 186331.6 | 186331.6 | 48.85 | 0.0000 |
| Anid*Reag | 2 | 138553.3 | 69276.66 | 18.16 | 0.0000 |
| Anid*Tempo | 2 | 8716.167 | 4358.083 | 1.14 | 0.3262 |
| Reag*Tempo | 1 | 943.8890 | 943.8890 | 0.25 | ***** |
| Tempo*Espécie | 1 | 1.272906 | 1.272906 | 0.00 | ***** |
| Anid*Esp | 2 | 18503.17 | 9251.587 | 2.43 | 0.0975 |
| Reag*Esp | 1 | 729.4745 | 729.4745 | 0.19 | ***** |
| Resíduo | 57 | 217398.0 | 3814.000 | | |

* Nível de 5% de significância.

| | |
|-------------------|--------|
| Média Geral | 426.63 |
| Coef. De Variação | 14.476 |

Quadro 15A - Resumo da análise de variância (ANOVA) para a variável módulo de ruptura, sentido perpendicular, em chapas do tipo OSB esterificadas.

| Fontes de Variação | GL | Soma de Quadrado | Quadrado Médio | F | Sig. |
|--------------------|----|------------------|----------------|-------|--------|
| Total | 71 | 239247.1 | | | |
| Total de Redução | 14 | 126366.7 | 9026.194 | 4.56 | 0.0000 |
| Anidrido | 2 | 2688.280 | 1344.140 | 0.68 | ***** |
| Reagente | 1 | 6144.207 | 6144.207 | 3.10 | 0.0835 |
| Tempo | 1 | 22792.03 | 22792.03 | 11.51 | 0.0013 |
| Espécie | 1 | 41489.90 | 41489.90 | 20.95 | 0.0000 |
| Anid*Reag | 2 | 22340.51 | 11170.26 | 5.64 | 0.0058 |
| Anid*Tempo | 2 | 476.2972 | 238.1486 | 0.12 | ***** |
| Reag*Tempo | 1 | 1022.971 | 1022.971 | 0.52 | ***** |
| Tempo*Espécie | 1 | 37.88826 | 37.88826 | 0.02 | ***** |
| Anid*Esp | 2 | 27743.13 | 13871.57 | 7.00 | 0.0019 |
| Reag*Esp | 1 | 1631.496 | 1631.496 | 0.82 | ***** |
| Resíduo | 57 | 112880.4 | 1980.358 | | |

* Nível de 5% de significância.

| | |
|-------------------|--------|
| Média Geral | 242.46 |
| Coef. De Variação | 18.354 |

Quadro 16A - Resumo da análise de variância (ANOVA) para a variável módulo de elasticidade, sentido longitudinal, em chapas do tipo OSB esterificadas.

| Fontes de Variação | GL | Soma de Quadrado | Quadrado Médio | F | Sig. |
|--------------------|----|------------------|----------------|-------|--------|
| Total | 71 | 0.7754849E+10 | | | |
| Total de Redução | 14 | 0.4017529E+10 | 0.2869664E+09 | 4.38 | 0.0000 |
| Anidrido | 2 | 0.2822902E+08 | 0.1411451E+08 | 0.22 | ***** |
| Reagente | 1 | 0.1100686E+09 | 0.1100686E+09 | 1.68 | 0.2003 |
| Tempo | 1 | 0.9523946E+09 | 0.9523946E+09 | 14.53 | 0.0003 |
| Espécie | 1 | 0.1358481E+10 | 0.1358481E+10 | 20.72 | 0.0000 |
| Anid*Reag | 2 | 0.1417295E+10 | 0.7086477E+09 | 10.81 | 0.0001 |
| Anid*Tempo | 2 | 0.3432409E+08 | 0.1716204E+08 | 0.26 | ***** |
| Reag*Tempo | 1 | 0.1392657E+08 | 0.1392657E+08 | 0.21 | ***** |
| Tempo*Espécie | 1 | 0.7126265E+08 | 0.7126265E+08 | 1.09 | 0.3016 |
| Anid*Esp | 2 | 0.3024417E+08 | 0.1512208E+08 | 0.23 | ***** |
| Reag*Esp | 1 | 1303203. | 1303203. | 0.02 | ***** |
| Resíduo | 57 | 0.3737320E+10 | 0.6556701E+08 | | |

* Nível de 5% de significância.

| | |
|-------------------|--------|
| Média Geral | 45799. |
| Coef. De Variação | 17.680 |

Quadro 17A - Resumo da análise de variância (ANOVA) para a variável módulo de elasticidade, sentido perpendicular, em chapas do tipo OSB esterificadas.

| Fontes de Variação | GL | Soma de Quadrado | Quadrado Médio | F | Sig. |
|--------------------|----|------------------|----------------|------|--------|
| Total | 71 | 0.2034657E+10 | | | |
| Total de Redução | 14 | 0.7123005E+09 | 0.5087861E+08 | 2.19 | 0.0192 |
| Anidrido | 2 | 0.1941235E+09 | 0.9706175E+08 | 4.18 | 0.0202 |
| Reagente | 1 | 0.5731067E+08 | 0.5731067E+08 | 2.47 | 0.1216 |
| Tempo | 1 | 0.1344080E+09 | 0.1344080E+09 | 5.79 | 0.0194 |
| Espécie | 1 | 0.1090207E+09 | 0.1090207E+09 | 4.70 | 0.0344 |
| Anid*Reag | 2 | 0.9798735E+08 | 0.4899367E+08 | 2.11 | 0.1304 |
| Anid*Tempo | 2 | 0.4750262E+08 | 0.2375131E+08 | 1.02 | 0.3657 |
| Reag*Tempo | 1 | 9318371. | 9318371. | 0.40 | ***** |
| Tempo*Espécie | 1 | 4324703. | 4324703. | 0.19 | ***** |
| Anid*Esp | 2 | 0.5619062E+08 | 0.2809531E+08 | 1.21 | 0.3054 |
| Reag*Esp | 1 | 2114040. | 2114040. | 0.09 | ***** |
| Resíduo | 57 | 0.1322356E+10 | 0.2319924E+08 | | |

* Nível de 5% de significância.

| | |
|-------------------|--------|
| Média Geral | 18187 |
| Coef. De Variação | 26.484 |

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)