

CARLA PRISCILLA TÁVORA CABRAL

**PROPRIEDADES DE PAINÉIS 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 – BRASIL
2010

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

C117p
2010

Cabral, Carla Priscilla Távora, 1976-
Propriedades de painéis OSB fabricados com
flocos esterificados / Carla Priscilla Távora Cabral.
– Viçosa, MG, 2010.
xix, 117f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Inclui apêndices.

Orientador: Benedito Rocha Vital.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 82-85

1. Madeira – Esterificação. 2. Anidridos. 3. Chapas de
madeira. 4. Eucalipto. 5. Resíduos vegetais.
6. Processamento da madeira. I. Universidade Federal de
Viçosa. II. Título.

CDD 22. ed. 634.982

CARLA PRISCILLA TÁVORA CABRAL

PROPRIEDADES DE PAINÉIS 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*.

APROVADA: 07 de maio de 2010

Prof. Ricardo Marius Della Lucia
(Co-orientador)

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

Dr. Daniel Camara Barcellos

Prof. 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
LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE QUADROS	viii
RESUMO	xiv
ABSTRACT	xvii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. OSB (Oriented Strand Board)	4
2.1.1 Definição	4
2.1.2 Requisitos para a fabricação do OSB	5
2.1.3 Utilizações do OSB	6
2.2. A Indústria Brasileira de Painéis de Madeira	8
2.3. Esterificação	11
2.3.1 Reações de esterificação	12
2.3.1.1 Ésteres ftálicos	12
2.3.1.2 Ésteres de anidrido maleico	15
2.3.1.3 Acetilação	17
3. MATERIAIS E MÉTODOS	23
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	30
4.1 Propriedades físicas	30
4.1.1 Massa Específica	30
4.1.2 Teor de umidade	30

4.1.3 Adsorção de água.....	34
4.1.4 Expansão linear	41
4.1.5 Absorção de água (2H)	48
4.1.6 Absorção de água (24H).....	53
4.1.7 Inchamento em espessura (2H).....	56
4.1.8 Inchamento em espessura (24H).....	60
4.2 Ensaio mecânicos	62
4.2.1 Arrancamento de parafuso	62
4.2.2 Dureza Janka	64
4.2.3 Tração perpendicular	67
4.2.4 Compressão longitudinal.....	69
4.2.5 Flexão estática.....	71
5. CONCLUSÕES	80
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82
APÊNDICES	86
APÊNDICE A – Estatísticas (Teste de Tukey).....	86
APÊNDICE B – Estatísticas (Teste de Dunnet para <i>Pinus caribaea</i>)	104
APÊNDICE C – Estatísticas (Teste de Dunnet para <i>Eucalyptus grandis</i>)...	111

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Orientação perpendicular das partículas da camada interna em relação à das faces.....	5
FIGURA 2 – Orientação aleatória das partículas da camada interna.....	5
FIGURA 3 – Evolução do mercado brasileiro da indústria de compensados ...	10
FIGURA 4 – Esterificação	11
FIGURA 5 – Esterificação do ácido ftálico com 2-etilhexanol partindo do anidrido ftálico.....	13
FIGURA 6 – Produção de ácido DL-tartárico a partir de anidrido maleico	16
FIGURA 7 – Isomerização do ácido maleico para ácido fumárico	17
FIGURA 8 – Obtenção do ácido DL-maleico a partir de ácido fumárico	17
FIGURA 9 – Acetilação de uma parte da molécula de β -D-anidroglicopiranosose-, produzindo um triacetato de celulose	21
FIGURA 10 – Representação da posição dos corpos de prova no painel	26
FIGURA 11 – Valores médios dos painéis OSB para o teor de umidade (%)	31
FIGURA 12 – Valores médios dos painéis OSB para a adsorção de água.....	35
FIGURA 13 –Valores médios dos painéis OSB para a expansão linear (%),sentido longitudinal.....	42
FIGURA 14 –Valores médios dos painéis OSB para a expansão linear(%), sentido perpendicular	45
FIGURA 15 – Valores médios dos painéis OSB para a absorção de água (%),após 2 h.....	49

FIGURA 16 - Valores médios dos painéis OSB para a absorção de água (%), após 24 h	53
FIGURA 17 - Valores médios dos painéis OSB para o inchamento em espessura (%), após 2 h.....	57
FIGURA 18 - Valores médios dos painéis OSB para o inchamento em espessura (%), após 24 h.....	60
FIGURA 19 - Valores médios dos painéis OSB para o arrancamento de parafuso (kgf).....	63
FIGURA 20 - Valores médios dos painéis OSB para a dureza Janka (kgf).....	65
FIGURA 21 - Valores médios dos painéis OSB para a tração perpendicular (kgf/cm ²).....	67
FIGURA 22 - Valores médios dos painéis OSB para a compressão longitudinal (kgf/cm ²).....	69
FIGURA 23 - Valores médios dos painéis OSB para o MOR (kgf/cm ²), sentido longitudinal	72
FIGURA 24 - Valores médios dos painéis OSB para o MOR (kgf/cm ²), sentido perpendicular	73
FIGURA 25 - Valores médios dos painéis OSB para o MOE (kgf/cm ²), sentido longitudinal	76
FIGURA 26 - Valores médios dos painéis OSB para o MOE (kgf/cm ²), sentido perpendicular	78

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – Propriedades requeridas para painéis de partículas.....	27
QUADRO 2 – Valores médios dos painéis fabricados com flocos de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>Pinus caribaea</i> para umidade de equilíbrio higroscópico (%) em função do tipo de anidrido e do solvente ou agente de inchamento	32
QUADRO 3 – Valores médios dos painéis fabricados com flocos de <i>Pinus caribaea</i> para umidade de equilíbrio higroscópico (%) comparando-se a testemunha e os tratamentos com anidridos	33
QUADRO 4 – Valores médios dos painéis fabricados com flocos de <i>Eucalyptus grandis</i> para umidade de equilíbrio higroscópico (%) comparando-se a testemunha e os tratamentos com anidridos	33
QUADRO 5 – Valores médios dos painéis fabricados com flocos de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>Pinus caribaea</i> para umidade de equilíbrio higroscópico (%) em função da espécie e do tipo de anidrido	34
QUADRO 6 – Valores médios dos painéis fabricados com flocos de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>Pinus caribaea</i> para adsorção de água (%) em função do tipo de anidrido e do solvente ou agente de inchamento.....	36
QUADRO 7 – Valores médios dos painéis fabricados com flocos de <i>Pinus caribaea</i> para adsorção de água (%), comparando-se a testemunha e os tratamentos com anidridos	37

QUADRO 8 – Valores médios dos painéis fabricados com flocos de <i>Eucalyptus grandis</i> para adsorção de água (%) comparando-se a testemunha e os tratamentos com anidridos	37
QUADRO 9 – Valores médios dos painéis fabricados com flocos de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>Pinus caribaea</i> para adsorção de água (%) em função do tipo de anidrido e do tempo de reação.....	38
QUADRO 10 – Valores médios dos painéis fabricados com flocos de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>Pinus caribaea</i> para adsorção de água (%) em função do tipo de solvente ou agente de inchamento e do tempo da reação	39
QUADRO 11 – Valores médios dos painéis fabricados com flocos de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>Pinus caribaea</i> para adsorção de água (%) em função da espécie e do tipo de anidrido	40
QUADRO 12 – Valores médios dos painéis fabricados com flocos de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>Pinus caribaea</i> para adsorção de água (%) em função da espécie e do tipo de solvente ou agente de inchamento	41
QUADRO 13 – Valores médios dos painéis fabricados com flocos de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>Pinus caribaea</i> para expansão linear (%), no sentido longitudinal, em função do tipo de anidrido e do solvente ou agente de inchamento	43
QUADRO 14 – Valores médios dos painéis fabricados com flocos de <i>Pinus caribaea</i> para expansão linear (%), no sentido longitudinal, comparando-se a testemunha e os tratamentos com anidridos ...	43
QUADRO 15 – Valores médios dos painéis fabricados com flocos de <i>Eucalyptus grandis</i> para expansão linear (%), no sentido longitudinal, comparando-se a testemunha e os tratamentos com anidridos ...	44
QUADRO 16 – Valores médios dos painéis fabricados com flocos de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>Pinus caribaea</i> para expansão linear (%), no sentido longitudinal, em função da espécie e do tipo de anidrido	44
QUADRO 17 – Valores médios dos painéis fabricados com flocos de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>Pinus caribaea</i> para expansão linear (%), no sentido perpendicular, em função do solvente ou agente de inchamento e do tipo de anidrido	46

QUADRO 18 – Valores médios dos painéis fabricados com flocos de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>Pinus caribaea</i> para expansão linear (%), no sentido perpendicular, em função da espécie e do tipo de anidrido.....	47
QUADRO 19 – Valores médios dos painéis fabricados com flocos de <i>Pinus caribaea</i> para expansão linear (%), no sentido perpendicular, comparando-se a testemunha e os tratamentos com anidridos ...	47
QUADRO 20 – Valores médios dos painéis fabricados com flocos de <i>Eucalyptus grandis</i> para expansão linear (%), no sentido perpendicular, comparando-se a testemunha e os tratamentos com anidridos ...	48
QUADRO 21 – Valores médios dos painéis fabricados com flocos de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>Pinus caribaea</i> para absorção de água (%), após 2 horas, em função do tipo de anidrido e do solvente ou agente de inchamento	50
QUADRO 22 – Valores médios dos painéis fabricados com flocos de <i>Pinus caribaea</i> para absorção de água (%), após 2 horas, comparando-se a testemunha e os tratamentos com anidridos	50
QUADRO 23 – Valores médios dos painéis fabricados com flocos de <i>Eucalyptus grandis</i> para absorção de água (%), após 2 horas, comparando-se a testemunha e os tratamentos com anidridos	51
QUADRO 24 – Valores médios dos painéis fabricados com flocos de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>Pinus caribaea</i> para absorção de água (%), após 2 horas, em função do tipo de anidrido e do tempo de reação	51
QUADRO 25 – Valores médios dos painéis fabricados com flocos de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>Pinus caribaea</i> para absorção de água (%), após 2 horas, em função da espécie e do tipo de anidrido	52
QUADRO 26 – Valores médios dos painéis fabricados com flocos de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>Pinus caribaea</i> para absorção de água (%), após 24 horas, em função do anidrido e do tipo de solvente ou agente de inchamento	54
QUADRO 27 – Valores médios dos painéis fabricados com flocos de <i>Pinus caribaea</i> para absorção de água (%), após 24 horas, comparando-se a testemunha e os tratamentos com anidridos.....	54

QUADRO 28 – Valores médios dos painéis fabricados com flocos de <i>Eucalyptus grandis</i> para absorção de água (%), após 24 horas, comparando-se a testemunha e os tratamentos com anidridos	55
QUADRO 29 – Valores médios dos painéis fabricados com flocos de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>Pinus caribaea</i> para absorção de água (%), após 24 horas, em função da espécie e do tipo de anidrido	56
QUADRO 30 – Valores médios dos painéis fabricados com flocos de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>Pinus caribaea</i> para inchamento em espessura (%), após 2 horas, em função do anidrido e do tipo de solvente ou agente de inchamento	58
QUADRO 31 – Valores médios dos painéis fabricados com flocos de <i>Pinus caribaea</i> para inchamento em espessura (%), após 2 horas, comparando-se a testemunha e os tratamentos com anidridos ...	58
QUADRO 32 – Valores médios dos painéis fabricados com flocos de <i>Eucalyptus grandis</i> para inchamento em espessura (%), após 2 horas, comparando-se a testemunha e os tratamentos com anidridos ..	59
QUADRO 33 – Valores médios dos painéis fabricados com flocos de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>Pinus caribaea</i> para inchamento em espessura(%), após 2 horas, em função da espécie e do tipo de anidrido.....	59
QUADRO 34 – Valores médios dos painéis fabricados com flocos de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>Pinus caribaea</i> para inchamento em espessura (%), após 24 horas, em função do anidrido e do tipo de solvente ou agente de inchamento	61
QUADRO 35 – Valores médios dos painéis fabricados com flocos de <i>Pinus caribaea</i> para inchamento em espessura (%), após 24 horas, comparando-se a testemunha e os tratamentos com anidridos ...	61
QUADRO 36 – Valores médios dos painéis fabricados com flocos de <i>Eucalyptus grandis</i> para inchamento em espessura (%), após 24 horas, comparando-se a testemunha e os tratamentos com anidridos ...	62
QUADRO 37 – Valores médios dos painéis fabricados com flocos de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>Pinus caribaea</i> para o arrancamento de parafuso (kgf), em função do anidrido e do tipo de solvente ou agente de inchamento	64

QUADRO 38 – Valores médios dos painéis fabricados com flocos de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>Pinus caribaea</i> para dureza Janka (kgf), em função do anidrido e do tipo de solvente ou agente de inchamento.....	66
QUADRO 39 – Valores médios dos painéis fabricados com flocos de <i>Pinus caribaea</i> para dureza Janka (kgf), comparando-se a testemunha e os tratamentos com anidridos	66
QUADRO 40 – Valores médios dos painéis fabricados com flocos de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>Pinus caribaea</i> de resistência à tração perpendicular (kgf/cm ²), em função do anidrido e do tipo de solvente ou agente de inchamento	68
QUADRO 41 – Valores médios dos painéis fabricados com flocos de <i>Eucalyptus grandis</i> para tração perpendicular (kgf/cm ²), comparando-se a testemunha e os tratamentos com anidridos	69
QUADRO 42 – Valores médios dos painéis fabricados com flocos de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>Pinus caribaea</i> para compressão longitudinal (kgf/cm ²), em função do anidrido e do tipo de solvente ou agente de inchamento.....	70
QUADRO 43 – Valores médios dos painéis fabricados com flocos de <i>Eucalyptus grandis</i> para compressão longitudinal (kgf/cm ²), comparando-se a testemunha e os tratamentos com anidridos	71
QUADRO 44 – Valores médios dos painéis fabricados com flocos de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>Pinus caribaea</i> para módulo de ruptura (MOR) (kgf/cm ²), sentido longitudinal, em função do anidrido e do tipo de solvente ou agente de inchamento	73
QUADRO 45 – Valores médios dos painéis fabricados com flocos de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>Pinus caribaea</i> para módulo de ruptura (MOR) (kgf/cm ²), sentido perpendicular, em função do anidrido e do tipo de solvente ou agente de inchamento	74
QUADRO 46 – Valores médios dos painéis fabricados com flocos de <i>Pinus caribaea</i> para módulo de ruptura (MOR) (kgf/cm ²), sentido perpendicular, comparando-se a testemunha e os tratamentos com anidridos	75

- QUADRO 47 – Valores médios dos painéis fabricados com flocos de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea* para módulo de ruptura (MOR) (kgf/cm²), sentido perpendicular, em função da espécie e do tipo de anidrido 75
- QUADRO 48 – Valores médios dos painéis fabricados com flocos de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea* para módulo de elasticidade (MOE) (kgf/cm²), sentido longitudinal, em função do anidrido e do tipo de solvente ou agente de inchamento 77
- QUADRO 49 – Valores médios dos painéis fabricados com flocos de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea* para o módulo de elasticidade (MOE) (kgf/cm²), sentido perpendicular, em função do tipo de anidrido .. 79

RESUMO

CABRAL, Carla Priscilla Távora, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, maio de 2010. **Propriedades de painéis OSB fabricados com flocos esterificados.** Orientador: Benedito Rocha Vital. Co-orientadores: 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, foi necessário solubilizá-los 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. Os painéis que apresentaram menor expansão linear 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. As maiores médias de dureza Janka foram obtidas nos 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. As menores médias dos módulos de ruptura e elasticidade, sentido longitudinal, foram dos painéis confeccionados com anidrido acético e ácido acético. A acetilação empregando-se o ácido acético influenciou de forma positiva a 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.

ABSTRACT

CABRAL, Carla Priscilla Távora, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, May of 2010. **Properties of OSB panels manufactured with esterified flakes.**
Advisor: Benedito Rocha Vital. Co-advisors: 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 phthalic, 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 phthalic 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, fabricados com madeira de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea*, fabricados com flocos esterificados;

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 OSB (Oriented Strand Board)

2.1.1. 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.

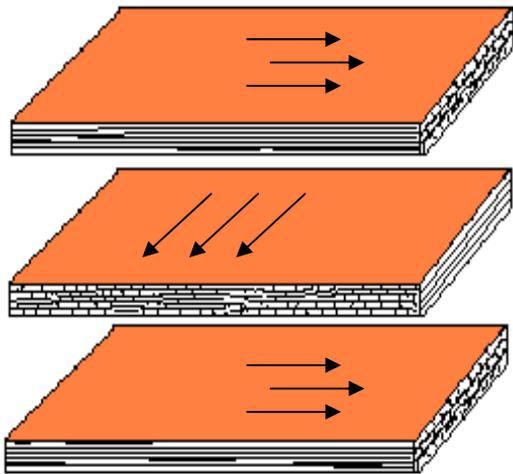


Figura 1 - Orientação perpendicular das partículas da camada interna em relação às da face.

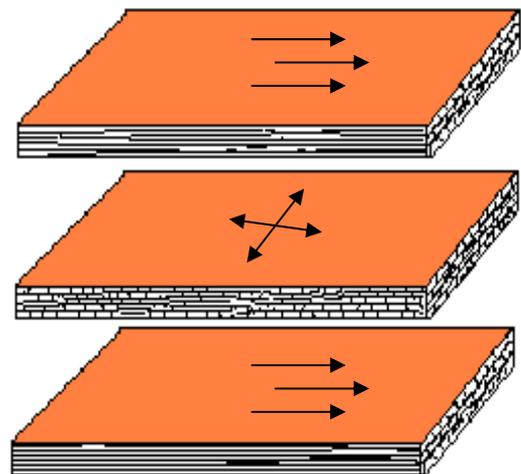


Figura 2 - Orientação aleatória das partículas da camada interna.

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).

2.1.2. 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.

2.1.3. 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:

- Base para paredes e pisos em construções residenciais;

- Miolo para composto destinado a pisos de madeiras nobres;
- Tapumes e divisórias;
- Formas descartáveis para concreto;
- Paredes de carroceria de caminhões;
- Chalés rústicos;
- 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, nota-se que seus custos são aproximadamente a metade dos compensados produzidos naquele país (compensado produzido de coníferas do norte dos E.U.A. e aquele produzido de *Pinus* do sul dos E.U.A.) 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).

2.2. 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 de 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 3**, (MENDES,2003).

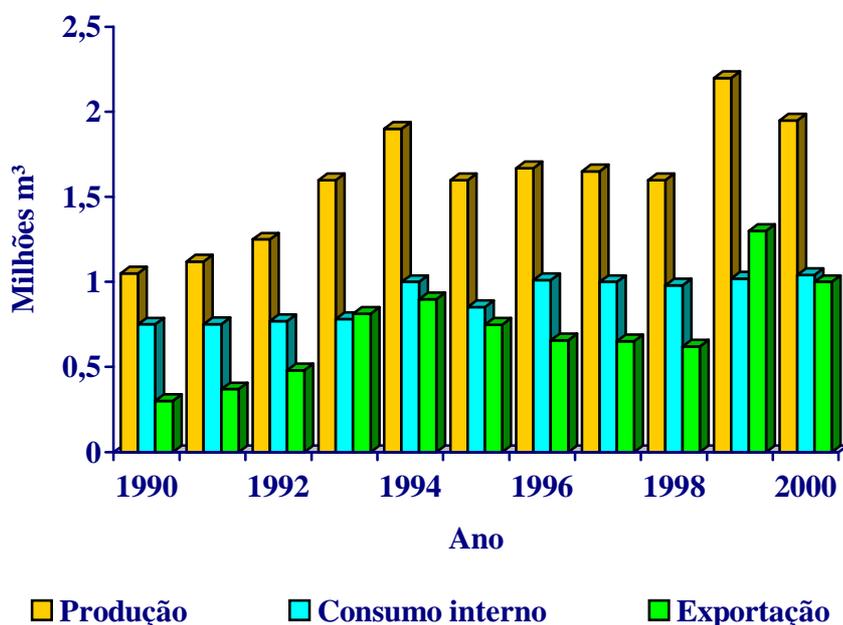


Figura 3 - Evolução do mercado brasileiro da indústria de compensados.

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.

2.3 Esterificação

Ésteres são produzidos substituindo-se uma hidroxila (-OH) de um ácido por um radical alcoxila (-OR). O método mais comum é a reação reversível de um ácido carboxílico com um álcool, havendo eliminação de água, conforme mostra a **Figura 4**.

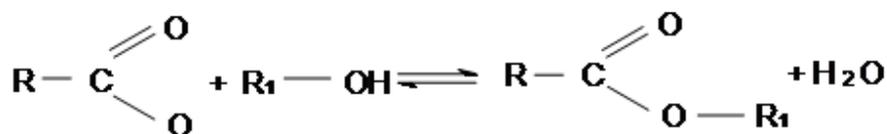


Figura 4. Esterificação (BARCZA, 2010)

Os 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).

2.3.1. Reações de esterificação

2.3.1.1 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.

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 200-220°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.

2.3.1.2 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 H_2O_2 na presença um catalisador contendo molibdênio ou tungstênio. A conversão se realiza via um ácido intermediário, epoxitartárico, que é hidrolizado, conforme mostra a **Figura 6**.

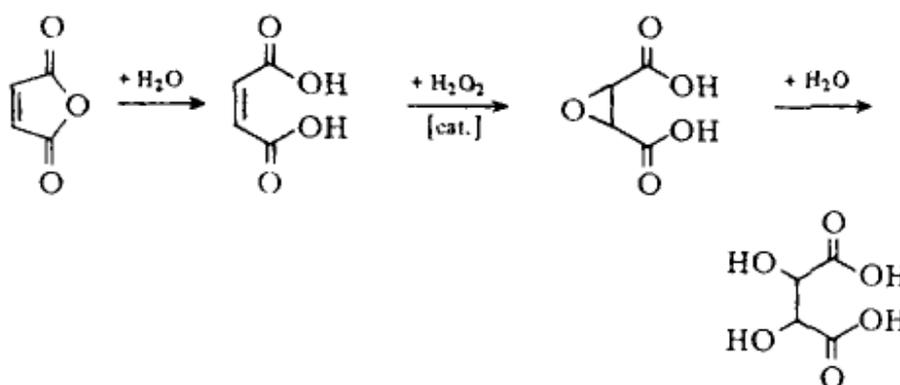


Figura 6. Produção de ácido DL-tartárico a partir de anidrido maleico (WEISSERMEL e ARPE, 1997).

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

A isomerização do ácido maleico para fumárico (**Figura 7**), que é quase quantitativo, é feito ou em solução aquosa sem catalisador por aquecimento por um longo período de tempo a $150^{\circ}C$, ou com H_2O_2 , tiouréia, persulfato de amônio, etc, a $100^{\circ}C$. 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).

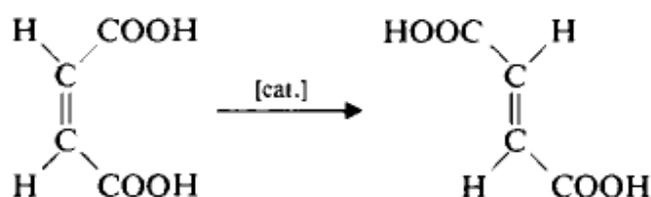


Figura 7. Isomerização do ácido maleico para ácido fumárico (WEISSERMEL e ARPE, 1997).

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 hidroxisuccínico) por hidratação próton catalisada (WEISSERMEL e ARPE, 1997), conforme mostra a **Figura 8**.

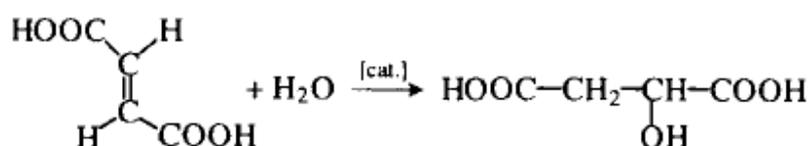


Figura 8. Obtenção do ácido DL-maleico a partir de ácido fumárico (WEISSERMEL e ARPE, 1997).

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.

2.3.1.3 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 conseqüência, 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 derivados 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 fibrilas de celulose reativa, a esterificação inicialmente rápida das hidroxilas de

moléculas em regiões acessíveis ou ativadas da estrutura da fibrila 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 9**, mostra um exemplo de formação de um triacetato de celulose.

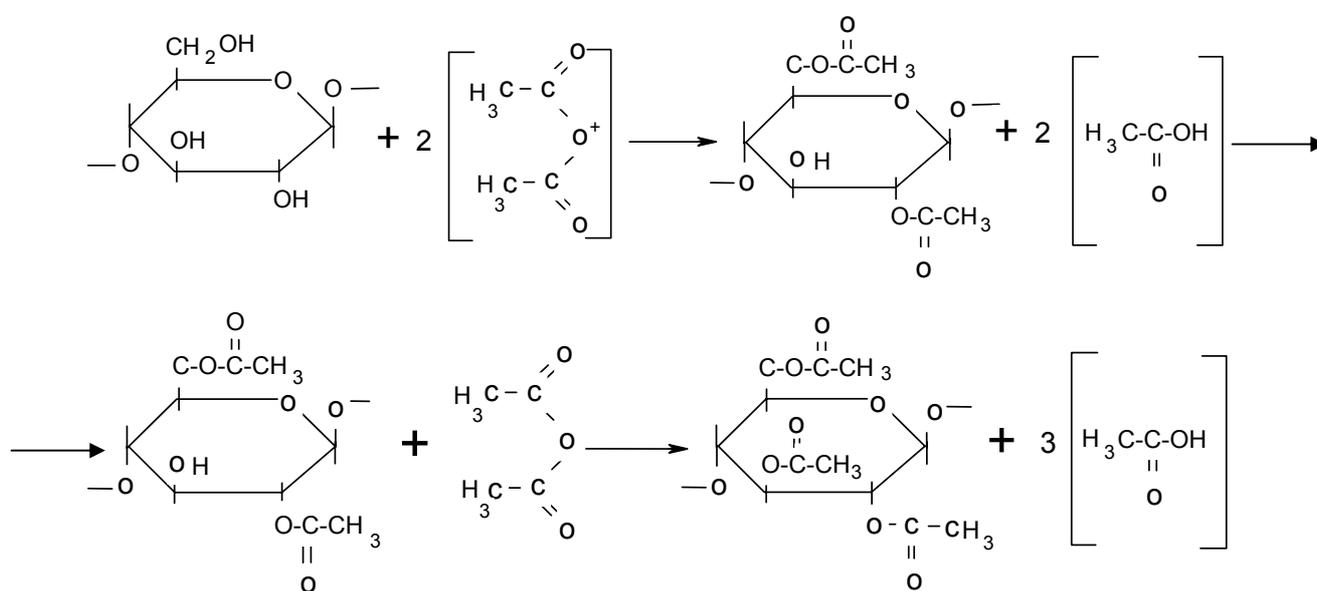


Figura 9 - Acetilação de uma parte da molécula de β -D-anidroglicopirranose, produzindo um triacetato de celulose.

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 iguais 0,51g/cm³ e 0,49 g/cm³ , para *Eucalyptus grandis* e *Pinus*, respectivamente.

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 dimensões aproximadas de 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 a 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.

Posteriormente, os flocos para a confecção das chapas esterificadas, foram secos a uma temperatura de (100±3°C) com ventilação forçada por um período de 24 horas. Logo em seguida, foram preparadas as soluções com os anidridos ftálico e maleico, como 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 e hermeticamente fechados.

Os flocos permaneceram 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. A seguir eles foram lavados para retirar o excesso de solução e secos a temperatura ambiente, e depois em estufa com ventilação forçada a 45° C por 3 dias, até atingirem 3% de umidade. Em seguida foram ensacados, até a fabricação dos painéis.

Os flocos acetilados foram pesados e deixados por 1 hora, reagindo dentro de tambores hermeticamente fechados com os ácidos ftálico ou acético. A seguir os ácidos drenados, foi adicionado o anidrido. A reação ocorreu durante 1 hora. Em seguida foram transferidos para uma autoclave eletrônica aquecida à temperatura de 120°C, para que ocorresse a acetilação.

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), com teor de sólidos de 50%, pH 12,07 e viscosidade de 1020.

A viscosidade foi determinada, empregando-se um viscosímetro tipo Brookfield-LV, splinder 3, com uma velocidade de rotação de 12 rpm, em amostras de aproximadamente 300 ml, com 5 repetições.

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.

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.

Procurou-se produzir todos os painéis com 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 10**.

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 pelas 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), com exceção da flexão estática onde os valores de MOR e MOE, foram comparados com a norma canadense CSA O437-93. O **Quadro 1**, mostra alguns valores de referência, para as propriedades dos painéis de madeira aglomerada.

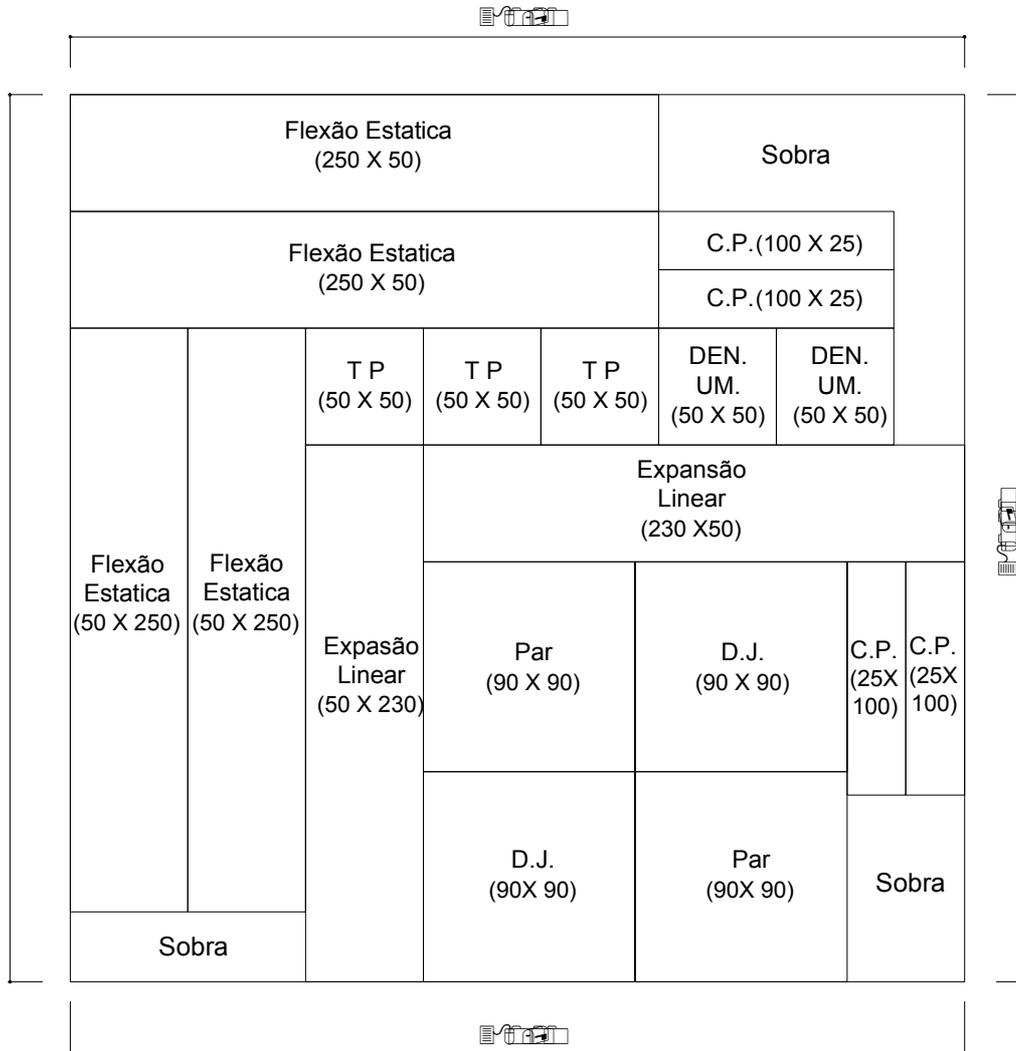


Figura 10 – Representação da posição dos corpos de prova no painel.

Quadro 1 – Propriedades requeridas para painéis 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/cm ²)	MOR (Kgf/cm 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”

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 ± 3)°C e uma umidade relativa de (90 ± 5)%.

Para os ensaios de inchamento e absorção de água durante 2 e 24 horas, foram utilizados corpos-de-prova com dimensões de 50 X 50 mm, retirados das amostras ensaiadas de MOR e MOE.

Os painéis foram fabricados com flocos tratados com 2 tempos de esterificação, 2 tipos de solvente/agente de inchamento, 3 tipos de anidrido, 2 espécies e três repetições conforme se segue.

A) Painéis de *Eucalyptus grandis*

- o T1 – *E. grandis* (testemunha)
- o T2 – *E. grandis* + AF + AE (24H)
- o T3 – *E. grandis* + AF + AE (48H)
- o T4 – *E. grandis* + AF + EE (24H)
- o T5 – *E. grandis* + AF + EE (48H)
- o T6 – *E. grandis* + AM + Acetato de etila (24H)
- o T7 – *E. grandis* AM + Acetato de etila (48H)
- o T8 – *E. grandis* AM + Acetona (24H)
- o T9 – *E. grandis* AM + Acetona (48H)
- o T10 – *E. grandis* AA + AA (24H)
- o T11 – *E. grandis* + AA + AA (48H)
- o T12 – *E. grandis* + AA + AF (24H)
- o T13 – *E. grandis* + AA + AF (48H)

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

- o T14 – *P. caribaea* (testemunha)
- o T15 – *P. caribaea* + AF + AE (24H)
- o T16 – *P. caribaea* + AF + AE (48H)
- o T17 – *P. caribaea* + AF + EE (24H)
- o T18 – *P. caribaea* + AF + EE (48H)
- o T19 – *P. caribaea* + AM + Acetato de etila (24H)
- o T20 – *P. caribaea* AM + Acetato de etila (48H)
- o T21 – *P. caribaea* AM + Acetona (24H)

- o T22 – *P. caribae* AM + Acetona (48H)
- o T23 – *P. caribae* AA + AA (24H)
- o T24 - *P. caribae* + AA + AA (48H)
- o T25 - *P. caribae* + AA + AF (24H)
- o T26 - *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 de Tukey em nível de 5% de significância.

Para a avaliação de eventuais diferenças entre as testemunhas e demais painéis empregou-se o teste de Dunnett em nível de 5% de significância.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Propriedades físicas

4.1.1 Massa Específica

O valor médio da densidade aparente dos painéis foi de, aproximadamente, $0,71 \text{ g/cm}^3$, Com amplitude de variância entre $0,67 \text{ g/cm}^3$ até $0,73 \text{ g/cm}^3$, porém não houve diferença significativa entre eles.

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

4.1.2 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 11**. 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%.

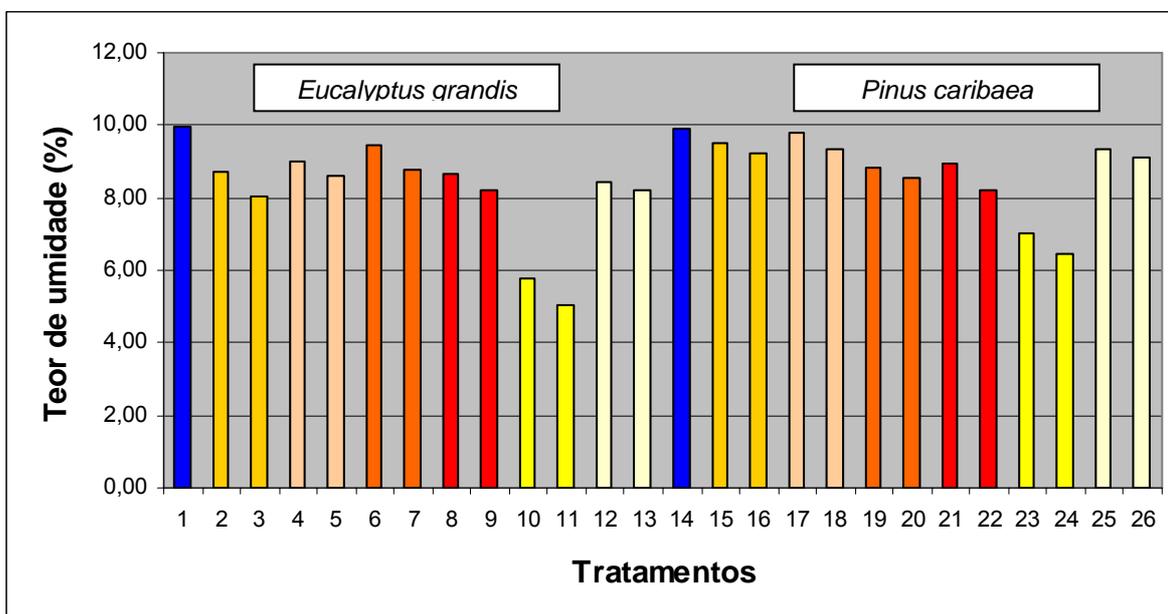


Figura 11 – Valores médios dos painéis OSB para o teor de umidade (%), sendo: 1 e 14: as testemunhas de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea*, respectivamente. 2, 3/ 15, 16: AF+álcool; 4, 5/ 17, 18: AF+éter; 6, 7/ 19, 20: AM+Acet. De etila; 8, 9/ 21, 22: AM+Acetona; 10, 11/ 23, 24: AA+AA; 12, 13/ 25, 26: AA+AF.

Pela análise de variância, observa-se diferença significativa entre os tratamentos, em função do tipo de anidrido e do solvente utilizado (**Quadro 2**). Os painéis confeccionados com os anidridos ftálico e maleico, utilizando os solventes: álcool etílico/ éter etílico e acetato de etila, respectivamente, foram os que apresentaram maiores valores para a variável teor de umidade. Isto, provavelmente, se deve a menor esterificação da madeira, ocasionada pelos anidridos ftálico e maleico com estes solventes.

Para anidrido ftálico solubilizado em álcool etílico/éter etílico, a concentração do mesmo na solução foi de apenas 2%. Isto se deve em parte, ao seu maior peso molecular em comparação aos outros 2 anidridos testados, tal fato, dificulta não só a solubilização do mesmo, como também, a penetração nos interstícios fibrilares da madeira.

A solução formada pela solubilização do anidrido maleico em acetato de etila, apresentou uma concentração de 20%, enquanto que na acetona, a concentração apresentada foi de 50%, porém ele recristaliza, rapidamente, após a evaporação do solvente, fato que provavelmente interfere em sua penetração na madeira, devido a obstrução dos elementos de vaso do *Eucalyptus grandis*, e das membranas das pontuações no caso do *Pinus caribaea*.

Quadro 2 - Valores médios dos painéis fabricados com flocos de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea* para umidade de equilíbrio higroscópico (%) em função do tipo de anidrido e do solvente ou agente de inchamento

Anidridos	Solvente/Agente de inchamento	
	Álcool /acetato de etila/ac. acético	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.

No **Quadro 3** pode-se observar a comparação entre as médias de umidade dos painéis fabricados com flocos de *Pinus caribaea*.

Quadro 3 - Valores médios dos painéis fabricados com flocos de *Pinus caribaea* para umidade de equilíbrio higroscópico (%) comparando-se a testemunha e os tratamentos com anidridos

Anidridos	Médias
Testemunha	9,9233 (A)
Anidrido ftálico	9,4775 (A)
Anidrido maleico	8,6308 (AB)
Anidrido acético	7,9808 (B)

* Médias seguidas de mesma letra maiúscula da testemunha, na coluna, não diferem da mesma em nível de 5% de significância, pelo teste de Dunnet.

No **Quadro 4** são mostradas as médias de teor de umidade, apresentadas pelo controle e os tratamentos esterificados, para *Eucalyptus grandis*, nota-se que a menor média foi obtida na esterificação com anidrido acético.

Quadro 4 - Valores médios dos painéis fabricados com flocos de *Eucalyptus grandis* para umidade de equilíbrio higroscópico (%) comparando-se a testemunha e os tratamentos com anidridos

Anidridos	Médias
Testemunha	9,9767 (A)
Anidrido ftálico	8,5950 (A)
Anidrido maleico	8,7900 (A)
Anidrido acético	6,8542 (B)

* Médias seguidas de mesma letra maiúscula da testemunha, na coluna, não diferem da mesma em nível de 5% de significância, pelo teste de Dunnet.

O anidrido acético por ser líquido, possuir baixo peso molecular e usado sob condições controladas de temperatura e pressão, ao ser utilizado juntamente com ácido acético, sendo que este exerce um papel fundamental no inchamento das fibras, possui uma penetração e uma retenção maior na madeira, quando comparado aos anidridos maleico e ftálico.

Na madeira de *Eucalyptus grandis*, a retenção do anidrido acético empregando-se o ácido acético, 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 acetilas incorporados na estrutura química da madeira de *Eucalyptus grandis*, fazendo com que a mesma, entrasse em equilíbrio higroscópico com menor teor de umidade, conforme pode ser observado no **Quadro 5**.

Quadro 5 - Valores médios dos painéis fabricados com flocos de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea* para umidade de equilíbrio higroscópico (%) em função da espécie e do tipo de anidrido

Anidridos	Espécies	
	<i>Eucalyptus grandis</i>	<i>Pinus caribaea</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.

4.1.3 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 12**.

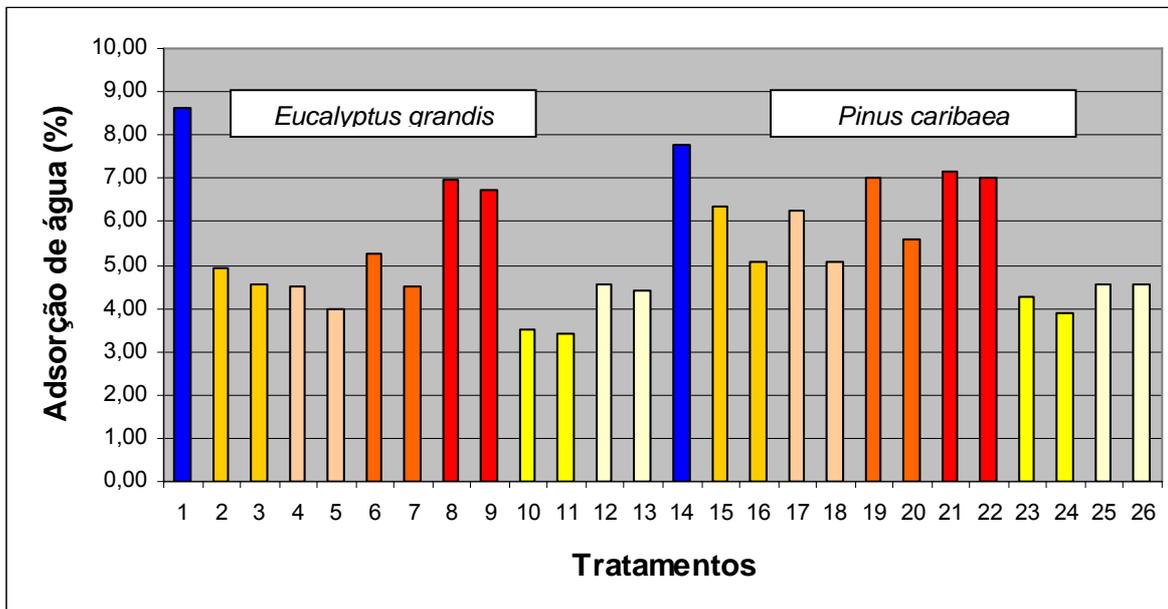


Figura 12 – Valores médios dos painéis OSB para a adsorção de água (%), sendo: 1 e 14: as testemunhas de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea*, respectivamente. 2, 3/ 15, 16: AF+álcool; 4, 5/ 17, 18: AF+éter; 6, 7/ 19, 20: AM+Acet. De etila; 8, 9/ 21, 22: AM+Acetona; 10, 11/ 23, 24: AA+AA; 12, 13/ 25, 26: AA+AF.

No **Quadro 6** são mostradas as médias analisadas pelo teste de Tukey, onde é possível observar uma interação significativa, entre tipo de anidrido e solvente/agente de inchamento utilizado, no tratamento dos flocos.

O efeito do anidrido ftálico, não foi afetado pelo 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 flocos tratados 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 7**.

Quadro 6 - Valores médios dos painéis fabricados com flocos de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea* para adsorção de água (%) em função do tipo de anidrido e do solvente ou agente de inchamento

Anidridos	Solvente/Agente de inchamento	
	Álcool /acetato de etila/ac. acético	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.

No **Quadro 7**, são mostrados os valores médios para a adsorção de vapor de água, para os painéis fabricados com flocos de *Pinus caribaea*, dados em termos percentuais, tendo como base do peso inicial das amostras a primeira condição de climatização (65±5% de UR e 20±3°C). Os painéis menos higroscópicos, foram aqueles submetidos ao tratamento de acetilação, apresentando neste ensaio os melhores resultados, em comparação aos demais processos de esterificação testados.

Quadro 7 - Valores médios dos painéis fabricados com flocos de *Pinus caribaea* para adsorção de água (%), comparando-se a testemunha e os tratamentos com anidridos

Anidridos	Médias
Testemunha	7,7767 (A)
Anidrido ftálico	5,6850 (C)
Anidrido maleico	6,6883 (B)
Anidrido acético	4,3092 (D)

* Médias seguidas de mesma letra maiúscula da testemunha, na coluna, não diferem da mesma em nível de 5% de significância, pelo teste de Dunnet.

No **Quadro 8**, são mostrados os valores médios de adsorção de vapor de água, para os tratamentos *Eucalyptus grandis*, testados e analisados estatisticamente pelo teste de Dunnet.

Quadro 8 - Valores médios dos painéis fabricados com flocos de *Eucalyptus grandis* para adsorção de água (%) comparando-se a testemunha e os tratamentos com anidridos

Anidridos	Médias
Testemunha	8,6167 (A)
Anidrido ftálico	4,4875 (C)
Anidrido maleico	5,8625 (B)
Anidrido acético	3,9692 (C)

* Médias seguidas de mesma letra maiúscula da testemunha, na coluna, não diferem da mesma em nível de 5% de significância, pelo teste de Dunnet.

O tempo de reação do tratamento dos flocos, também apresentou diferença, conforme mostrado no **Quadro 9**. 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 afetada pelo tempo de reação, que foram submetidos (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 9 - Valores médios dos painéis fabricados com flocos de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea* para adsorção de água (%) em função do tipo de anidrido e do tempo de reação

Anidridos	Tempos	
	(24/1H)	(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/agente de inchamento utilizado, observa-se no **Quadro 10** que o álcool, o acetato de etila e o ácido acético foram mais eficientes que o éter, a acetona e o ácido ftálico, 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 10 - Valores médios dos painéis fabricados com flocos de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea* para adsorção de água (%) em função do tipo de solvente ou agente de inchamento e do tempo da reação

Solvente/agente de inchamento	Tempos	
	(24/1H)	(48/3H)
Álcool /acetato de etila/ac. acético	5,22 (B, a)	4,49 (B, b)
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 11** 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 caribaea*. 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 11 - Valores médios dos painéis fabricados com flocos de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea* para adsorção de água (%) em função da espécie e do tipo de anidrido

Anidridos	Espécies	
	<i>Eucalyptus grandis</i>	<i>Pinus caribaea</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 12**. O álcool etílico/acetato de etila/ácido acético para as 2 espécies apresentou os melhores resultados, com as menores médias para adsorção de água. Observa-se que para os dois solventes/agente de inchamento, empregados, a espécie que apresentou as menores médias para este ensaio foi *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 12 - Valores médios dos painéis fabricados com flocos de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea* para adsorção de água (%) em função da espécie e do tipo de solvente ou agente de inchamento

Solvente/Agente de inchamento	Espécies	
	<i>Eucalyptus grandis</i>	<i>Pinus caribaea</i>
Álcool /acetato de etila/ac. acético	4,36 (B, b)	5,36 (B, a)
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.

4.1.4 EXPANSÃO LINEAR

Na **Figura 13** 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 que, as menores médias foram observadas nos painéis confeccionados com flocos acetilados.

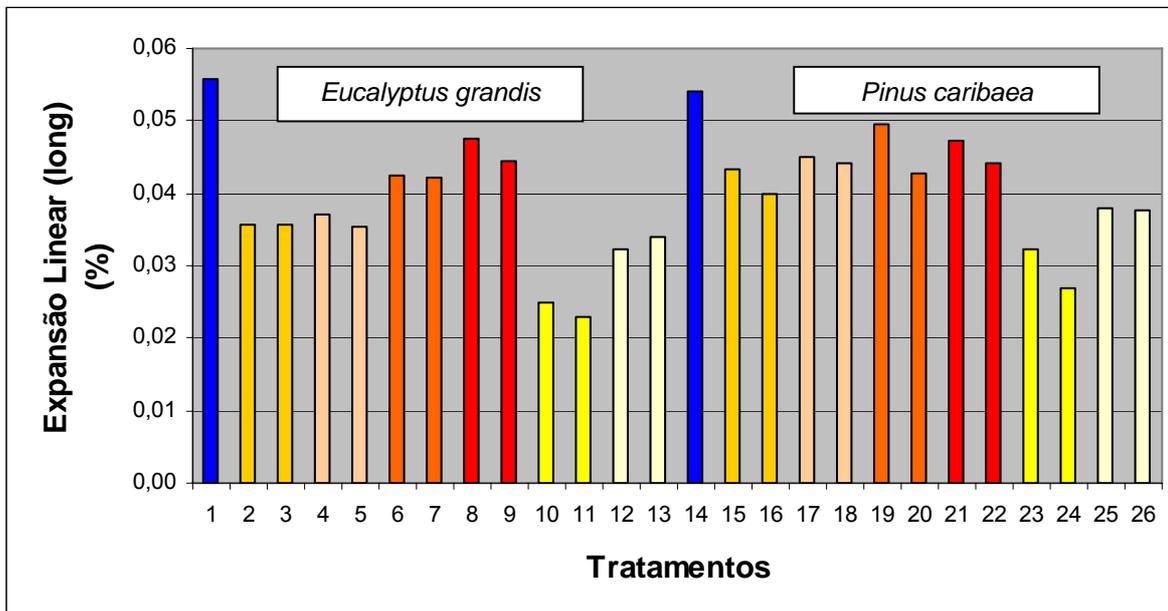


Figura 13 – Valores médios dos painéis OSB para a expansão linear (%), sentido longitudinal, sendo: 1 e 14: as testemunhas de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea*, respectivamente. 2, 3/ 15, 16: AF+álcool; 4, 5/ 17, 18: AF+éter; 6, 7/ 19, 20: AM+Acet. De etila; 8, 9/ 21, 22: AM+Acetona; 10, 11/ 23, 24: AA+AA; 12, 13/ 25, 26: AA+AF.

No **Quadro 13** 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 ácido acético, o responsável pela maior estabilidade dimensional destes painéis. Este resultado pode estar associado a uma maior eficiência da combinação entre o ácido acético, usado na primeira fase do tratamento, para promover o inchamento das fibras, com o anidrido acético, que é mais reativo, usado na segunda fase do tratamento de acetilação.

Quadro 13 - Valores médios dos painéis fabricados com flocos de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea* para expansão linear (%), no sentido longitudinal, em função do tipo de anidrido e do solvente ou agente de inchamento

Anidridos	Solvente/agente de inchamento	
	Álcool /acetato de etila/ac. acético	Éter/Acetona/Ácido ftálico
Anidrido ftálico	0,03875 (B, a)	0,04025 (B, a)
Anidrido maleico	0,04425 (A, a)	0,04575 (A, a)
Anidrido acético	0,02675 (C, b)	0,03550 (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.

Nos **Quadros 14 e 15**, pode ser observado que as menores médias para o ensaio de expansão linear, sentido longitudinal, comparando-se as amostras que serviram como controle (testemunhas) e os tratamentos esterificados, para *Pinus caribaea* e *Eucalyptus grandis*, foram obtidas pelos painéis constituídos por flocos tratados com anidrido acético.

Quadro 14 - Valores médios dos painéis fabricados com flocos de *Pinus caribaea* para expansão linear (%), no sentido longitudinal, comparando-se a testemunha e os tratamentos com anidridos

Anidridos	Médias
Testemunha	0,0540 (A)
Anidrido ftálico	0,0429 (B)
Anidrido maleico	0,0457 (B)
Anidrido acético	0,0338 (C)

* Médias seguidas de mesma letra maiúscula da testemunha, na coluna, não diferem da mesma em nível de 5% de significância, pelo teste de Dunnet.

Quadro 15 - Valores médios dos painéis fabricados com flocos de *Eucalyptus grandis* para expansão linear (%), no sentido longitudinal, comparando-se a testemunha e os tratamentos com anidridos

Anidridos	Médias
Testemunha	0,0557 (A)
Anidrido ftálico	0,0362(C)
Anidrido maleico	0,0441 (B)
Anidrido acético	0,0285 (D)

* Médias seguidas de mesma letra maiúscula da testemunha, na coluna, não diferem da mesma em nível de 5% de significância, pelo teste de Dunnet.

No **Quadro 16**, observa-se que 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 16 - Valores médios dos painéis fabricados com flocos de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea* para expansão linear (%), no sentido longitudinal, em função da espécie e do tipo de anidrido

Anidridos	Espécies	
	<i>Eucalyptus grandis</i>	<i>Pinus caribaea</i>
Anidrido ftálico	0,0360 (B, b)	0,0430 (A, a)
Anidrido maleico	0,04425 (A, b)	0,04575 (A, a)
Anidrido acético	0,0285 (C, b)	0,03375 (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 14**), 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.

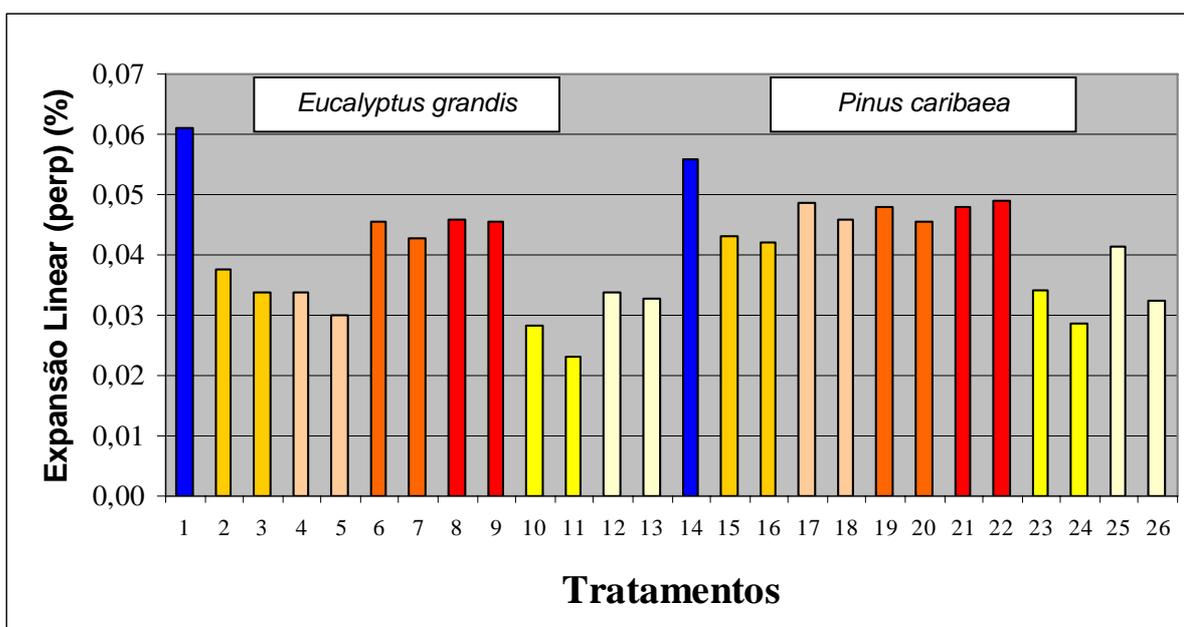


Figura 14 – Valores médios dos painéis OSB para a expansão linear (%), sentido perpendicular, sendo: 1 e 14: as testemunhas de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea*, respectivamente. 2, 3/ 15, 16: AF+álcool; 4, 5/ 17, 18: AF+éter; 6, 7/ 19, 20: AM+Acet. De etila; 8, 9/ 21, 22: AM+Acetona; 10, 11/ 23, 24: AA+AA; 12, 13/ 25, 26: AA+AF.

No **Quadro 17**, observa-se diferença significativa para a interação anidrido e solvente ou agente de inchamento. Como resultado de uma menor adsorção de água, os tratamentos fabricados com flocos acetilados apresentaram as menores médias para expansão linear, na direção normal a orientação dos flocos. Isto deve-se a uma maior estabilidade dos componentes químicos da madeira, tendo estes tratamentos seus sítios de adsorção bloqueados.

Os tratamentos fabricados com flocos acetilados, nos quais houve a associação do agente de inchamento, 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 agente de inchamento. Este fato pode estar associado as propriedades físicas do acetoftalato 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 soluções diluídas de álcalis e em soluções aquosas tamponadas, a um pH superior a 6,0 (HOWE; SHERKEY; OWEN, 2005). O adesivo utilizado na confecção dos painéis foi o fenol-formaldeído, com pH de aproximadamente 12. Durante as reações de adesão, alguns grupos de acetoftalato de celulose formados, possivelmente, podem ter sofrido uma degradação, ao reagirem com o fenol-formaldeído, tornando a madeira nestes sítios de adsorção, novamente higroscópica, esta reação é intensificada durante o processo de prensagem.

Quadro 17 - Valores médios dos painéis fabricados com flocos de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea* para expansão linear (%), no sentido perpendicular, em função do solvente ou agente de inchamento e do tipo de anidrido

Anidridos	Solvente/Agente de inchamento	
	Álcool /acetato de etila/ac. acético	Éter/acetona/ácido ftálico
Anidrido ftálico	0,03925 (B, a)	0,03975 (B, a)
Anidrido maleico	0,04575 (A, a)	0,047 (A, a)
Anidrido acético	0,0285 (C, b)	0,035 (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 18**, 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 de *Eucalyptus grandis*, apresentaram maior estabilidade dimensional, quando

comparados com aqueles, fabricados com madeira de *Pinus caribaea*, modificada quimicamente pelos anidridos ftálico e acético. Para os tratamentos com anidrido maleico não houve diferença significativa entre as duas espécies.

Quadro 18 - Valores médios dos painéis fabricados com flocos de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea* para expansão linear (%), no sentido perpendicular, em função da espécie e do tipo de anidrido

Anidridos	Espécies	
	<i>Eucalyptus grandis</i>	<i>Pinus caribaea</i>
Anidrido ftálico	0,034(B, b)	0,045 (A, a)
Anidrido maleico	0,045 (A, a)	0,047 (A, a)
Anidrido acético	0,029 (C, b)	0,034 (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 19** observa-se que o maior valor médio foi dos painéis constituídos por flocos sem tratamento químico, ou seja, a testemunha, e o menor valor médio foi daqueles fabricados com flocos esterificados com anidrido acético, para o *Pinus caribaea*, pelo teste de Dunnet.

Quadro 19 - Valores médios dos painéis fabricados com flocos de *Pinus caribaea* para expansão linear (%), no sentido perpendicular, comparando-se a testemunha e os tratamentos com anidridos

Anidridos	Médias
Testemunha	0,0557 (A)
Anidrido ftálico	0,0448 (B)
Anidrido maleico	0,0477 (B)
Anidrido acético	0,0340 (C)

* Médias seguidas de mesma letra maiúscula da testemunha, na coluna, não diferem da mesma em nível de 5% de significância, pelo teste de Dunnet.

No **Quadro 20**, pode ser observado que os menores valores médios foram dos painéis fabricados com flocos de madeira esterificados pelos anidridos ftálico e acético, enquanto que a maior média foi dos painéis testemunhas, que não sofreram nenhum tipo de tratamento de esterificação, considerando o *Eucalyptus grandis*, analisado pelo teste de Dunnet.

Quadro 20 - Valores médios dos painéis fabricados com flocos de *Eucalyptus grandis* para expansão linear (%), no sentido perpendicular, comparando-se a testemunha e os tratamentos com anidridos

Anidridos	Médias
Testemunha	0,0610 (A)
Anidrido ftálico	0,0339 (C)
Anidrido maleico	0,0448 (B)
Anidrido acético	0,0295 (C)

* Médias seguidas de mesma letra maiúscula da testemunha, na coluna, não diferem da mesma em nível de 5% de significância, pelo teste de Dunnet.

4.1.5 ABSORÇÃO DE ÁGUA (2H)

Observa-se graficamente (**Figura 15**), que as médias para os tratamentos confeccionados com flocos esterificados com anidrido maleico, tiveram uma tendência a serem menores para as duas espécies.

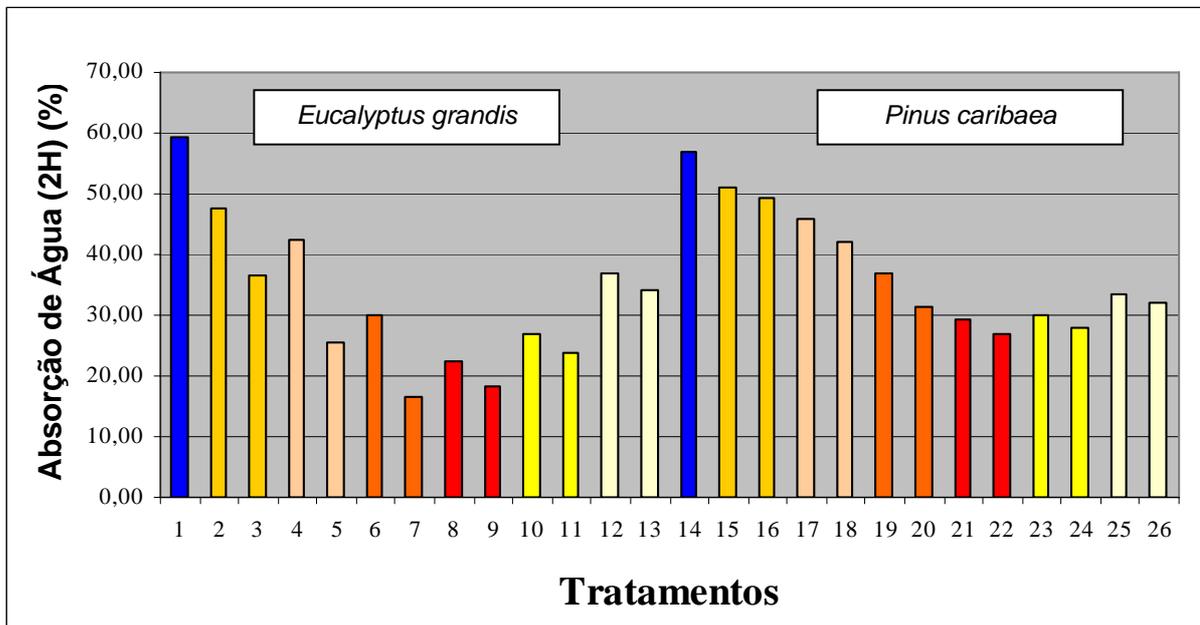


Figura 15 – Valores médios dos painéis OSB para a absorção de água (%), após 2 h, sendo: 1 e 14: as testemunhas de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea*, respectivamente. 2, 3/ 15, 16: AF+álcool; 4, 5/ 17, 18: AF+éter; 6, 7/ 19, 20: AM+Acet. De etila; 8, 9/ 21, 22: AM+Acetona; 10, 11/ 23, 24: AA+AA; 12, 13/ 25, 26: AA+AF.

Os valores médios de absorção de água (2H), entre anidrido e solvente/agente de inchamento, são mostrados no **Quadro 21**.

O anidrido maleico por ter uma diluição maior, cerca de 50%, na 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 21 - Valores médios dos painéis fabricados com flocos de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea* para absorção de água (%), após 2 horas, em função do tipo de anidrido e do solvente ou agente de inchamento

Anidridos	Solvente/Agente de inchamento	
	Álcool /acetato de etila/ac. acético	Éter/Acetona/Ácido ftálico
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 22**, observa-se que os menores valores médios para absorção de água, durante 2 horas, foram dos painéis fabricados com flocos tratados com anidrido maleico e anidrido acético. Tal fato pode estar associado ao maior número de grupos hidroxilas substituídos, no caso do anidrido acético, e no caso do anidrido maleico além dos grupos substituídos, também existe o impedimento físico causado pela provável obstrução das membranas das pontuações dos traqueídeos, pelos cristais de anidrido maleico, recristalizados após a evaporação do solvente, considerando o *Pinus caribaea*, analisado estatisticamente pelo teste de Dunnet.

Quadro 22 - Valores médios dos painéis fabricados com flocos de *Pinus caribaea* para absorção de água (%), após 2 horas, comparando-se a testemunha e os tratamentos com anidridos

Anidridos	Médias
Testemunha	56,763 (A)
Anidrido ftálico	47,028 (B)
Anidrido maleico	31,067 (C)
Anidrido acético	30,822 (C)

* Médias seguidas de mesma letra maiúscula da testemunha, na coluna, não diferem da mesma em nível de 5% de significância, pelo teste de Dunnet.

No **Quadro 23** observa-se que o menor valor médio para o teste de absorção de água, durante 2 horas, foi dos painéis fabricados com madeira acetilada, isto provavelmente se deve a maior substituição de grupos OH por grupos acetila, na parede celular dos constituintes anatômicos da madeira de *Eucalyptus grandis*, para a comparação entre as médias dentro da espécie foi realizado o teste de Dunnet.

Quadro 23 - Valores médios dos painéis fabricados com flocos de *Eucalyptus grandis* para absorção de água (%), após 2 horas, comparando-se a testemunha e os tratamentos com anidridos

Anidridos	Médias
Testemunha	59,278 (A)
Anidrido ftálico	38,063 (B)
Anidrido maleico	21,843 (D)
Anidrido acético	30,417 (C)

* Médias seguidas de mesma letra maiúscula da testemunha, na coluna, não diferem da mesma em nível de 5% de significância, pelo teste de Dunnet.

No **Quadro 24**, estão representadas as médias de absorção de água, em função do tempo de reação química (24 e 1/ 48 e 3 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 24 - Valores médios dos painéis fabricados com flocos de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea* para absorção de água (%), após 2 horas, em função do tipo de anidrido e do tempo de reação

Anidridos	Tempos	
	(24/1H)	(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 25**).

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 caribaea*, o caminho principal percorrido pelo anidrido maleico, solubilizado, é através das pontuações dos traquídeos, 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 o *Eucalyptus grandis*.

Quadro 25 - Valores médios dos painéis fabricados com flocos de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea* para absorção de água (%), após 2 horas, em função da espécie e do tipo de anidrido

Anidridos	Espécies	
	<i>Eucalyptus grandis</i>	<i>Pinus caribaea</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.

4.1.6 ABSORÇÃO DE ÁGUA (24H)

A **Figura 16**, 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.

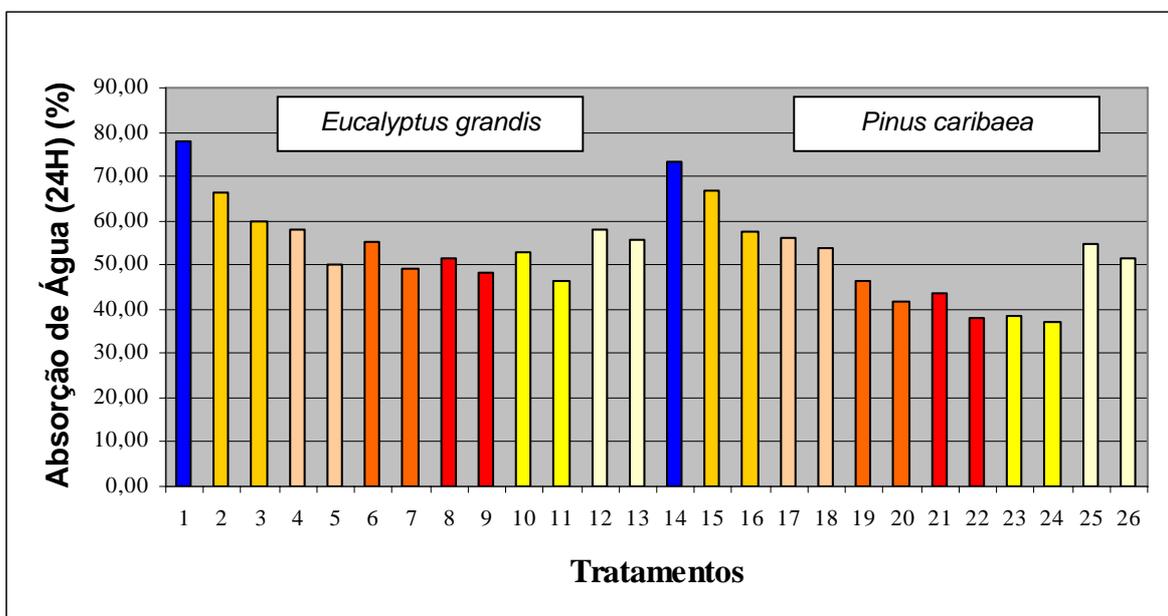


Figura 16 – Valores médios dos painéis OSB para a absorção de água (%), após 24 h, sendo: 1 e 14: as testemunhas de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea*, respectivamente. 2, 3/ 15, 16: AF+álcool; 4, 5/ 17, 18: AF+éter; 6, 7/ 19, 20: AM+Acet. De etila; 8, 9/ 21, 22: AM+Acetona; 10, 11/ 23, 24: AA+AA; 12, 13/ 25, 26: AA+AF.

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 26**.

Os tratamentos que apresentaram as menores médias para absorção de água 24 horas, foram os fabricados com flocos acetilados, utilizando como agente de inchamento o ácido acético. Nestes tratamentos houve uma maior impregnação na parede celular de grupos acetilas, o que proporcionou uma menor absorção água.

Quadro 26 - Valores médios dos painéis fabricados com flocos de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea* para absorção de água (%), após 24 horas, em função do anidrido e do tipo de solvente ou agente de inchamento

Anidridos	Solvente/Agente de inchamento	
	Álcool /acetato de etila/ac. acético	Éter/Acetona/Ácido ftálico
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.

Nos **Quadros 27 e 28** são mostradas as médias dos painéis esterificados e sem esterificação, observa-se que os painéis com flocos tratados, com os anidridos acético e maleico, apresentaram as menores médias em comparação àqueles que foram confeccionados com flocos tratados com o anidrido ftálico.

Quadro 27 - Valores médios dos painéis fabricados com flocos de *Pinus caribaea* para absorção de água (%), após 24 horas, comparando-se a testemunha e os tratamentos com anidridos

Anidridos	Médias
Testemunha	73,215 (A)
Anidrido ftálico	58,582 (B)
Anidrido maleico	42,347 (C)
Anidrido acético	45,486 (C)

* Médias seguidas de mesma letra maiúscula da testemunha, na coluna, não diferem da mesma em nível de 5% de significância, pelo teste de Dunnet.

Quadro 28 - Valores médios dos painéis fabricados com flocos de *Eucalyptus grandis* para absorção de água (%), após 24 horas, comparando-se a testemunha e os tratamentos com anidridos

Anidridos	Médias
Testemunha	78,146 (A)
Anidrido ftálico	58,655 (B)
Anidrido maleico	50,965 (C)
Anidrido acético	53,267 (BC)

* Médias seguidas de mesma letra maiúscula da testemunha, na coluna, não diferem da mesma em nível de 5% de significância, pelo teste de Dunnet.

No **Quadro 29** 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 contato direto com a água, apesar de ser lenta a reação. 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 29 - Valores médios dos painéis fabricados com flocos de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea* para absorção de água (%), após 24 horas, em função da espécie e do tipo de anidrido

Anidridos	Espécies	
	<i>Eucalyptus grandis</i>	<i>Pinus caribaea</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.

4.1.7 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 17**. Neste gráfico, observa que os valores médios de inchamento em espessura dos painéis feitos com flocos tratados com anidrido maleico e acetona, *Eucalyptus grandis*, durante 48 h, mostraram tendência de serem menores, do que as médias dos demais painéis.

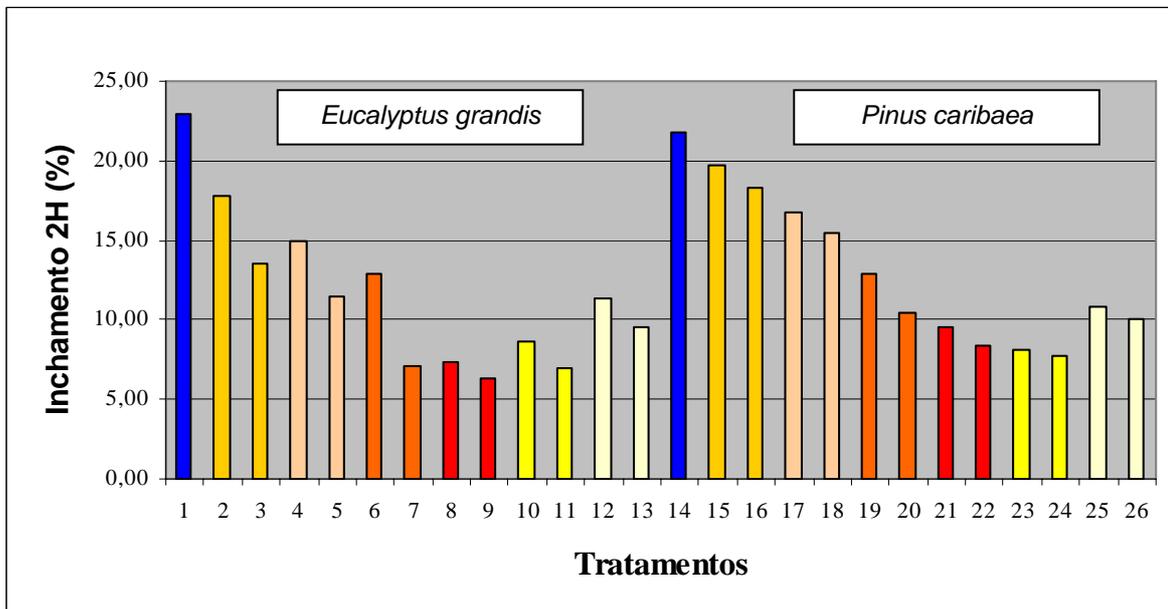


Figura 17 – Valores médios dos painéis OSB para o inchamento em espessura (%) após 2 h, sendo: 1 e 14: as testemunhas de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea*, respectivamente. 2, 3/ 15, 16: AF+álcool; 4, 5/ 17, 18: AF+éter; 6, 7/ 19, 20: AM+Acet. De etila; 8, 9/ 21, 22: AM+Acetona; 10, 11/ 23, 24: AA+AA; 12, 13/ 25, 26: AA+AF.

No **Quadro 30** são mostrados os valores médios da interação anidrido versus solvente/agente de inchamento para inchamento em espessura, 2 horas.

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

Para os painéis que tiveram como solvente ou agente de inchamento o éter, a acetona ou 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 30 - Valores médios dos painéis fabricados com flocos de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea* para inchamento em espessura (%), após 2 horas, em função do anidrido e do tipo de solvente ou agente de inchamento

Anidridos	Solvente/Agente de inchamento	
	Álcool /acetato de etila/ac. acético	Éter/Acetona/Ácido ftálico
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.

Nos **Quadros 31** e **32**, para o teste de inchamento em espessura, durante 2 horas, os painéis que apresentaram maior estabilidade, quando submersos em água, foram aqueles fabricados com flocos tratados com os anidridos maleico e acético, tanto para o *Pinus caribaea*, quanto para o *Eucalyptus grandis*.

Quadro 31 - Valores médios dos painéis fabricados com flocos de *Pinus caribaea* para inchamento em espessura (%), após 2 horas, comparando-se a testemunha e os tratamentos com anidridos

Anidridos	Médias
Testemunha	21,714 (A)
Ftálico	17,561 (A)
Maleico	10,306 (B)
Acético	9,209 (B)

* Médias seguidas de mesma letra maiúscula da testemunha, na coluna, não diferem da mesma em nível de 5% de significância, pelo teste de Dunnet.

Quadro 32 - Valores médios dos painéis fabricados com flocos de *Eucalyptus grandis* para inchamento em espessura (%), após 2 horas, comparando-se a testemunha e os tratamentos com anidridos

Anidridos	Médias
Testemunha	22,904 (A)
Anidrido ftálico	14,431 (B)
Anidrido maleico	8,416 (C)
Anidrido acético	9,133 (C)

* Médias seguidas de mesma letra maiúscula da testemunha, na coluna, não diferem da mesma em nível de 5% de significância, pelo teste de Dunnet.

No **Quadro 33**, são apresentados os valores médios dos painéis, para inchamento em espessura. Os painéis que apresentaram os maiores valores médios para o inchamento em espessura, durante 2 horas, 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 33 - Valores médios dos painéis fabricados com flocos de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea* para inchamento em espessura(%), após 2 horas, em função da espécie e do tipo de anidrido

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.

4.1.8 INCHAMENTO EM ESPESSURA (24 HORAS)

Na **Figura 18** são mostradas as médias, para inchamento em espessura, após uma imersão dos corpos-de-prova em água, durante 24 horas.

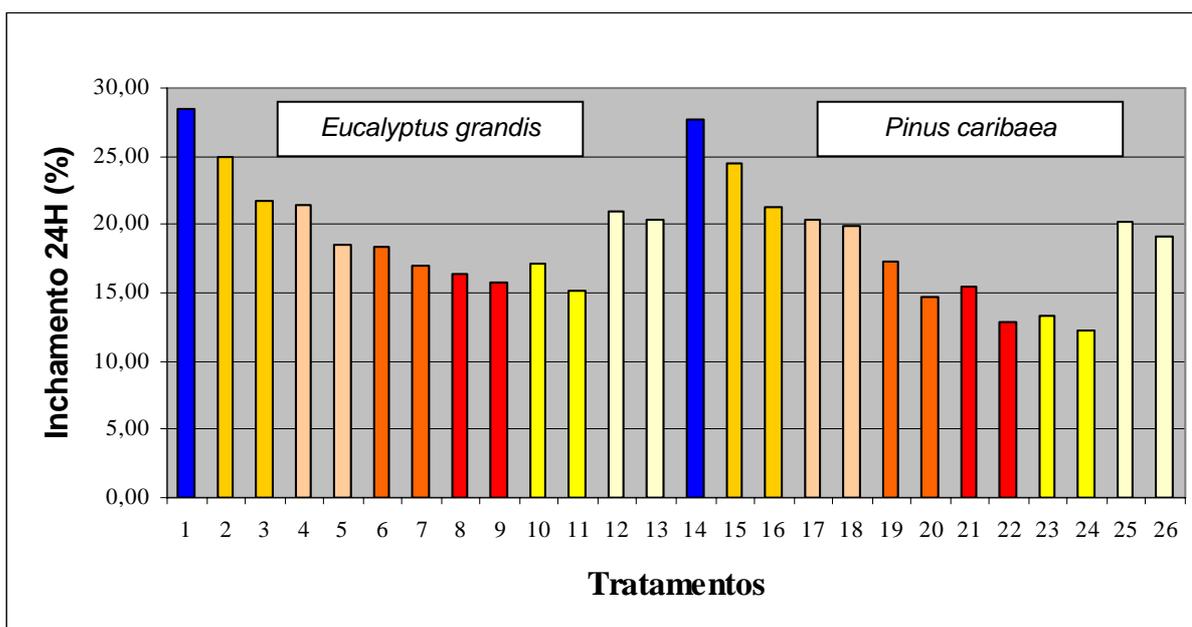


Figura 18 – Valores médios dos painéis OSB para o inchamento em espessura (%) após 24H, sendo: 1 e 14: as testemunhas de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea*, respectivamente. 2, 3/ 15, 16: AF+álcool; 4, 5/ 17, 18: AF+éter; 6, 7/ 19, 20: AM+Acet. De etila; 8, 9/ 21, 22: AM+Acetona; 10, 11/ 23, 24: AA+AA; 12, 13/ 25, 26: AA+AF.

No **Quadro 34**, são apresentados os valores médios para inchamento em espessura, 24 horas. A interação anidrido versus solvente/agente de inchamento foi significativa.

Os painéis que apresentaram as maiores médias para inchamento em espessura, 24 horas, utilizando como solvente o álcool etílico, foram aqueles confeccionados com flocos tratados com anidrido ftálico. Para o solvente/agente de inchamento (éter/acetona/ácido ftálico), no presente ensaio, os painéis que

apresentaram as maiores médias foram aqueles confeccionados com flocos tratados utilizando os anidridos: acético e ftálico.

Quadro 34 - Valores médios dos painéis fabricados com flocos de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea* para inchamento em espessura (%), após 24 horas, em função do anidrido e do tipo de solvente ou agente de inchamento

Anidridos	Solvente/Agente de inchamento	
	Álcool /acetato de etila/ac. acético	Éter/Acetona/Ácido ftálico
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.

Nos **Quadros 35 e 36**, observa-se que as menores médias para inchamento em espessura, 24 horas, foram dos painéis fabricados com flocos tratados com os anidridos acético e maleico, tanto para *Pinus caribaea*, quanto para *Eucalyptus grandis*.

Quadro 35 - Valores médios dos painéis fabricados com flocos de *Pinus caribaea* para inchamento em espessura (%), após 24 horas, comparando-se a testemunha e os tratamentos com anidridos

Anidridos	Médias
Testemunha	27,658 (A)
Ftálico	21,493 (B)
Maleico	15,031 (C)
Acético	16,218 (C)

* Médias seguidas de mesma letra maiúscula da testemunha, na coluna, não diferem da mesma em nível de 5% de significância, pelo teste de Dunnet.

Quadro 36 - Valores médios dos painéis fabricados com flocos de *Eucalyptus grandis* para inchamento em espessura (%), após 24 horas, comparando-se a testemunha e os tratamentos com anidridos

Anidridos	Médias
Testemunha	28,423 (A)
Anidrido ftálico	21,679 (B)
Anidrido maleico	16,904 (C)
Anidrido acético	18,423 (B, C)

* Médias seguidas de mesma letra maiúscula da testemunha, na coluna, não diferem da mesma em nível de 5% de significância, pelo teste de Dunnet.

4.2 ENSAIOS MECÂNICOS

4.2.1 ARRANCAMENTO DE PARAFUSO

Os valores médios obtidos no arrancamento de parafuso, variaram entre 176 e 269 kgf, conforme mostrado na **Figura 19**.

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.

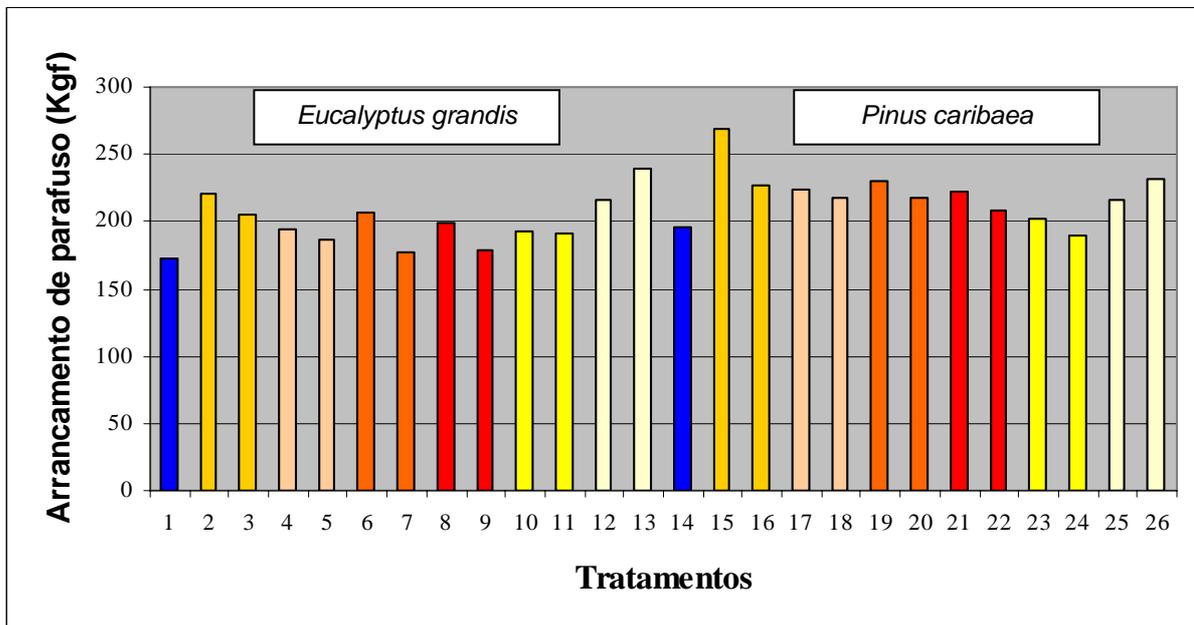


Figura 19 – Valores médios dos painéis OSB para o arrancamento de parafuso, (kgf), sendo: 1 e 14: as testemunhas de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea*, respectivamente. 2, 3/ 15, 16: AF+álcool; 4, 5/ 17, 18: AF+éter; 6, 7/ 19, 20: AM+Acet. De etila; 8, 9/ 21, 22: AM+Acetona; 10, 11/ 23, 24: AA+AA; 12, 13/ 25, 26: AA+AF.

Os valores médios apresentados pelos painéis para arrancamento de parafuso, são mostrados no **Quadro 37**. Neste quadro, observa-se que a interação entre anidrido e reagente foi significativa.

Nota-se, uma tendência das menores médias, para este ensaio, serem dos painéis confeccionados com flocos tratados com anidrido acético e tendo como agente de inchamento o ácido acético.

Quadro 37 - Valores médios dos painéis fabricados com flocos de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea* para o arrancamento de parafuso (kgf), em função do anidrido e do tipo de solvente ou agente de inchamento

Anidridos	Solvente/Agente de inchamento	
	Álcool /acetato de etila/ac. acético	Éter/Acetona/Ácido ftálico
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.

4.2.2 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 20**, que todos os painéis, apresentaram valores médios superiores ao estipulado pela norma.

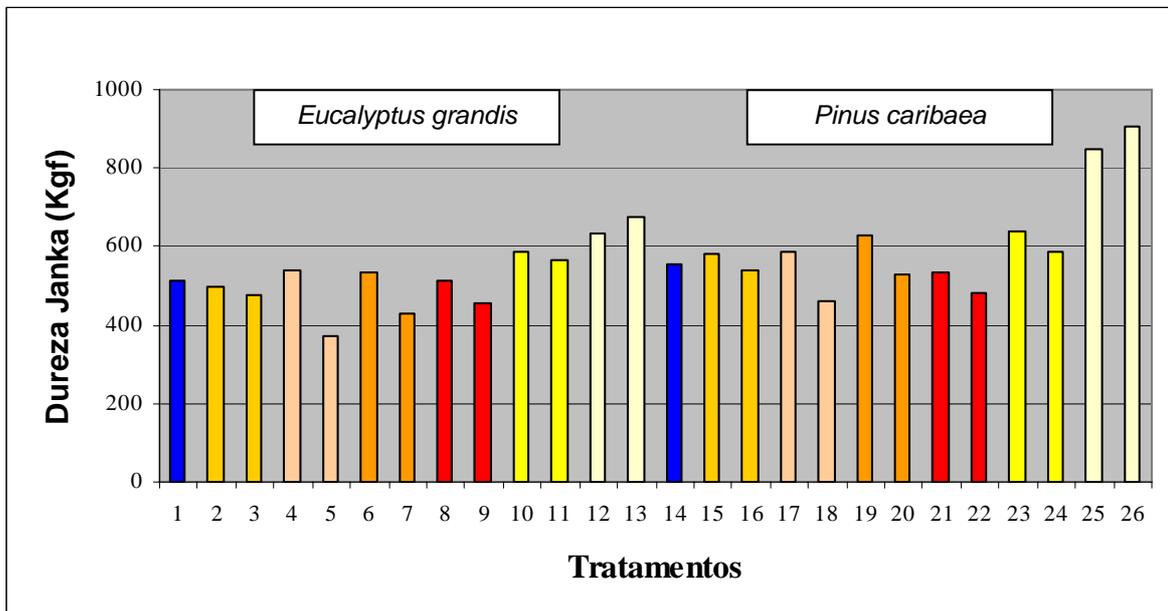


Figura 20 – Valores médios dos painéis OSB para a dureza Janka (kgf), sendo: 1 e 14: as testemunhas de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea*, respectivamente. 2, 3/ 15, 16: AF+álcool; 4, 5/ 17, 18: AF+éter; 6, 7/ 19, 20: AM+Acet. De etila; 8, 9/ 21, 22: AM+Acetona; 10, 11/ 23, 24: AA+AA; 12, 13/ 25, 26: AA+AF.

Os valores médios apresentados pelos painéis para dureza Janka, são mostrados no **Quadro 38**. Observa-se que a interação entre anidrido e solvente/agente de inchamento foi significativa. As maiores médias foram observadas nos painéis confeccionados com madeira de *Pinus caribaea* acetilada, empregando-se como agente de inchamento o ácido ftálico.

Os flocos tratados com anidrido acético, tendo como agente de inchamento 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 38 - Valores médios dos painéis fabricados com flocos de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea* para dureza Janka (kgf), em função do anidrido e do tipo de solvente ou agente de inchamento

Anidridos	Solvente/Agente de inchamento	
	Álcool /acetato de etila/ac. acético	Éter/Acetona/Ácido ftálico
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.

Como pode ser observado no **Quadro 39**, as médias dos painéis tiveram uma tendência a serem menores nos painéis com flocos esterificados, devido a substituição dos grupos hidroxilas, fato que interfere nas reações de adesão, mais precisamente nas interações eletrostáticas, entre adesivo e madeira, a exceção dos tratamentos foi o anidrido acético combinado com o ácido ftálico. Esta combinação tornou os painéis mais resistentes, propiciando resultados mais elevados para o teste em questão, principalmente para *Pinus caribaea*.

Quadro 39 - Valores médios dos painéis fabricados com flocos de *Pinus caribaea* para dureza Janka (kgf), comparando-se a testemunha e os tratamentos com anidridos

Anidridos	Médias
Testemunha	554,9167 (AB)
Anidrido ftálico	541,8763 (B)
Anidrido maleico	542,9109 (B)
Anidrido acético	746,6873 (A)

* Médias seguidas de mesma letra maiúscula da testemunha, na coluna, não diferem da mesma em nível de 5% de significância, pelo teste de Dunnet.

4.2.3 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 21**, todos os tratamentos atenderam o mínimo exigido pela norma.

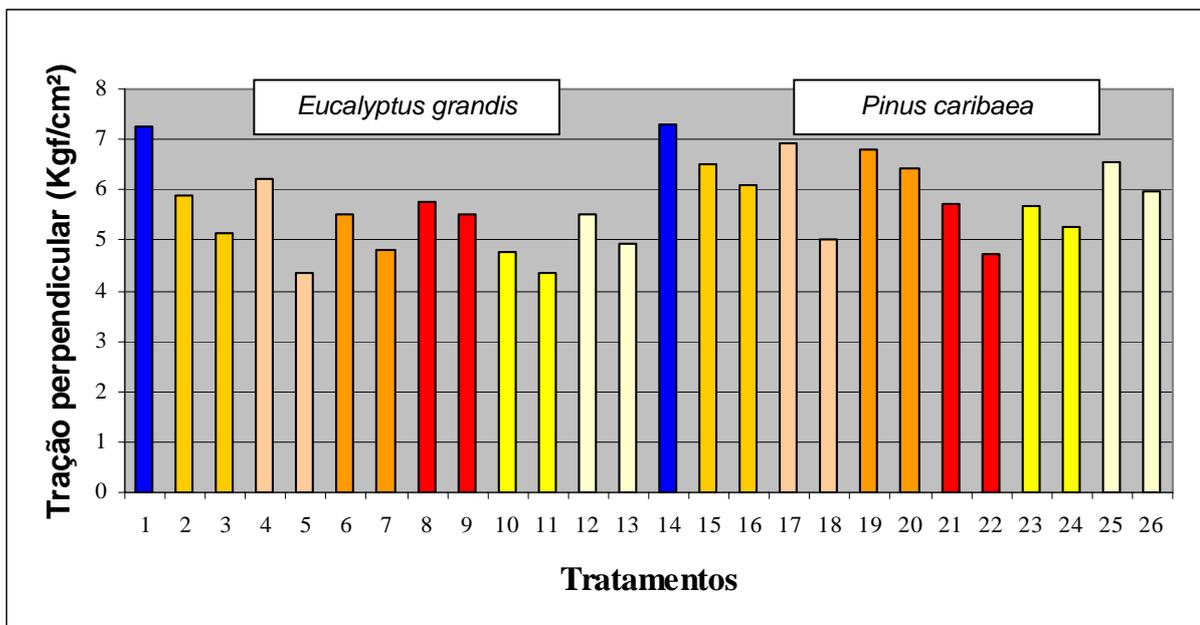


Figura 21 – Valores médios dos painéis OSB para a tração perpendicular (kgf/cm²), sendo: 1 e 14: as testemunhas de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea*, respectivamente. 2, 3/ 15, 16: AF+álcool; 4, 5/ 17, 18: AF+éter; 6, 7/ 19, 20: AM+Acet. De etila; 8, 9/ 21, 22: AM+Acetona; 10, 11/ 23, 24: AA+AA; 12, 13/ 25, 26: AA+AF.

Os valores médios apresentados pelos painéis para resistência a tração perpendicular, são mostrados no **Quadro 40**. A interação entre anidrido e solvente/agente de inchamento 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 agente de inchamento 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 40 - Valores médios dos painéis fabricados com flocos de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea* de resistência à tração perpendicular (kgf/cm²), em função do anidrido e do tipo de solvente ou agente de inchamento

Anidridos	Solvente/Agente de inchamento	
	Álcool /acetato de etila/ac. acético	Éter/Acetona/Ácido ftálico
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.

No **Quadro 41**, são mostrados os valores médios dos painéis para tração perpendicular, onde nota-se que para os painéis confeccionados com madeira de *Eucalyptus grandis* esterificada, com os três tipos de anidridos, os resultados foram inferiores aos dos painéis testemunhas, cuja madeira não sofreu nenhum tipo de tratamento químico.

Quadro 41 - Valores médios dos painéis fabricados com flocos de *Eucalyptus grandis* para tração perpendicular (kgf/cm²), comparando-se a testemunha e os tratamentos com anidridos

Anidridos	Médias
Testemunha	7,2533 (A)
Anidrido ftálico	5,3925 (B)
Anidrido maleico	5,4050 (B)
Anidrido acético	4,8783 (B)

* Médias seguidas de mesma letra maiúscula da testemunha, na coluna, não diferem da mesma em nível de 5% de significância, pelo teste de Dunnet.

4.2.4 COMPRESSÃO LONGITUDINAL

Os valores médios de resistência à compressão longitudinal podem ser observados na **Figura 22**. Não foi encontrado nas normas, consultadas, valores mínimos exigidos para esta propriedade, para a comercialização dos painéis.

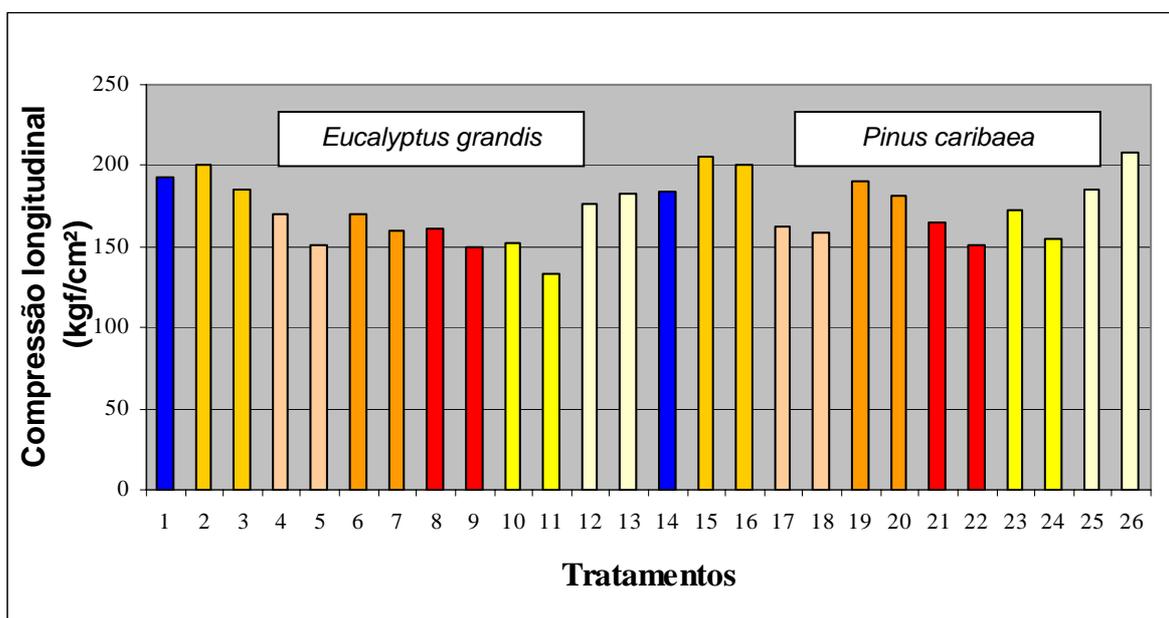


Figura 22 – Valores médios dos painéis OSB para a compressão longitudinal (kgf/cm²), sendo: 1 e 14: as testemunhas de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea*, respectivamente. 2, 3/ 15, 16: AF+álcool; 4, 5/ 17, 18: AF+éter; 6, 7/ 19, 20: AM+Acet. De etila; 8, 9/ 21, 22: AM+Acetona; 10, 11/ 23, 24: AA+AA; 12, 13/ 25, 26: AA+AF.

No **Quadro 42** 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 solvente/agente de inchamento, foram dos painéis confeccionados com madeira acetilada, onde o agente de inchamento utilizado foi o ácido acético. Quando se usou o ácido ftálico, como agente de inchamento, combinado com anidrido acético, os resultados foram bastante favoráveis a resistência dos painéis a compressão longitudinal, obtendo estes painéis as maiores médias para este ensaio.

Quadro 42 - Valores médios dos painéis fabricados com flocos de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea* para compressão longitudinal (kgf/cm²), em função do anidrido e do tipo de solvente ou agente de inchamento

Anidridos	Solvente/Agente de inchamento	
	Álcool /acetato de etila/ac. acético	Éter/acetona/ácido ftálico
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.

No **Quadro 43** observa-se que as menores médias, na compressão longitudinal, considerando o *Eucalyptus grandis*, foram dos painéis onde foi utilizada madeira esterificada pelos anidridos acético e maleico.

Quadro 43 - Valores médios dos painéis fabricados com flocos de *Eucalyptus grandis* para compressão longitudinal (kgf/cm²), comparando-se a testemunha e os tratamentos com anidridos

Anidridos	Médias
Testemunha	192,4560 (A)
Anidrido ftálico	176,7782 (A)
Anidrido maleico	160,1454 (B)
Anidrido acético	160,8868 (B)

* Médias seguidas de mesma letra maiúscula da testemunha, na coluna, não diferem da mesma em nível de 5% de significância, pelo teste de Dunnet.

4.2.5 FLEXÃO ESTÁTICA

A) MÓDULO DE RUPTURA (MOR)

As médias de resistência a flexão estática, na direção longitudinal, estão representadas na **Figura 23**.

A norma CSA 0437-0/93 estipula um valor mínimo de 290 kgf/cm², para painéis com predominância de 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 solubilizado em acetato de etila, com média 287,51 kgf/cm²; ftálico solubilizado no éter com média 269,84 kgf/cm².

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

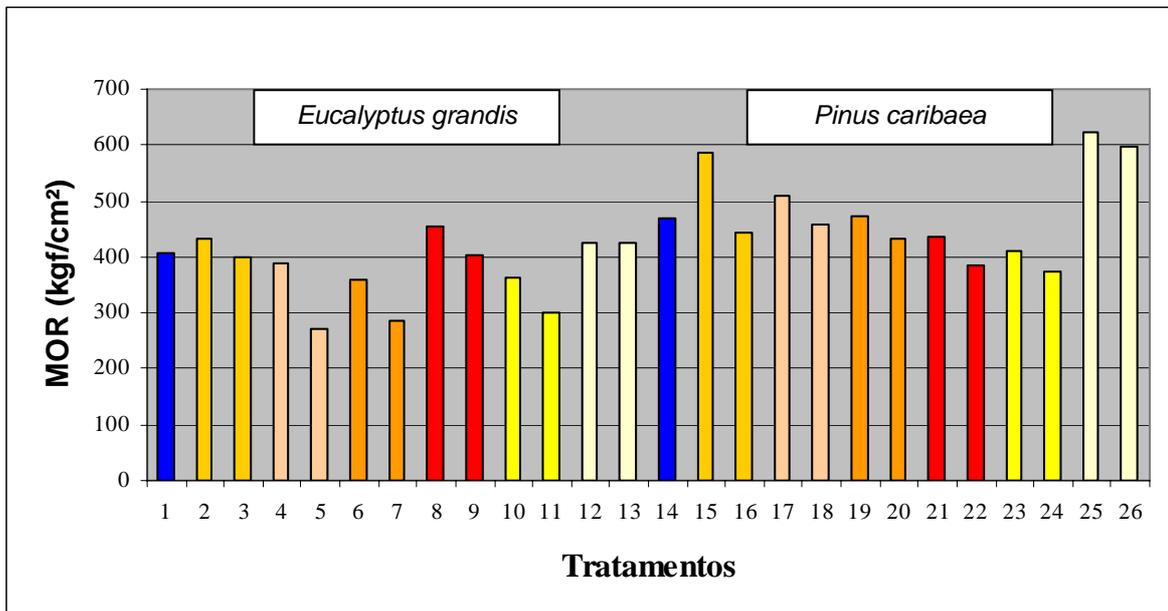


Figura 23 – Valores médios dos painéis OSB para o MOR (kgf/cm²), sentido longitudinal, sendo: 1 e 14: as testemunhas de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea*, respectivamente. 2, 3/ 15, 16: AF+álcool; 4, 5/ 17, 18: AF+éter; 6, 7/ 19, 20: AM+Acet. De etila; 8, 9/ 21, 22: AM+Acetona; 10, 11/ 23, 24: AA+AA; 12, 13/ 25, 26: AA+AF.

No **Quadro 44** são mostrados os valores médios de módulo de ruptura, sentido longitudinal. Observa-se interação significativa, entre anidrido e solvente/agente de inchamento. Sendo que, as maiores médias foram dos painéis confeccionados com flocos esterificados com anidrido ftálico, tendo como solvente o álcool etílico, e também os painéis com anidrido acético, onde o agente de inchamento foi o ácido ftálico.

Quadro 44 - Valores médios dos painéis fabricados com flocos de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea* para módulo de ruptura (MOR) (kgf/cm²), sentido longitudinal, em função do anidrido e do tipo de solvente ou agente de inchamento

Anidridos	Solvente/Agente de inchamento	
	Álcool /acetato de etila/ac. acético	Éter/acetona/ácido ftálico
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 24**.

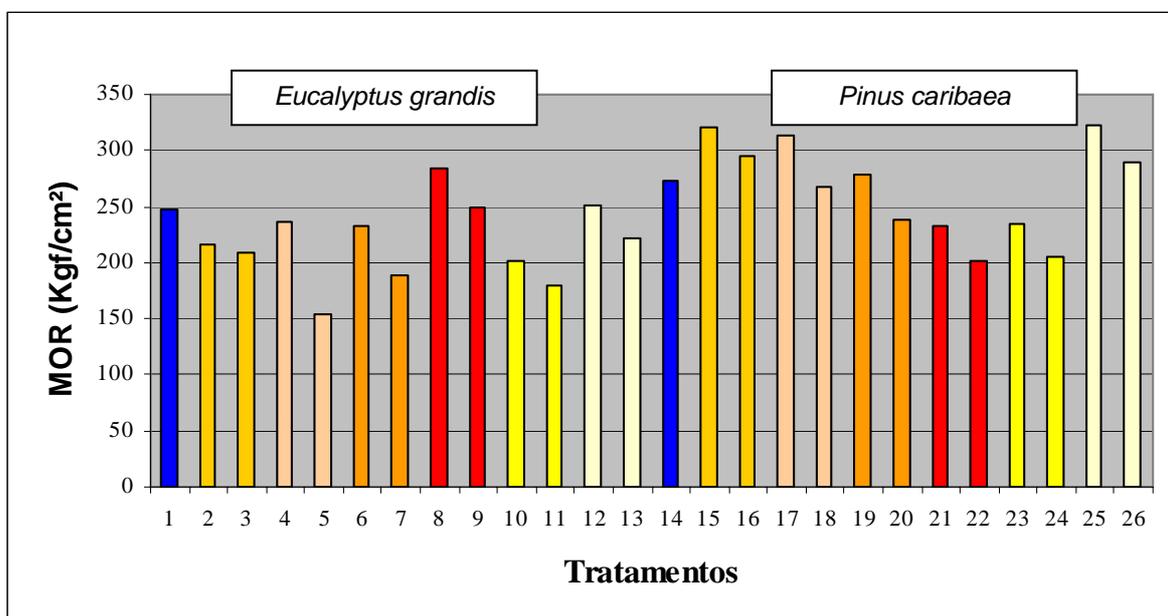


Figura 24 – Valores médios dos painéis OSB para o MOR (kgf/cm²), sentido perpendicular, sendo: 1 e 14: as testemunhas de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea*, respectivamente. 2, 3/ 15, 16: AF+álcool; 4, 5/ 17, 18: AF+éter; 6, 7/ 19, 20: AM+Acet. De etila; 8, 9/ 21, 22: AM+Acetona; 10, 11/ 23, 24: AA+AA; 12, 13/ 25, 26: AA+AF.

No **Quadro 45** são mostrados os valores médios do módulo de ruptura, sentido perpendicular. Pode ser observado que houve interação significativa, entre anidrido e solvente/agente de inchamento. Sendo que, as maiores médias tenderam a ser maiores, numericamente, para os painéis confeccionados com flocos tratados com anidrido acético, tendo como agente de inchamento o ácido ftálico, no entanto, estatisticamente estes não diferenciaram dos painéis confeccionados com flocos tratados pelos anidridos ftálico e maleico, tendo como solubilizantes: o éter e a acetona.

Quadro 45 - Valores médios dos painéis fabricados com flocos de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea* para módulo de ruptura (MOR) (kgf/cm²), sentido perpendicular, em função do anidrido e do tipo de solvente ou agente de inchamento

Anidridos	Solvente/Agente de inchamento	
	Álcool /acetato de etila/ac. acético	Éter/Acetona/Ácido ftálico
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 46**, podem ser observados os valores médios para módulo de ruptura, sentido perpendicular, para *Pinus caribaea*. Nota-se que o maior valor médio, numericamente, foi dos painéis confeccionados com flocos tratados com anidrido ftálico e o menor valor médio, numérico, dos painéis fabricados com flocos tratados com o anidrido maleico.

Quadro 46 - Valores médios dos painéis fabricados com flocos de *Pinus caribaea* para módulo de ruptura (MOR) (kgf/cm²), sentido perpendicular, comparando-se a testemunha e os tratamentos com anidridos

Anidridos	Médias
Testemunha	272,1980 (AB)
Anidrido ftálico	298,7567 (A)
Anidrido maleico	237,7842 (B)
Anidrido acético	262,8466 (AB)

* Médias seguidas de mesma letra maiúscula da testemunha, na coluna, não diferem da mesma em nível de 5% de significância, pelo teste de Dunnet.

No **Quadro 47** são mostrados os valores médios de módulo de ruptura, no sentido perpendicular, considerando a interação entre as duas espécies e os três tipos de anidridos. Observa-se que para os painéis fabricados com flocos de *Eucalyptus grandis* tratados com os anidridos ftálico e acético, estes apresentaram médias inferiores a dos painéis fabricados com flocos esterificados pelos mesmos anidridos, utilizando a madeira de *Pinus caribaea*.

Quadro 47 - Valores médios dos painéis fabricados com flocos de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea* para módulo de ruptura (MOR) (kgf/cm²), sentido perpendicular, em função da espécie e do tipo de anidrido

Anidridos	Espécies	
	<i>Eucalyptus grandis</i>	<i>Pinus caribaea</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.

B) 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 25**, 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.

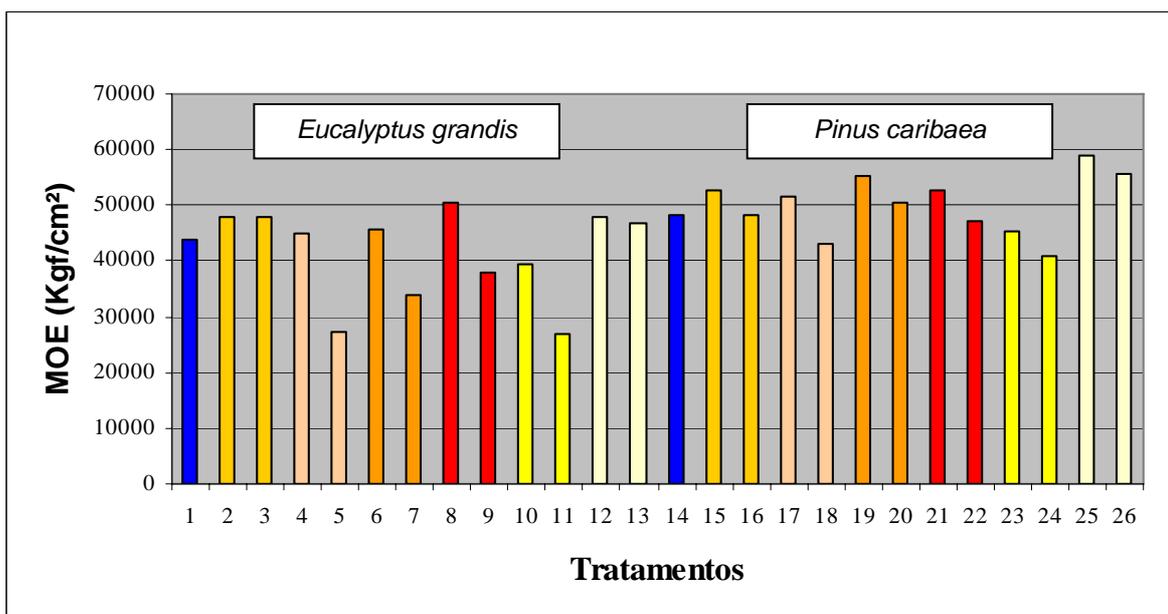


Figura 25 – Valores médios dos painéis OSB para o MOE (kgf/cm²), sentido longitudinal, sendo: 1 e 14: as testemunhas de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea*, respectivamente. 2, 3/ 15, 16: AF+álcool; 4, 5/ 17, 18: AF+éter; 6, 7/ 19, 20: AM+Acet. De etila; 8, 9/ 21, 22: AM+Acetona; 10, 11/ 23, 24: AA+AA; 12, 13/ 25, 26: AA+AF.

No **Quadro 48** são mostrados os valores médios para o módulo de elasticidade, no sentido longitudinal. Houve interação significativa, entre anidrido e solvente/agente de inchamento. As menores médias foram dos painéis confeccionados com flocos esterificados com o anidrido acético, tendo como agente de inchamento o ácido acético. Os painéis fabricados com flocos tratados com o anidrido ftálico, tendo como solvente o éter, apresentaram valores menores em relação àqueles tratados com o mesmo anidrido, porém tendo como agente solubilizante o álcool etílico.

Quadro 48 - Valores médios dos painéis fabricados com flocos de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea* para módulo de elasticidade (MOE) (kgf/cm²), sentido longitudinal, em função do anidrido e do tipo de solvente ou agente de inchamento

Anidridos	Solvente/agente de inchamento	
	Álcool /acetato de etila/ac. acético	Éter/acetona/Ácido ftálico
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 26**, são mostrados os valores médios do módulo de elasticidade, em flexão estática, no sentido perpendicular.

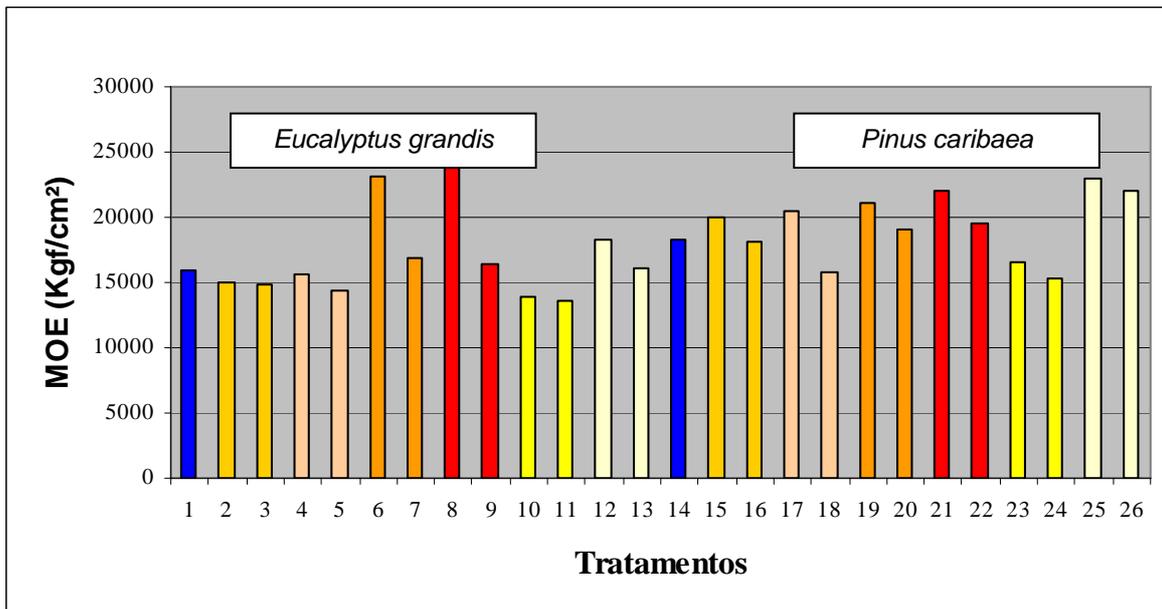


Figura 26 – Valores médios dos painéis OSB para o MOE (kgf/cm²), sentido perpendicular, sendo: 1 e 14: as testemunhas de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea*, respectivamente. 2, 3/ 15, 16: AF+álcool; 4, 5/ 17, 18: AF+éter; 6, 7/ 19, 20: AM+Acet. De etila; 8, 9/ 21, 22: AM+Acetona; 10, 11/ 23, 24: AA+AA; 12, 13/ 25, 26: AA+AF.

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 tratamentos com os anidridos, **Quadro 49**.

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 49 - Valores médios dos painéis fabricados com flocos de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea* para o 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 maiúscula na coluna, não diferem entre si em nível de 5% de significância, pelo teste Tukey.

5. CONCLUSÕES

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 ou agentes de inchamento, não tiveram uma eficácia pronunciada na estabilidade dimensional, porém os painéis apresentaram uma melhora significativa nas propriedades mecânicas em comparação as testemunhas, como é o caso do anidrido acético associado com o ácido ftálico.

É necessário um maior número de pesquisas, na área de esterificação de madeiras, visando principalmente atender o setor de painéis de madeira

reconstituída, que é um setor que ainda carece de pesquisas. Para isto, é necessário conhecer um pouco mais sobre os mecanismos da esterificação e novos produtos químicos com potenciais para serem usados nesta área, tanto visando a melhoria da estabilidade dimensional, quanto a melhoria das propriedades de resistência mecânica destes painéis.

6. 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.

ROWE, R. C.; SHERKEY, P. J.; OWEN, C. S. **Handbook of pharmaceutical excipients.** 5ed. London: Pharmaceutical Press, 2005.

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 A

**- Estatísticas –
(Teste de Tukey)**

Quadro 1A - Resumo da análise de variância (ANOVA) para a 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 o 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 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 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 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 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 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 o 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 o 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 o arrancamento 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 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 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 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 o 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 o 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 o 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 o 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

APÊNDICE B

- Estatísticas –

(Teste de Dunnet para *Pinus caribaea*)

Quadro 1B - Resumo da análise de variância (ANOVA) para a massa específica, em chapas do tipo OSB esterificadas, *Pinus caribaea*.

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Anidrido	3	0,1046548E-02	0,3488495E-03	2,095	0,11863
Resíduo	35	0,5829081E-02	0,1665452E-03		

* Nível de 5% de significância.

Média Geral	0,71732
Coef. De Variação	1,799

Quadro 2B - Resumo da análise de variância (ANOVA) para o teor de umidade, em chapas do tipo OSB esterificadas, *Pinus caribaea*.

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Anidrido	3	17,68620	5,895401	9,110	0,00013
Resíduo	35	22,64968	0,6471336		

* Nível de 5% de significância.

Média Geral	8,79077
Coef. De Variação	9,151

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

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Anidrido	3	47,83681	15,94560	43,093	0,000
Resíduo	35	12,95082	0,3700236		

* Nível de 5% de significância.

Média Geral	5,73128
Coef. De Variação	10,614

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

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Anidrido	3	0,1753359E-02	0,5844530E-03	37,951	0,00000
Resíduo	35	0,5390000E-03	0,1540000E-04		

* Nível de 5% de significância.

Média Geral	0,04321
Coef. De Variação	9,083

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

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Anidrido	3	0,1410244E-02	0,4700812E-03	26,164	0,0000
Resíduo	35	0,6288333E-03	0,1796667E-04		

* Nível de 5% de significância.

Média Geral	0,04185
Coef. De Variação	10,129

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

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Anidrido	3	0,3228694E+10	0,1076231E+10	105,238	0,00000
Resíduo	35	0,3579327E+09	0,1022665E+08		

* Nível de 5% de significância.

Média Geral	37879,51282
Coef. De Variação	8,442

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

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Anidrido	3	0,3429723E+10	0,1143241E+10	34,279	0,00000
Resíduo	35	0,1167301E+10	0,3335146E+08		

* Nível de 5% de significância.

Média Geral	50683,10256
Coef. De Variação	11,394

Quadro 8B - Resumo da análise de variância (ANOVA) para o inchamento em espessura (2h), em chapas do tipo OSB esterificadas, *Pinus caribaea*.

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Anidrido	3	0,7367939E+09	0,2455980E+09	42,736	0,00000
Resíduo	35	0,2011408E+09	5746879,0		

* Nível de 5% de significância.

Média Geral	13078,92308
Coef. De Variação	18,329

Quadro 9B - Resumo da análise de variância (ANOVA) para o inchamento em espessura (24h), em chapas do tipo OSB esterificadas, *Pinus caribaea*.

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Anidrido	3	0,5651124E+09	0,1883708E+09	23,279	0,00000
Resíduo	35	0,2832112E+09	8091750,0		

* Nível de 5% de significância.

Média Geral	18356,48718
Coef. De Variação	15,496

Quadro 10B - Resumo da análise de variância (ANOVA) para o arrancamento de parafuso, em chapas do tipo OSB esterificadas, *Pinus caribaea*.

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Anidrido	3	5439.427	1813.142	1.131	0.34990
Resíduo	35	56110.08	1603.145		

* Nível de 5% de significância.

Média Geral	219.31624
Coef. De Variação	18.256

Quadro 11B- Resumo da análise de variância (ANOVA) para a dureza Janka, em chapas do tipo OSB esterificadas, *Pinus caribaea*.

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Anidrido	3	342446.7	114148.9	5.692	0.00277
Resíduo	35	701911.3	20054.61		

* Nível de 5% de significância.

Média Geral	606.21649
Coef. De Variação	23.360

Quadro 12B - Resumo da análise de variância (ANOVA) para a tração perpendicular, em chapas do tipo OSB esterificadas, *Pinus caribaea*.

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Anidrido	3	5.412939	1.804313	2.146	0.11205
Resíduo	35	29.43376	0.8409645		

* Nível de 5% de significância.

Média Geral	6.06974
Coef. De Variação	15.108

Quadro 13B - Resumo da análise de variância (ANOVA) para a compressão longitudinal, em chapas do tipo OSB esterificadas, *Pinus caribaea*.

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Anidrido	3	754.6401	251.5467	0.323	*****
Resíduo	35	27286.00	779.6001		

* Nível de 5% de significância.

Média Geral	178.47109
Coef. De Variação	15.645

Quadro 14B - Resumo da análise de variância (ANOVA) para o módulo de ruptura, sentido longitudinal, em chapas do tipo OSB esterificadas, *Pinus caribaea*.

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Anidrido	3	37370.53	12456.84	1.573	0.21328
Resíduo	35	277161.2	7918.891		

* Nível de 5% de significância.

Média Geral	476.98484
Coef. De Variação	18.656

Quadro 15B - Resumo da análise de variância (ANOVA) para o módulo de ruptura, sentido perpendicular, em chapas do tipo OSB esterificadas, *Pinus caribaea*.

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Anidrido	3	22632.32	7544.108	3.352	0.02980
Resíduo	35	78768.93	2250.541		

* Nível de 5% de significância.

Média Geral	266.90372
Coef. De Variação	17.774

Quadro 16B - Resumo da análise de variância (ANOVA) para o módulo de elasticidade, sentido longitudinal, em chapas do tipo OSB esterificadas, *Pinus caribaea*.

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Anidrido	3	0.4658660E+08	0.1552887E+08	0.190	*****
Resíduo	35	0.2864580E+10	0.8184515E+08		

* Nível de 5% de significância.

Média Geral	49999.74047
Coef. De Variação	18.094

Quadro 17B - Resumo da análise de variância (ANOVA) para o módulo de elasticidade, sentido perpendicular, em chapas do tipo OSB esterificadas, *Pinus caribaea*.

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Anidrido	3	0.2597672E+08	8658908.	0.522	*****
Resíduo	35	0.5801217E+09	0.1657491E+08		

* Nível de 5% de significância.

Média Geral	19326.40622
Coef. De Variação	21.066

APÊNDICE C

- Estatísticas –

(Teste de Dunnet para *Eucalyptus grandis*)

Quadro 1C - Resumo da análise de variância (ANOVA) para a massa específica, em chapas do tipo OSB esterificadas, *Eucalyptus grandis*.

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Anidrido	3	0,1404222E-02	0,4680739E-03	1,426	0,25158
Resíduo	35	0,1148679E-01	0,3281939E-03		

* Nível de 5% de significância.

Média Geral	0,70518
Coef. De Variação	2,569

Quadro 2C - Resumo da análise de variância (ANOVA) para o teor de umidade, em chapas do tipo OSB esterificadas, *Eucalyptus grandis*.

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Anidrido	3	37,22870	12,40957	12,451	0,00001
Resíduo	35	34,88466	0,9967045		

* Nível de 5% de significância.

Média Geral	8,22564
Coef. De Variação	12,137

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

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Anidrido	3	63,88683	21,29561	40,376	0,00000
Resíduo	35	18,46021	0,5274345		

* Nível de 5% de significância.

Média Geral	5,06872
Coef. De Variação	14,328

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

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Anidrido	3	0,3214417E-02	0,1071472E-02	62,131	0,00000
Resíduo	35	0,6035833E-03	0,1724524E-04		

* Nível de 5% de significância.

Média Geral	0,03800
Coef. De Variação	10,928

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

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Anidrido	3	0,2498090E-02	0,8326966E-03	49,834	0,00000
Resíduo	35	0,5848333E-03	0,1670952E-04		

* Nível de 5% de significância.

Média Geral	0,03777
Coef. De Variação	10,823

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

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Anidrido	3	0,3936744E+10	0,1312248E+10	30,729	0,00000
Resíduo	35	0,1494622E+10	0,4270348E+08		

* Nível de 5% de significância.

Média Geral	32352,0000
Coef. De Variação	20,199

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

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Anidrido	3	0,1949112E+10	0,6497040E+09	15,911	0,00000
Resíduo	35	0,1429173E+10	0,4083351E+08		

* Nível de 5% de significância.

Média Geral	56130,43590
Coef. De Variação	11,384

Quadro 8C - Resumo da análise de variância (ANOVA) para o inchamento em espessura (2h), em chapas do tipo OSB esterificadas, *Eucalyptus grandis*.

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Anidrido	3	0,6742017E+09	0,2247339E+09	40,330	0,00000
Resíduo	35	0,1950344E+09	5572411		

* Nível de 5% de significância.

Média Geral	11602,23077
Coef. De Variação	20,346

Quadro 9C - Resumo da análise de variância (ANOVA) para o inchamento em espessura (24h), em chapas do tipo OSB esterificadas, *Eucalyptus grandis*.

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Anidrido	3	0,3886353E+09	0,1295451E+09	13,542	0,00000
Resíduo	35	0,3348194E+09	9566270		

* Nível de 5% de significância.

Média Geral	19726,94872
Coef. De Variação	15,679

Quadro 10C - Resumo da análise de variância (ANOVA) para o arrancamento de parafuso, em chapas do tipo OSB esterificadas, *Eucalyptus grandis*.

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Anidrido	3	4397,607	1465,869	1,289	0,29354
Resíduo	35	39814,38	1137,554		

* Nível de 5% de significância.

Média Geral	198,42735
Coef. De Variação	16,997

Quadro 11C- Resumo da análise de variância (ANOVA) para a dureza Janka, em chapas do tipo OSB esterificadas, *Eucalyptus grandis*.

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Anidrido	3	152948.4	50982.78	6.842	0.00095
Resíduo	35	260785.4	7451.013		

* Nível de 5% de significância.

Média Geral	522.02137
Coef. De Variação	16.536

Quadro 12C - Resumo da análise de variância (ANOVA) para a tração perpendicular, em chapas do tipo OSB esterificadas, *Eucalyptus grandis*.

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Anidrido	3	13.55748	4.519159	8.261	0.00027
Resíduo	35	19.14676	0.547050		

* Nível de 5% de significância.

Média Geral	5.38128
Coef. De Variação	13.744

Quadro 13C - Resumo da análise de variância (ANOVA) para a compressão longitudinal, em chapas do tipo OSB esterificadas, *Eucalyptus grandis*.

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Anidrido	3	4066.446	1355.482	3.514	0.02508
Resíduo	35	13502.58	385.7879		

* Nível de 5% de significância.

Média Geral	167.97673
Coef. De Variação	11.693

Quadro 14C - Resumo da análise de variância (ANOVA) para o módulo de ruptura, sentido longitudinal, em chapas do tipo OSB esterificadas, *Eucalyptus grandis*.

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Anidrido	3	3084.845	1028.282	0.174	*****
Resíduo	35	207126.8	5917.907		

* Nível de 5% de significância.

Média Geral	378.23088
Coef. De Variação	20.339

Quadro 15C - Resumo da análise de variância (ANOVA) para o módulo de ruptura, sentido perpendicular, em chapas do tipo OSB esterificadas, *Eucalyptus grandis*.

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Anidrido	3	10183.05	3394.349	1.223	0.31569
Resíduo	35	97100.34	2774.296		

* Nível de 5% de significância.

Média Geral	220.66560
Coef. De Variação	23.869

Quadro 16C - Resumo da análise de variância (ANOVA) para o módulo de elasticidade, sentido longitudinal, em chapas do tipo OSB esterificadas, *Eucalyptus grandis*.

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Anidrido	3	0.3516205E+08	0.1172068E+08	0.104	*****
Resíduo	35	0.3949889E+10	0.1128540E+09		

* Nível de 5% de significância.

Média Geral	41626.36714
Coef. De Variação	25.521

Quadro 17C - Resumo da análise de variância (ANOVA) para o módulo de elasticidade, sentido perpendicular, em chapas do tipo OSB esterificadas, *Eucalyptus grandis*.

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Anidrido	3	0.2313996E+09	0.7713320E+08	2.286	0.09581
Resíduo	35	0.1181127E+10	0.3374647E+08		

* Nível de 5% de significância.

Média Geral	16873.16524
Coef. De Variação	34.428