

ALEXANDRE DE LUNA PEDROSA

**PERFORMANCE DE VIGAS “P” CONSTITUÍDAS POR FLANGES DE
PLP E ALMAS DE COMPENSADO DE *Pinus taeda* L. E *Eucalyptus
dunnii* Maiden, E ALMA DE OSB DE *Pinus* spp.**

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

Orientador: Prof. Dr. Setsuo Iwakiri

CURITIBA

2003

ALEXANDRE DE LUNA PEDROSA

**PERFORMANCE DE VIGAS “P” CONSTITUÍDAS POR FLANGES DE
PLP E ALMAS DE COMPENSADO DE *Pinus taeda* L. E *Eucalyptus
dunnii* Maiden, E ALMA DE OSB DE *Pinus* spp.**

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

Orientador: Prof. Dr. Setsuo Iwakiri

CURITIBA

2003

A meus avós,

Luiz Umberto de Luna Pedrosa,
Iclea Hyuda de Luna Pedrosa,
Ney Pacheco, e
Maria de Lourdes Macedo Pacheco.

A meus pais,

Mario Hyuda de Luna Pedrosa, e
Maria Aparecida de Luna Pedrosa.

A minhas irmãs,

Pollyana de Luna Pedrosa, e
Andrea de Luna Pedrosa.

A meus familiares e amigos presentes em minha formação.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Setsuo Iwakiri, pela orientação, oportunidade, crença e estímulo.

Ao Professor Jorge Monteiro de Matos, pela co-orientação, sugestões e prontidão para meu auxílio.

Ao Professor Márcio Pereira da Rocha, pela co-orientação, estímulo, aconselhamento e amizade.

À empresa Battistella, na pessoa do Senhor Gilberto Battistella, pela constante instrução, sugestões e prontidão no fornecimento do Pinus e apoio incondicional na produção e logística do material.

Aos Senhores Edmilson e Euclídes por todo o acompanhamento e serviços junto à produção do PLP e Compensado na empresa Battistella.

À empresa Madeiras EK, na pessoa do Senhor Amauri, pelo fornecimento do Eucalipto.

À empresa Borden, na pessoa do Senhor Mario de Andrade, pelo auxílio com as questões técnicas sobre o adesivo e pelo fornecimento da resorcina-formaldeído.

Ao Engenheiro André Moraes da Silva, da empresa MASISA, pelo interesse, disposição, sugestões na idealização do projeto e fornecimento do OSB.

Aos funcionários Ademir Cavalli, Gilnei Machado, Vitor Herrera, Antônio Perin e ao colega José Guilherme Prata.

Ao Professor Ricardo Klitske pelas sugestões e orientações para obtenção dos dados coletados.

À Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Ciências Florestais da Universidade Federal do Paraná.

Ao Senhor Dorival Zotz, pela compreensão e amizade e fornecimento de material para fabricação das Vigas.

A Gerson Issao Yasumoto e Gustavo Mussi Augusto, da empresa A Confraria Ltda, pela ajuda com o material das Vigas.

A Mariana Smanhotto Schuchovski e Família, pelo grande incentivo durante todo o trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE FIGURAS	x
RESUMO	xii
ABSTRACT	xiii
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 OBJETIVOS	3
1.1.1 Geral	3
1.1.2 Específicos	3
2 REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 A MADEIRA EM PRODUTOS ENGENHEIRADOS.....	4
2.1.1 Aspectos gerais.....	4
2.1.2 Teoria da Ação de Sustentação (“Supporting Action”).....	6
2.2 AS VIGAS “T”	6
2.2.1 Aspectos gerais.....	6
2.2.2 Aspectos técnicos e vantagens na produção e utilização.....	7
2.2.3 Padronização das Vigas “T”	9
2.3 AS FLANGES.....	10
2.4 A ALMA.....	10
2.5 O PAINEL DE LÂMINAS PARALELAS.....	12
2.5.1 Aspectos gerais.....	12
2.5.2 Vantagens dos Painéis de Lâminas Paralelas.....	12
2.5.3 Aspectos técnicos da produção e usos do PLP	13
2.6 O COMPENSADO	14
2.6.1 Aspectos gerais.....	14
2.6.2 Aspectos técnicos e de fabricação	15
2.6.3 Compensado em estruturas	17
2.7 O PAINEL “OSB”	18
2.7.1 Aspectos gerais.....	18
2.7.2 Parâmetros de produção.....	18
2.7.3 Aspectos técnicos e usos do “OSB”	19
2.8 A MADEIRA DO <i>Pinus taeda</i> L.	21
2.9 A MADEIRA DO <i>Eucalyptus dunnii</i> MAIDEN	23
2.10 CARACTERÍSTICAS DA RESINA FF (FENOL-FORMALDEÍDO).....	24

2.11	CARACTERÍSTICAS DA RESINA RF (RESORCINOL-FORMALDEÍDO).....	25
3	MATERIAIS E MÉTODOS	26
3.1	MADEIRA DE <i>Pinus taeda</i> L.	26
3.1.1	Obtenção das lâminas	26
3.1.2	Secagem das lâminas	26
3.1.3	Classificação das lâminas	27
3.2	MADEIRA DE <i>Eucalyptus dunnii</i> MAIDEN	28
3.2.1	Obtenção das lâminas	29
3.2.2	Secagem das lâminas	29
3.2.3	Classificação das lâminas	29
3.3	RESINA FENOL-FORMALDEÍDO	29
3.4	FABRICAÇÃO DO PLP E DOS COMPENSADOS	30
3.4.1	Aplicação do adesivo.....	30
3.4.2	Prensagem.....	31
3.4.3	Acondicionamento e Dimensionamento.....	31
3.5	FABRICAÇÃO DO OSB.....	32
3.6	RESINA RESORCINOL-FORMALDEÍDO	33
3.7	FABRICAÇÃO DAS VIGAS “T” (“I-JOISTS”).....	33
3.8	PLANO EXPERIMENTAL	36
3.8.1	Delineamento estatístico dos testes preliminares.....	37
3.8.1.1	Avaliação dos painéis compensados e do osb.....	37
3.8.1.2	Avaliação do plp.....	39
3.8.2	Delineamento estatístico para o teste das Vigas “T”	40
3.8.2.1	Avaliação das vigas	41
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
4.1	ANÁLISE DOS RESULTADOS DOS TESTES PRELIMINARES	43
4.1.1	Propriedades dos Painéis de Lâminas Paralelas.....	43
4.1.1.1	Análise da massa específica aparente	43
4.1.1.2	Análise do módulo de elasticidade	45
4.1.1.3	Análise do módulo de ruptura	48
4.1.2	Propriedades dos painéis compensados e do osb	50
4.1.2.1	Análise da massa específica aparente	50
4.1.2.2	Análise do Módulo de Elasticidade	54
4.1.2.3	Análise do Módulo de Ruptura.....	59

4.1.2.4	Análise da Tensão Máxima de Compressão Perpendicular	65
4.2	ANÁLISE DOS RESULTADOS DOS TESTES DAS VIGAS “I”	67
4.2.1	Propriedades mecânicas das vigas.....	67
4.2.1.1	Módulo de Elasticidade Aparente.....	68
4.2.1.2	Módulo de Ruptura	70
4.2.1.3	Deflexão no limite proporcional.....	71
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	74
6	LISTA DE REFERÊNCIAS	77
	APÊNDICES.....	82

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – ENERGIA LÍQUIDA (MEGAWATTS) NECESSÁRIA POR TONELADA DE PRODUTOS DE MADEIRA CONTRA SUBSTITUTOS NÃO RENOVÁVEIS.....	5
TABELA 2 – QUADRO COMPARATIVO ENTRE CUSTOS DO AÇO E DA MADEIRA .	5
TABELA 3 – PRINCIPAIS USOS DE PAINÉIS DE LÂMINAS PARALELAS	13
TABELA 4 – PARTICIPAÇÃO DOS ITENS DE CUSTO NA INDÚSTRIA DE COMPENSADOS	15
TABELA 5 – VALORES DA MASSA ESPECÍFICA DE <i>Pinus taeda</i> L. COM 18, 21 E 30 ANOS DE IDADE NOS ESTADOS DO PARANÁ E SANTA CATARINA (MATOS,1997).	22
TABELA 6 – FORMULAÇÃO UTILIZADA NA INDÚSTRIA	30
TABELA 7 – FORMULAÇÃO CONSTATADA EM REVISÃO	30
TABELA 8 – VARIÁVEIS DA PENSAGEM.....	31
TABELA 9 – CARACTERÍSTICAS DA CASCOPHEN RS216-M.....	33
TABELA 10 – FORMULAÇÃO DO ADESIVO A BASE DE RF.....	33
TABELA 11 – TEMPO MÁXIMO DE MONTAGEM EM MINUTOS	34
TABELA 12 – TEMPO MÍNIMO DE PENSAGEM EM HORAS	34
TABELA 13 – DEMONSTRATIVO DO DELINEAMENTO PARA OS TESTES DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO ESTÁTICA E DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA	38
TABELA 14 – DEMONSTRATIVO DO DELINEAMENTO PARA OS TESTES DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PERPENDICULAR.....	39
TABELA 13 – DEMONSTRATIVO DO DELINEAMENTO PARA OS TESTES DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO ESTÁTICA	40
TABELA 16 – DEMONSTRATIVO DOS TRATAMENTOS DO DELINEAMENTO ESTATÍSTICO.....	41
TABELA 17 – VALORES MÉDIOS DA MASSA ESPECÍFICA APARENTE DAS CHAPAS PLP DE <i>Pinus taeda</i> L. E DE <i>Eucalyptus dunnii</i> MAIDEN	43
TABELA 18 - VALORES MÉDIOS VERIFICADOS PARA O MOE ENTRE AS REPETIÇÕES E ENTRE AS CHAPAS PLP DE <i>Pinus taeda</i> L. E DE <i>Eucalyptus dunnii</i> MAIDEN.....	46
TABELA 19 - VALORES MÉDIOS VERIFICADOS PARA O MOR ENTRE AS REPETIÇÕES E ENTRE AS CHAPAS PLP DE <i>Pinus taeda</i> L. E DE <i>Eucalyptus dunnii</i> MAIDEN.....	48
TABELA 20 – VALORES MÉDIOS VERIFICADOS PARA MASSA ESPECÍFICA ENTRE AS REPETIÇÕES DAS CHAPAS COMPENSADAS DE <i>Pinus taeda</i> L.	50

TABELA 21 – VALORES MÉDIOS VERIFICADOS PARA MASSA ESPECÍFICA ENTRE AS REPETIÇÕES DAS CHAPAS COMPENSADAS DE <i>Eucalyptus dunnii</i> MAIDEN.....	50
TABELA 22 – VALORES MÉDIOS VERIFICADOS PARA MASSA ESPECÍFICA ENTRE AS REPETIÇÕES DAS CHAPAS OSB	51
TABELA 23 – VALORES MÉDIOS VERIFICADOS PARA O MÓDULO DE ELASTICIDADE ENTRE AS REPETIÇÕES E ENTRE AS CHAPAS COMPENSADAS DE <i>Pinus taeda</i> L. E <i>Eucalyptus dunnii</i> MAIDEN E O OSB.....	54
TABELA 24 – VALORES MÉDIOS VERIFICADOS PARA O MÓDULO DE RUPTURA ENTRE AS REPETIÇÕES E ENTRE OS TRATAMENTOS DOS COMPENSADOS DE <i>Pinus taeda</i> L. E <i>Eucalyptus dunnii</i> MAIDEN E O OSB.....	60
TABELA 25 – VALORES MÉDIOS VERIFICADOS PARA A TENSÃO MÁXIMA DE COMPRESSÃO ENTRE AS REPETIÇÕES E ENTRE TRATAMENTOS DOS COMPENSADOS E O OSB	65
TABELA 26 – VALORES MÉDIOS DO MOE, MOR E DA DEFLEXÃO DAS VIGAS “I”	67
TABELA 27 – VARIAÇÃO DO MOE DAS FLANGES SOBRE AS ALMAS	69
TABELA 28 – VARIAÇÃO DO MOE DAS ALMAS SOBRE AS FLANGES	69
TABELA 29 - VARIAÇÃO DO MOR DAS FLANGES SOBRE AS ALMAS.....	70
TABELA 30 - VARIAÇÃO DO MOR DAS ALMAS SOBRE AS FLANGES.....	70
TABELA 31 - VARIAÇÃO DA DEFLEXÃO DAS FLANGES SOBRE AS ALMAS	72
TABELA 32 - VARIAÇÃO DO MOR DAS FLANGES SOBRE AS ALMAS.....	72

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – EXEMPLO DE VIGAS “T” COM TRÊS TIPOS DE MATERIAIS NAS FLANGES.....	7
FIGURA 2 – ILUSTRAÇÃO DA ECONOMIA DE MADEIRA COM O DESENHO DA SEÇÃO EM “T”	8
FIGURA 3 – PADRONIZAÇÃO DE VIGA “T”	10
FIGURA 4 – ESQUEMA DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DO OSB	19
FIGURA 5 – SISTEMA DE MEDIÇÃO DA UMIDADE NAS LÂMINAS.....	27
FIGURA 6 – LÂMINAS DE PINUS PRÉ-CLASSIFICADAS	28
FIGURA 7 – LÂMINAS DE EUCALIPTO UTILIZADAS PARA FABRICAÇÃO DOS PAINÉIS	28
FIGURA 8 – APLICADOR DO ADESIVO E MONTAGEM DAS CHAPAS.....	31
FIGURA 9 – CHAPAS DE PINUS AGUARDANDO EXPEDIÇÃO.	32
FIGURA 10 – PRENSAGEM E AMARRAÇÃO DAS VIGAS	35
FIGURA 11 – DESENHO DA SEÇÃO DA VIGA.....	36
FIGURA 12 – ENSAIO DE FLEXÃO ESTÁTICA DOS PAINÉIS PLP	38
FIGURA 14 – ENSAIO DE FLEXÃO ESTÁTICA DAS VIGAS	42
FIGURA 15 – GRÁFICO DEMONSTRATIVO DA HETEROGENEIDADE DA MASSA ESPECÍFICA APARENTE ENTRE O PLP DAS DUAS ESPÉCIES	44
FIGURA 16 – GRÁFICOS DAS TENDÊNCIAS DAS MEDIDAS DA MASSA ESPECÍFICA APARENTE	45
FIGURA 17 – GRÁFICOS DEMONSTRATIVOS DA HETEROGENEIDADE ENTRE O MOE DO PLP DE PINUS E EUCALIPTO.....	47
FIGURA 18 – GRÁFICOS DAS TENDÊNCIAS DO MOE	47
FIGURA 19 – GRÁFICOS DEMONSTRATIVOS DA HETEROGENEIDADE ENTRE O MOR DO PLP DE PINUS E EUCALIPTO	49
FIGURA 20 – GRÁFICOS DAS TENDÊNCIAS DO MOR.....	49
FIGURA 21 – GRÁFICOS DAS TENDÊNCIAS DAS MÉDIAS DA MASSA ESPECÍFICA APARENTE.....	52
FIGURA 22 – GRÁFICO DEMONSTRATIVO DA HETEROGENEIDADE ENTRE OS MATERIAIS DAS ALMAS	53
FIGURA 23 – GRÁFICOS DAS TENDÊNCIAS DAS MÉDIAS DO MOE NO SENTIDO PARALELO	55
FIGURA 24 – GRÁFICOS DAS TENDÊNCIAS DAS MÉDIAS DO MOE NO SENTIDO PERPENDICULAR.....	56
FIGURA 25 – GRÁFICO DEMONSTRATIVO DA HETEROGENEIDADE ENTRE OS MATERIAIS DAS ALMAS	58

FIGURA 26 – GRÁFICO DEMONSTRATIVO DA HETEROGENEIDADE ENTRE OS MATERIAIS E OS PLANOS DE ORIENTAÇÃO.....	59
FIGURA 27 – GRÁFICOS DAS TENDÊNCIAS DAS MÉDIAS DO MOR PARALELO PARA OS COMPENSADOS E O OSB.....	61
FIGURA 28 – GRÁFICOS DAS TENDÊNCIAS DO MOR PARA O COMPENSADO DE EUCALIPTO.....	62
FIGURA 29 – GRÁFICO DEMONSTRATIVO DA HETEROGENEIDADE ENTRE OS MATERIAIS DAS ALMAS	63
FIGURA 30 – GRÁFICO DEMONSTRATIVO DA HETEROGENEIDADE ENTRE OS MATERIAIS E OS PLANOS DE ORIENTAÇÃO.....	64
FIGURA 31 – GRÁFICOS DAS TENDÊNCIAS DAS MÉDIAS DA TENSÃO PARA OS COMPENSADOS DE PINUS E EUCALIPTO E O OSB	66
FIGURA 32 – GRÁFICOS DEMONSTRATIVO DA HETEROGENEIDADE ENTRE AS TENDÊNCIAS DAS MÉDIAS DA TENSÃO PARA OS COMPENSADOS DE PINUS E EUCALIPTO E O OSB	67
FIGURA 33 – GRÁFICO DO MOE DAS VIGAS “I” (TF/CM ²).....	69
FIGURA 34 - GRÁFICO DO MOE DAS VIGAS “I” (TF/CM ²)	71
FIGURA 35 – GRÁFICO DA DEFLEXÃO DAS VIGAS “I”	72

RESUMO

Este trabalho teve por objetivo avaliar a performance estrutural de Vigas “T” constituídas por painéis PLP e Compensados de *Pinus taeda* L. e *Eucalyptus dunnii* Maiden e OSB de *Pinus* spp. produzidos no Sul do Brasil; e foi motivado pela disposição de se introduzir o conceito de utilização estrutural dos painéis reconstituídos de madeira, que é pouco reconhecido nacionalmente, mas que poderia trazer muitos benefícios aos setores ligados a utilização deste tipo de elemento estrutural e naturalmente aos próprios fabricantes destes materiais. Para a análise desta performance, foram estudadas algumas propriedades físicas e mecânicas: primeiramente a massa específica aparente, o MOE, o MOR e a tensão máxima de compressão perpendicular dos materiais que compuseram os elementos estruturais, e posteriormente o MOE, MOR e a deflexão das vigas. O experimento foi estruturado de forma a variar a composição das vigas com os dois tipos de flanges e os três tipos de almas, constituindo 6 tratamentos, que tiveram suas performances testadas observando-se as propriedades individuais dos materiais que os compuseram, buscando desta forma estimar a contribuição de cada um deles para com estas performances. Os resultados dos testes preliminares efetuados com os compensados de Pinus e Eucalipto revelaram haver uma pequena variação das propriedades analisadas, entre as chapas da mesma espécie, o que não ocorreu com o PLP, comprovando a eficácia da classificação das lâminas efetuada apenas para fabricação deste último. O OSB se mostrou bastante uniforme na maioria das propriedades, fator que se deve muito ao processo contínuo e altamente mecanizado de produção. Também foram realizadas análises de todas as propriedades, que revelaram maiores diferenças na comparação dos materiais. Estas diferenças possibilitaram a inferência de que a variação nas combinações das Vigas poderia provocar uma variação entre os tratamentos, o que de fato ocorreu. O MOEa foi a única variável que apresentou diferença significativa entre os tratamentos, enquanto que o MOR e a Deflexão tiveram uma distribuição mais escalonada entre as combinações dos fatores. Já quando analisados separadamente, estes fatores apresentaram variações mais consideráveis, também maiores para o MOE. Com respeito aos materiais na composição das vigas, ficou evidente a maior contribuição da variação da espécie nas Flanges do que nas Almas, com valores relativos muito significativos. E a maior diferença entre os materiais das almas ficou por conta do OSB, que ocupou os extremos superiores das variáveis MOE e Deflexão, e o extremo inferior na variável MOR.

ABSTRACT

The main objective of this work was to evaluate the performance of I-joists made out of LVL flanges of *Pinus taeda* L. and *Eucalyptus dunnii* Maiden, with Plywood of the same species and OSB webs, produced in Southern Brazil. It was motivated by the willing to introduce the concept for the structural use of composed wood panels, witch is not well known, nationally, but could bring lots of benefits: to businesses that make use of this kind of members, and of course, to the ones that could produce them. For the analysis of this performance, some physical and mechanical properties were studied. Primarily the density, the elasticity and rupture modulus, and the perpendicular compression resistance were determined for the materials that would compose the beans (joists), followed by, the measurement of the elasticity and rupture modulus, and the deflection of the beans themselves. The experiment was designed so it could reveal the contribution of each component to the performance of the members, with their relationship within the variation among 6 treatments composed by the combination of the 2 flange's types with the 3 web's materials. The results of the primary tests with the Plywood showed a small variation among the boards of each species, what didn't happen with the LVL, proving the efficiency in the veneer sorting, made only for the manufacturing of this last one. The OSB proved itself very uniform in most of the properties analyzed, witch is much due to its very mechanized and continuous manufacturing process. There were also, the analyses of all the properties comparing the interaction among the kinds of each material. The great deviations showed by those tests made possible the imposition that there could be deviations among the combinations of the joists' samples, witch was true. In the ANOVA, the MOE was the only variable to show significant difference among the samples, while the MOR and the Deflection had a more gradual distribution. Although, when analyzed apart from one another, the materials showed more consistent deviations. When referring to the contributions of those materials into the composition of the beans, it could be seen clearly that there was a greater difference promoted by the varying of the species on the flanges over the webs. And the greater extreme values for the webs were showed by the OSB, witch got itself at the highest means for the MOE and the Deflection and at the lowest for the MOR.

1 INTRODUÇÃO

O setor florestal brasileiro demonstra atualmente uma nova posição com relação à oferta de novos tipos de produtos compostos de madeira; temos já posicionado o MDF, produzido nacionalmente desde 1997, e em 2002 começou a produção do OSB, numa escala que pode chegar a aproximadamente 300000 m³ com 100% da capacidade instalada. Os possíveis reflexos para esta nova oferta de painéis reconstituídos de madeira podem incluir a substituição na demanda de outros produtos, como os laminados. A partir da criação de uma outra demanda para utilização destes novos produtos, como em elementos engenheirados com finalidades estruturais, deve haver um acompanhamento e um possível consórcio destes novos produtos com os demais ofertados neste âmbito, como os compensados e os Painéis de Lâminas Paralelas (PLP), de forma a promover uma menor competição entre eles, uma vez criando-se maior expectativa de consumo dos painéis estruturais.

A madeira estrutural composta, gênero assim denominado para uma extensa gama de produtos, foi desenvolvida em resposta a uma necessidade por madeira de alta qualidade e determinado comprimento num período de escassez deste material nos recursos florestais. Um dos tipos dentro o gênero da madeira estrutural composta é o PLP, que consiste na colagem de lâminas especialmente classificadas paralelamente umas às outras. Um outro produto pertencente ao gênero é o OSB (“Oriented Strand Board”), Painel de Partículas (do tipo “strand”) Orientadas e coladas em camadas perpendiculares. Um terceiro composto colado com características semelhantes às do OSB, mas constituído por lâminas, e que se enquadra também neste gênero, é o Compensado de uso exterior, também fabricado em grande escala em nosso mercado e com qualidade que começa a ser atestada. Estes três produtos, com suas peculiaridades, podem se constituir na matéria prima para um outro composto, pertencente a um outro gênero, o dos sistemas engenheirados de madeira, que são as Vigas “I” (I-joists), denominadas desta forma devido ao desenho de suas seções transversais.

Dentro do contexto da utilização de espécies exóticas, visando reduzir a pressão sobre a utilização de espécies nativas, se insere uma outra tendência, que consiste na utilização de madeira reconstituída para os mais variados fins. As vantagens destes materiais são muitas, e residem principalmente, nos aspectos de rendimento em relação ao volume da tora, diminuição da anisotropia e da utilização de madeiras de rápido crescimento e de densidades médias a baixas provenientes de florestas plantadas e homogêneas.

O teste da performance de elementos estruturais engenheirados, como as vigas em “T”, e a adequação destes, quando produzidos a partir de *Pinus taeda* L. e *Eucalyptus dunnii* Maiden cultivados no sul do Brasil, às normas consagradas para seu uso, auxiliam para o conhecimento técnico destas novas alternativas. A partir deste entendimento pode-se buscar formas de introdução para estes elementos juntos a um novo sistema construtivo que começa a se apresentar ao cenário nacional, o “Simple-framing System”, que consiste na fabricação de casas de madeira pré-estruturadas em quadros.

A produção destes elementos e um possível desenvolvimento deste sistema promoveriam uma melhor utilização dos produtos estruturais compostos, como o LVL, o OSB e o compensado, que aumentam a eficiência no aproveitamento dos recursos madeireiros, que vêm enfrentando graves problemas de depreciação, possibilitando a fabricação de componentes estruturais de alta qualidade e pouca variabilidade.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Geral

Realizar a avaliação da contribuição das flanges de Painel de Lâminas Paralelas (PLP) de *Pinus taeda* L. e de *Eucalyptus dunnii* Maiden, e das almas de Painel de Partículas Orientadas (OSB) de *Pinus* spp. e dos Compensados de *Pinus taeda* L. e *Eucalyptus dunnii* Maiden, nas propriedades estruturais de Vigas “T” produzidas pela colagem destes materiais com Resorsinol-formaldeído, adequando-as às normas da associação norte-americana que regula os padrões para os testes e materiais (ASTM¹), devido, principalmente, à origem dos painéis OSB e PLP, este conhecido também como LVL (“Laminated Veneer Lumber”).

1.1.2 Específicos

1. Testar preliminarmente o OSB e o Compensado comerciais, quanto à resistência à compressão perpendicular, e juntamente com o PLP quanto a resistência à flexão estática;
2. Avaliar a performance estrutural e construtiva das vigas, através das seguintes propriedades:
 - Módulo de Elasticidade (MOE);
 - Módulo de ruptura (MOR);
 - Deflexão no Limite Proporcional;
 - Compatibilidade entre os elementos;
 - Eficiência na colagem;
3. Alternar os tipos das flanges e das almas de forma a comparar a contribuição de cada um deles para com as propriedades estruturais das composições;
4. Introduzir conhecimentos acerca das Vigas “T” ou “I-joists”, que venham a contribuir para uma possível introdução deste tipo de material na construção civil.

¹ American Society for Testing and Materials.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A MADEIRA EM PRODUTOS ENGENHEIRADOS

2.1.1 Aspectos gerais

Produtos engenheirados de madeira são fabricados pela colagem de partículas, lâminas, tábuas ou outras formas de fibras de madeira, produzindo uma unidade composta maior e integral com características e performance estruturais. A Associação de Madeira Engenheirada (APA) divide estes produtos em quatro categorias: a de painéis estruturais, que incluem os compensados, o OSB e o “Wafer Board”; a de madeira laminada colada (Glulam); madeira composta estrutural, em que se enquadra o PLP (LVL); e por fim a das vigas “T” (THE ENGINEERED WOOD ASSOCIATION, 2001).

WILSON (1992, p. 97) considerou que os materiais compostos de madeira teriam um papel importante na indústria, com um grande crescimento no final do último século e começo do atual. Hoje se constata que tal consideração foi bem colocada. A indústria dos compostos de madeira no Brasil teve um crescimento, de fato, espantoso. Somente no Paraná os investimentos desde 1999 na indústria de painéis compostos (fibras e partículas) respondem por um acréscimo na capacidade instalada para produzir mais de 1,2 milhão m³/ano.

Nos EUA a madeira corresponde a aproximadamente metade do consumo de matérias-primas. E os especialistas admitem que a substituição dela por outros materiais poderia causar um impacto ambiental massivo, principalmente no que diz respeito ao consumo de energia (CORRIM², 1992, apud BALDWIN, 1995, p. 24).

²CORRIM II – Committee on Renewable Resources for Industrial Materials. Renewable raw materials in America’s future: an issue of increasing concern, Steering Committee, 1992.

TABELA 1 – ENERGIA LÍQUIDA (MEGAWATTS) NECESSÁRIA POR TONELADA DE PRODUTOS DE MADEIRA CONTRA SUBSTITUTOS NÃO RENOVÁVEIS

Produtos	Caibros (madeira vs. aço)	Vigas de madeira vs. concreto	Assoalhos (madeira vs. carpet)	Compensado vs. chapa de alumínio	Média
Madeira	0,85	1,21	0,85	1,76	1,17
Não renovável	7,81	25,28	3,59	9,40	11,52
Perda de energia por tonelada de madeira substituída nestes produtos: 10,35 MW					

FONTE: KOCH³ (1992 apud, BALDWIN, 1995, p. 25) (Adaptado)

STEIDA (1992, p. 225) da Forintek Canada Corp justifica o uso da madeira a outros materiais em estruturas em estudos comparativos entre aço e madeira, onde demonstrou níveis de emissões existentes e a quantidade de água e energia requeridas no processo de obtenção dos dois materiais, além de custos unitários por m².

TABELA 2 – QUADRO COMPARATIVO ENTRE CUSTOS DO AÇO E DA MADEIRA

Área construída	m ²	Madeira (\$/m ²)	Aço (\$/m ²)
Piso e paredes	950	112,10	199,10
Telhado e paredes	1010	85,20	131,40

FONTE: STEIDA (1992, p. 225)

Peças estruturais formadas por materiais reconstituídos de madeira são projetadas através dos mesmos cálculos empregados pelas formulações propostas à madeira sólida, partindo-se da premissa que a colagem destes materiais, quando devidamente efetuada, não representa decréscimo nas qualidades de consolidação e resistência à tensões do corpo. Contudo, é normalmente requerida para fabricação destas vigas, a aplicação de alguns fatores de modificação com relação à madeira sólida, devido à possibilidade do alcance de maiores dimensões que seus materiais constituintes apresentam (CHUGG, 1964, apud MATSUNAGA, 1995, pag. 65).

³ KOCH, P. Wood versus nonwood mate U.S. residential construction: Some energy related implications. In: WOOD PRODUCT DEMAND AND THE ENVIRONMENT: PROCEEDINGS OF AN INTERNATIONAL CONFERENCE SPONSORED BY THE FOREST PRODUCTS RESEARCH SOCIETY, 1992.

2.1.2 Teoria da Ação de Sustentação (“Supporting Action”)

Esta teoria foi proposta por NEWLIN e TRAYER (1941) para explicar a variação do módulo de ruptura com a altura e a forma da seção transversal, para qualquer tipo de madeira. Após ser checada experimentalmente por DIETZ (1942) e testada no Laboratório de Produtos Florestais do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA-FPL) por FREAS e SELBO (1954); ela passou a se constituir como base para as especificações de desenho dos fatores de tamanho e forma das seções (GURFINKEL, 1973, pag. 201).

A ação de sustentação assume na teoria o aspecto de que as fibras se sustentam de forma diretamente proporcional à distância entre elas, e que o poder de sustentação destas fibras é maior quanto mais próximas elas forem da linha neutra durante a flexão. No entanto estas fibras com o maior poder de sustentação estão muito distantes daquelas que mais necessitam deste apoio, que são aquelas das extremidades ou as que estão próximas destas. Por isto, DIETZ em 1942, coloca que a máxima sustentação se dá acerca de 1/3 da profundidade (altura da seção) das vigas, (GURFINKEL, 1973, p. 202).

2.2 AS VIGAS “T”

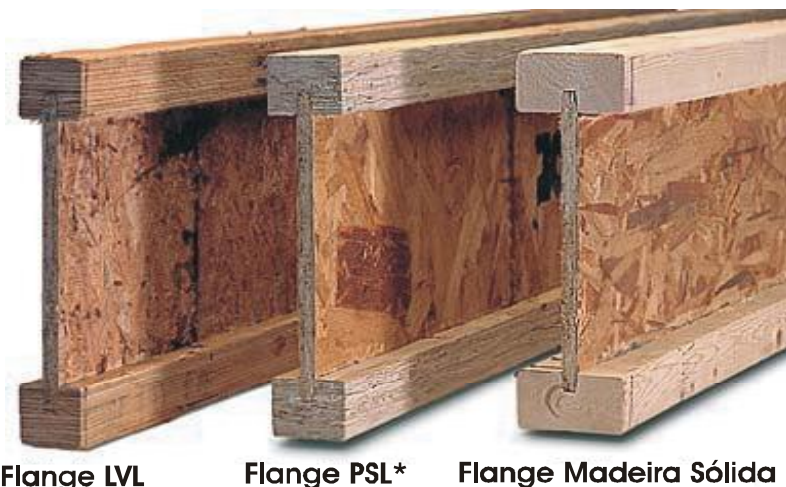
2.2.1 Aspectos gerais

Componentes estruturais muito eficientes podem ser produzidos pela combinação de painéis estruturais através da colagem. Detalhes e informações técnicas destes componentes são discutidos pela Associação da Madeira Engenheirada dos Estados Unidos da América (APA), mais especificamente pela divisão de Sistemas Engenheirados de Madeira (EWS). Um dos membros com desenho mais eficiente são as vigas com seção em forma de “T”, que apresentam boa distribuição das forças com economia de material (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999, p. 11-12).

O surgimento das vigas de madeira com seção “T” data de 1969, quando houve a introdução destas entre os produtos da então “Trus Joist Corporation” (hoje “Trus Joist MacMillan”). O desenvolvimento das vigas “T” foi originalmente motivado pela performance e não pelo preço. Projetos arquitetônicos da época, inspirados por consumidores que desejavam vãos de maiores extensões em seus ambientes, necessitavam de elementos, nos pavimentos superiores, mais capazes que as peças de madeira serradas dentro de limitações dimensionais. Para o atendimento desta demanda eram produzidas vigas “T” com grandes

almas de compensado e flanges de madeira serrada de menores dimensões, que desta forma possibilitavam a obtenção de um maior número de peças livres de defeitos para utilização nos elementos (FISSETTE, 2000).

FIGURA 1 – EXEMPLO DE VIGAS “I” COM TRÊS TIPOS DE MATERIAIS NAS FLANGES



Flange LVL

Flange PSL*

Flange Madeira Sólida

* “Parallel Strand Lumber” ou Pannel de Partículas (strand) Paralelas.

FONTE: FISSETTE, P. In: Fine Homebuilding Magazine, n. 129, 2000.

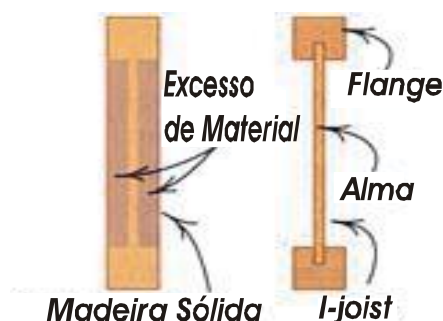
2.2.2 Aspectos técnicos e vantagens na produção e utilização

GROMALA em 1992 (p. 41) previa os benefícios que os desenhos mais avançados, como o da seção em forma de “I”, trariam às estruturas. Indicando as vantagens econômicas e ambientais que a otimização e racionalização destes sistemas poderiam trazer, ele também previa o desenvolvimento destes desenhos integrado ao desenvolvimento de “softwares” de dimensionamento e cálculo integrado das estruturas.

A APA foi pioneira no incentivo ao uso da tecnologia para substituição do desperdício de madeira, quando em 1983 promulgou um padrão comercial para performance dos produtos engenheirados (BALDWIN, 1995, p. 22).

No entendimento dos projetistas das vigas “I”, o desenho da seção é favorável a economia de material, representada pelas pequenas espessuras das almas, uma vez que a distribuição das maiores intensidades das tensões sobre a altura das vigas se dá nas extremidades, onde estão posicionadas as flanges, evidentemente compostas por materiais que oferecem maior resistência às cargas transversais (FISSETTE, 2000).

FIGURA 2 – ILUSTRAÇÃO DA ECONOMIA DE MADEIRA COM O DESENHO DA SEÇÃO EM “T”



FONTE: FISETTE, P. In: Fine Homebuilding Magazine, n. 129, 2000.

A disposição perpendicular do material da alma é mais um fator favorável, visto que há uma maior relação da resistência às cargas transversais com a altura da seção, que com a largura desta; e no caso das vigas “T”, o aumento desta altura depende de uma quantidade menor de material (FISETTE, 2000).

A forma da seção “T” representa uma relação bastante favorável entre resistência e peso. Por exemplo, uma viga “T” com 241 mm de altura e 8 m de comprimento, dentro de seus padrões para estas dimensões, pesa cerca de 25 kg, dependendo do tamanho da flange; isto significa que elas apresentam, além de economia de material, uma alta ergonomia podendo ser manuseada facilmente por um único operário (JAGER⁴, apud KRYGIER; BARNECUT, 2002).

Com relação às tensões desenvolvidas sobre os elementos devido a influência da altura da seção transversal; FREAS e SELBO (1954, apud MATSUNAGA, 1995, pag. 65) afirmam que as vigas de seção “T” ou celulares (forma de caixa), demonstram valores mais baixos de tensão do que as vigas retangulares, que por sua vez desenvolvem tensões de flexão menores que vigas ou peças excentricamente carregadas, como as de seções quadradas e circulares.

GURFINKEL, em 1973 (pag. 203), observa que testes realizados com vigas de seção “T” ou celulares revelam valores menores para o módulo de ruptura, que aqueles obtidos em vigas de seção retangular de mesma altura; não observados relativamente ao peso dos elementos.

⁴ JAGER SPECIFYING CATALOG. Jager Industries Press, 2001.

A eficiência destes elementos com este tipo de seção é comprovada em um estudo realizado em Massachusetts por FISETTE (2000), no nordeste dos EUA, onde a tentativa de comparação de custos entre a utilização das Vigas “T” e da madeira sólida foi comprometida pela impossibilidade do uso da madeira sólida com um espaçamento de 24” (\cong 61 cm) entre as peças, no vão determinado para o estudo; justamente a situação mais favorável para as Vigas “T”. Situações como estas se repetiam no dia-a-dia dos arquitetos e engenheiros projetistas, o que facilitou o crescimento e a consolidação no mercado destes elementos engenheirados, que apesar do custo unitário linear mais alto, representam economia dentro do desenho das estruturas como um todo.

Apesar de toda esta eficiência, assim como qualquer outro componente de madeira, estes elementos podem sofrer por falta de resistência ao fogo e a organismos xilófagos, a não ser que sejam devidamente tratados e protegidos (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999, p. 12).

Sabe-se que neste século, como no passado, a manutenção da integridade estrutural da madeira em incêndios é um ponto crítico para sua aceitação pelo mercado. Da mesma forma isto ocorre com os produtos engenheirados de madeira (WHITE, 1992, p. 63).

Diversos tipos e tamanhos de vigas “T”, fabricadas por grandes e pequenos produtores, estão disponíveis comercialmente no mercado norte-americano, todas tratadas quanto a resistência ao fogo e contra ataques de organismos xilófagos. Cada um destes tipos apresenta uma combinação diferente de materiais para as flanges e almas, mas todos podem e devem atender às imposições do Comitê Nacional da Construção em Madeira (KRYGIER; BARNECUT, 2002).

As vigas “T” são normalmente utilizadas em estruturas de pisos e telhados tendo seus cálculos bastante simplificados. Para o caso de vigas padronizadas existem tabelas prontas para utilização dos modelos pré-fabricados (KRYGIER; BARNECUT, 2002).

2.2.3 Padronização das Vigas “T”

A divisão de Produtos Engenheirados de Madeira da APA desenvolveu um programa de padronização denominado “Performance Rated I-joist (PRI)”, ou seja, vigas em “T” com performance controlada. Dentro desta classificação as vigas têm um limite de

deflexão para um determinado vão e precisam seguir padrões de produção rigorosos, atendendo às normas da ASTM (ENGINEERED WOOD ASSOCIATION, 2001).

FIGURA 3 – PADRONIZAÇÃO DE VIGA “T”



FONTE: FISETTE, P. In: Fine Homebuilding Magazine, n. 129, 2000.

2.3 AS FLANGES

As flanges podem ser tanto de madeira sólida como de compostos estruturais como o PLP e o PSL (“Parallel Strand Lumber” ou painel de partículas paralelas). A superior e a inferior devem ser iguais e seu dimensionamento nominal depende do material, espécie e outros fatores de cada um destes materiais (Ex.: tipo de resina) (ENGINEERED WOOD ASSOCIATION, 2001).

Mas a tendência com a escassez de toras de grandes dimensões, mudanças revolucionárias nas tecnologias de torneamento e de colagem, e o aumento crescente da demanda por produtos de madeira, que criaram tanto os problemas como as oportunidades, é o favorecimento da indústria de produtos laminados, que passou a contar com um apelo ambiental mais forte nos últimos anos, junto com o restante da indústria de materiais reconstituídos de madeira (BALDWIN, 1995, pág. 21).

A importância das flanges recai sobre o fato de elas constituírem os dois extremos das alas da seção, que são os dois pontos que sofrem a maior parte das tensões proporcionadas pelas cargas incidentes, na extremidade superior recai a maior taxa de compressão e na inferior a de tração (FISETTE, 2000).

2.4 A ALMA

A alma deve ser constituída de painéis estruturais, como é o caso do compensado e do OSB, que devem estar classificados como de Exposição 1 ou Exterior e serem mais

esessos que 3/8” (9 mm), segundo normas de padronização destes materiais. Todas as vigas devem ser confeccionadas com a colagem por adesivos de uso exterior, resistentes a umidade e com alto grau de polimerização, como a fenol-formaldeído ou a resorcinol-formaldeído, a mais indicada para estes usos também por sua capacidade de cura a frio (ENGINEERED WOOD ASSOCIATION, 2001).

O posicionamento vertical da alma é responsável pelo alcance da altura na viga, dos fatores de maior importância na relação entre as dimensões e a resistência à deflexão e outras variáveis. Tal importância fica evidente quando a altura, relacionada com a distância entre os pontos de ação e reação nos testes, basta para definição da dimensão do corpo de prova (ASTM, 1999 , p. 60). Este posicionamento também é responsável pela economia de material citada anteriormente.

Dentro da Associação de Painéis Estruturais do Canadá (SBA), não há restrições quanto ao uso de um ou de outro, tanto que não existem distinções dentro dos códigos, padrões, métodos de avaliação ou certificação entre o OSB e o compensado de construção. As normas PS2-92 (“Performance Standard for Wood-based Structural-use Panels) dos EUA e CSA 0325-92 (“Construction Sheathing”) do Canadá, estabelecem para ambos os materiais as mesmas exigências para durabilidade, medindo as tensões de flexão retidas sob condições cíclicas de exposição ao tempo seco e úmido (STRUCTURAL BOARD ASSOCIATION, 2003).

A matéria-prima utilizada na fabricação de ambos é gerada diretamente a partir do corte de toras. Neste sentido o OSB leva vantagem, porque as toras para geração das partículas “strand” não precisam responder a requisitos como diâmetro e forma, necessários para laminação. A desvantagem do OSB se apresenta quando se trata da espécie desta matéria-prima, que por razões de formação dentro do processo não pode possuir densidade muito alta, o que não ocorre com o compensado (STRUCTURAL BOARD ASSOCIATION, 2003).

Tanto o OSB como o Compensado CDX (com lâminas classe C é destinado à construção) são classificados com o nível “I” de exposição. Isto significa que eles são capazes de resistir à exposição à umidade e às variações do tempo durante uma obra e o retardo desta; e de compor estruturas em que são exigidas por longos períodos de duração, sob o efeito de cargas (STRUCTURAL BOARD ASSOCIATION, 2003).

2.5 O PAINEL DE LÂMINAS PARALELAS

2.5.1 Aspectos gerais

SCHAFFER⁵ *et al.* (1972), citados por PIO (2002, p. 41), apontam o trabalho de LUXFORD⁶ como o início do processo de construção dos painéis de lâminas paralelas coladas. Em 1940 iniciou-se a produção de peças de lâminas de madeira com alta resistência para construção de estruturas em aviões. No início da década de 70 a pesquisa em torno do PLP procurou definir os efeitos das variáveis do processo na obtenção de lâminas com espessuras superiores a 12,7 mm. Apenas nos anos 90 que se constatou uma diminuição das espessuras das lâminas para 3,2 a 2,5 mm, que passam a ser prensadas com calor e coladas com resina fenol-formaldeído (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999, p. 11-2).

2.5.2 Vantagens dos Painéis de Lâminas Paralelas

A primeiro a se considerar quando se fala em vantagens do PLP, que surgiu como substituto para madeira sólida em estruturas, é que ele é um composto de madeira reconstituída, e que por isso, pode ser produzido para atingir dimensões dificilmente alcançadas por sua concorrente.

As vantagens do PLP listadas por PEASE⁷ (1994, apud MATOS, 1997, p. 38) em comparação a madeira sólida, foram:

- a) Maior resistência – A estrutura reconstituída dos painéis os torna mais estáveis. Um processo de classificação das lâminas pode conferir propriedades de resistência que podem ser calculadas com precisão.
- b) Flexibilidade dimensional – Os painéis podem ser fabricados com qualquer largura e comprimento desejados. Além disso podem ser produzidos em curva.
- c) Utilização de grande variedade de espécies e tamanhos de toras – As mais utilizadas são as coníferas. Nos EUA é mais comum o uso de espécies como o *Douglas fir* e os “Southern Pines”.

⁵ SCHAFFER, E. L. et al. Press-lam process: fast efficient conversion of logs into structural products. **Forest Products Journal**, Madison, v. 22, n. 11, p. 11-18, 1972.

⁶ LUXFORD, R. F. **Strength of glue-laminated spruce made up of rotatory veneers.** Madison, WI: United States Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1944, 30p.

⁷ PEASE, D. A. Panels: products, applications and production trends: A Special Report From: Wood Technology. Miller Freeman, 1994. 225 p.

2.5.3 Aspectos técnicos da produção e usos do PLP

As lâminas para a fabricação do PLP devem ser cuidadosamente selecionadas para que o produto atinja as propriedades desejadas. Esta seleção é frequentemente efetuada através de testes por ondas ultra-sônicas (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999, p. 11-2). TAMMELA (1998, p. 162) coloca que desta forma estruturas de PLP fabricadas com madeiras de classes estruturais mais baixas podem substituir aquelas produzidas com madeiras sólidas de classes mais elevadas e de maior custo. Também o PLP, como outros materiais compostos, permite uma maior versatilidade no dimensionamento das estruturas que podem ter comprimentos, larguras e alturas muito maiores que a madeira sólida através da junção das lâminas, além da maior possibilidade de encurvamento.

O processo de produção do PLP se assemelha ao do compensado, podendo ser descontínuo ou contínuo, este último mais limitado graças ao alto investimento requerido neste caso. Apesar desta semelhança seus usos são mais direcionados para sustentação de grandes cargas em batentes de vãos e demais tipos de vigas.

TABELA 3 – PRINCIPAIS USOS DE PAINÉIS DE LÂMINAS PARALELAS

Industrial	Construção de casas	Outros
§ Tesouras de vão amplo	§ Todos os sistemas de forros	§ Componentes de móveis
§ Casas pré-fabricadas	§ Vigas e peças principais	§ Colunas decorativas estruturais
§ Formas de concreto	§ Vigas estruturais	§ Corrimão de escadas
§ Assentos de estádios	§ Sistemas de coberturas	§ Cruzetas e partes de torre de postes
§ Carrocerias e revestimentos para caminhões e vagões		
§ Revestimentos de containeres de cargas		
§ Estruturas de palanques e andaimes		

FONTE: VLOSKY⁸ *et al.*, (1994 apud, MATOS, 1997, p. 45) (Adaptado)

⁸ VLOSKY, R. P. *et al.* Laminated veneer lumber: A United States market overview. **Wood and Fiber Science**. Madison, v. 26, n 4, p. 456-466, 1994.

2.6 O COMPENSADO

2.6.1 Aspectos gerais

O compensado da mesma forma que o PLP é um painel constituído por lâminas de madeira, mas que neste são dispostas perpendicularmente umas às outras, ao invés de paralelamente. Historicamente, indícios apontam a fabricação de compensado no Egito datando de 1500 A.C., de quando desenhos demonstram a colagem de folhas de madeira sendo coladas com algum tipo de adesivo animal. Nos EUA o uso do compensado começou em 1830 por uma indústria de pianos. A partir deste momento pesquisas se desenvolveram no sentido de mecanizar o processo de fabricação destes painéis; em 1840 foi patenteado o primeiro torno, mas um potencial industrial satisfatório destes equipamentos só foi alcançado com o surgimento da primeira faqueadeira em 1875 (MCDONALD⁹, apud SELLERS Jr., 1985, pag. 5).

A industrialização da madeira, incluindo a produção de compensado, no Brasil teve como base, inicialmente, as reservas florestais naturais da Floresta Atlântica e da Floresta com Araucária das regiões Sul e Sudeste. Mas o panorama já era outro ao final da década de setenta, com o amadurecimento das florestas plantadas no Sul e Sudeste, e a exploração extensiva da Amazônia (FONTES¹⁰, 1990, apud DELESPINASSE, 1995, p. 4).

Registros apontam a introdução do compensado no Brasil por volta de 1928 e 1945, respectivamente nos estados de São Paulo e Paraná (PALMA, 1994, p. 6).

Em 1981, a Revista BRASIL MADEIRA, referenciada por DELESPINASSE (1995, p. 4), já apontava as potencialidades do uso do Pinus na produção de compensado multilaminado.

A nova tendência fez com que o consumo de lâminas originárias da Amazônia para produção de compensado no Sul e Sudeste, em valores aproximados, ficasse em torno de 60%, e a quantidade exportada passasse a 90% (FONTES, 1990, apud DELESPINASSE, 1995, p. 4).

⁹ McDONALD, C. E. The hardwood plywood story, Automation in Housing/Systems Building News, 77 (9-10): 49, 61, 1977.

¹⁰ FONTES, P. J. P.; LISBOA, C. D. J.; PASTORE, T. C. M. Pesquisa em tecnologia de produtos florestais no Brasil: visão geral e perspectivas. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO. 1., 1990, Campos do Jordão. *Anais...* Campos do Jordão, SP, SBS/SBEF, 1990, p. 123-129.

SILVA, em 1987, demonstrou entre outros fatores, a grande participação da matéria prima no custo total da fabricação de compensado no Estado do Paraná, como pode ser observado na tabela abaixo.

TABELA 4 – PARTICIPAÇÃO DOS ITENS DE CUSTO NA INDÚSTRIA DE COMPENSADOS

ITENS DE CUSTO	%
CUSTO VARIÁVEL	
Madeira	72,41
Cola	5,68
Insumos	6,16
Armazenamento	0,98
CUSTO VARIÁVEL MÉDIO	85,22
CUSTO FIXO	
Administração	1,27
Terreno	1,39
Mão-de-obra	6,51
Equipamentos	1,53
Edificações	4,09
CUSTO FIXO MÉDIO	14,78
CUSTO TOTAL MÉDIO	100,00

FONTE: SILVA¹¹ (1987, apud DELESPINASSE, 1995, p. 11)

2.6.2 Aspectos técnicos e de fabricação

O conceito de Madeira Laminada abrangia outros tipos de materiais que hoje possuem classificação própria, no caso os painéis de face laminada com miolo de painéis de partículas, fibras ou madeira sólida ("blockboards"). Mas a Organização Internacional de Padrões (ISO) a partir de meados da década de 80 separou a Madeira Laminada em dois grupos: o dos Painéis Laminados e o dos Painéis Compostos (SELLERS Jr., 1985, pag. 4).

¹¹ SILVA, J. C. G. **Análise da eficiência econômica de indústrias de compensados do Estado do Paraná**. Curitiba, 1987, 143 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

As lâminas são camadas finas de madeira torneada ou faqueada, normalmente entre 0,3 a 6,3 mm de espessura de acordo com a classificação da ASTM¹² (1982, apud SELLERS Jr., 1985, pag. 1).

A PRF/APA¹³, citada por SELLERS Jr. (1985, p. 13), confirma que, a exemplo da madeira sólida, as lâminas de madeira na maioria das espécies são mais rígidas no sentido da grã que perpendicularmente a ela; e que com a alternância em 90° entre cada camada do compensado, muitas propriedades de resistência são favorecidas com o balanceamento das forças, dentro do conceito da anisotropia.

Tecnicamente o compensado deve apresentar simetria estrutural em relação ao seu plano central. Desta forma, as lâminas opostas e equidistantes a este plano devem possuir as mesmas propriedades físicas, mesmas dimensões e mesma orientação da grã. Sobre esta teoria implica a necessidade de um número ímpar de camadas, que define o compensado balanceado (BODIG & JAYNE¹⁴, 1982, apud PALMA, 1994, p. 4).

O compensado dentro do grupo dos painéis laminados possui suas normas registradas junto ao Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, o INMETRO; e no Brasil ele pode ser classificado conforme TOMASELLI¹⁵ (1988) e IBDF¹⁶ (1985), citados por DELESPINASSE (1995, pág. 7), em:

a) Compensado de uso geral:

Definido como chapa de madeira compensada, multilaminada, na qual o adesivo empregado na fabricação a limita ao uso interno. É muito comum na indústria moveleira.

b) Forma de concreto:

Neste o adesivo utilizado não compromete o nível de exposição dos painéis, permitindo que estes sejam empregados na construção civil em contato com a água em formas de concreto.

¹² AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard definitions of terms relating to adhesives, ASTM D907-82:253, Philadelphia, Pa, 1982.

¹³ PLYWOOD RESEARCH FOUNDATION. Procedimentos: “PRF/APA Hardwood Utilization Task Group Meeting”, Janeiro de 1984.

¹⁴ BODIG, J.; JAYNE, B. A. **Mechanics of wood and wood composites**. New York, Van Nostrand Reinhold, 1982.

¹⁵ TOMASELLI, I. Incentivos e restrições às exportações do setor florestal – madeira compensada. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE ECONOMIA FLORESTAL, 1., 1988, Curitiba. **Anais**. Curitiba, EMBRAPA, CNPF, 1988. p. 307 – 321.

¹⁶ IBDF. **Norma de controle de qualidade e classificação de compensados**. Brasília, 1985.

c) Compensado decorativo:

São chapas que recebem uma camada superficial de um material decorativo padronizado, que pode ser uma lâmina de madeira, pintura, papel de acabamento (“finish foil”), filme melamínico, entre outros.

d) Compensado industrial:

Com possibilidades amplas de aplicação é bastante destinado à fabricação de embalagens. Não possui restrições em termos de aparência nem quanto ao adesivo empregado, dependendo da finalidade.

e) Compensado naval:

São chapas classificadas como de uso exterior, com alta resistência mecânica e alta exigência em sua qualidade. Destina-se a aplicações de exposição extrema, como por exemplo, a construção naval.

Junto com o compensado industrial é o padrão que mais se aproxima do objeto utilizado para este estudo, que busca um produto com especificações que atendam ao nível de exigência das cargas a que este deve ser submetido.

2.6.3 Compensado em estruturas

O conceito original do compensado, um painel de lâminas coladas perpendicularmente que foi concebido com o propósito de constituir superfícies de maiores dimensões para fins decorativos, gerou espontaneamente uma série de outros benefícios para com as propriedades mecânicas desse material, quando comparado com a madeira sólida (SELLERS Jr.¹⁷, apud SELLERS Jr., 1985, pág. 13)

O uso do compensado em estruturas depende de sua resistência, da durabilidade da adesão e das propriedades da madeira. Ele revolucionou a indústria de construções leves, podendo fazer a composição da base para o piso, "decks" e paredes. Nos EUA e Canadá, onde é mais comum o uso do compensado para estes fins estruturais, o painel é produzido com madeiras de menor densidade, normalmente de coníferas (SELLERS Jr., 1985, p. 12).

¹⁷ SELLERS Jr. Plywood, In: Encyclopedia of Materials Science and Engineering. M.B. Beaver, Pergamon Press, Londres Inglaterra, 1985.

SELLERS Jr. (1985, p. 12) expõe também outros usos estruturais do compensado, mais comuns e conhecidos no Brasil, como em formas para concreto, materiais esportivos, mostruários comerciais, placas publicitárias, construções navais, na composição de móveis e autopeças, entre outros artefatos.

2.7 O PAINEL “OSB”

2.7.1 Aspectos gerais

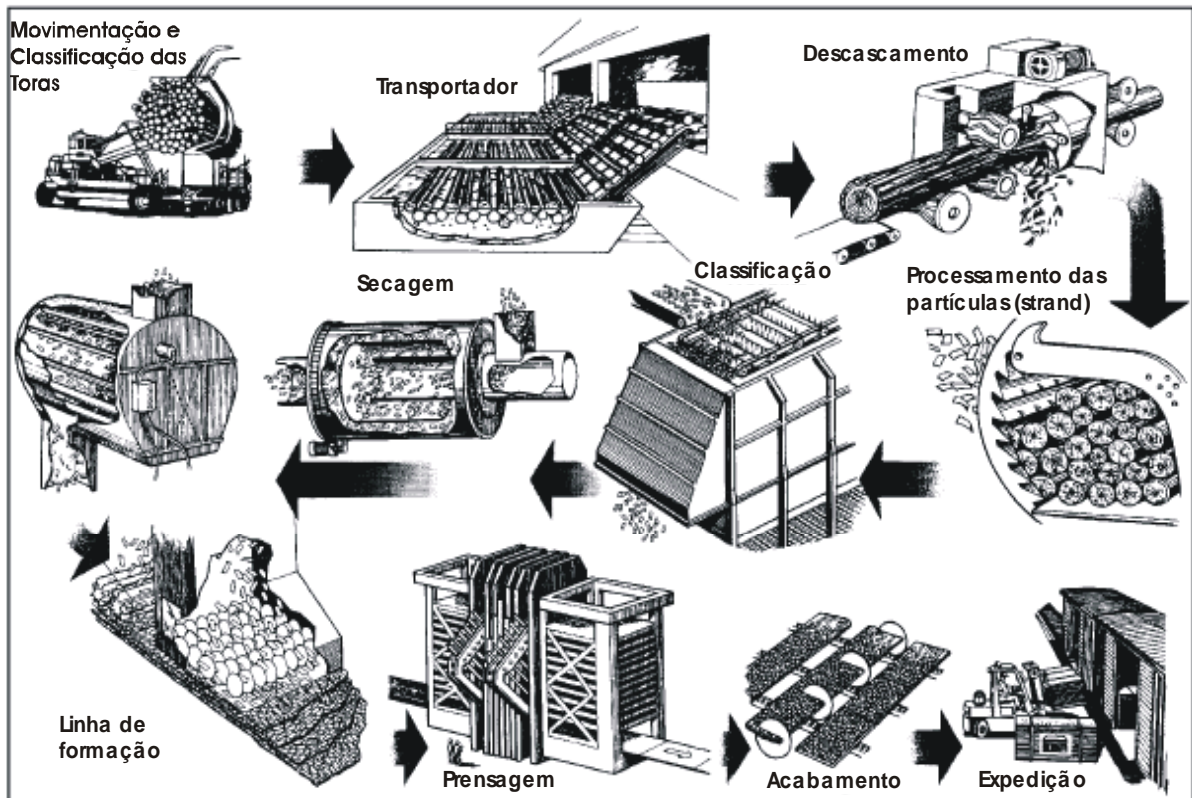
O “oriented strand board”, também chamado de “OSB”, ainda pouco conhecido no Brasil, é próprio para aplicações na indústria, principalmente a de embalagens e moveleira, e no setor da construção civil. É formado por partículas finas e compridas orientadas paralelamente e dispostas em camadas perpendiculares entre si na espessura do painel. Este painel pode ser formado por três ou mais camadas, dependendo do uso final. E como possui características estruturais, o adesivo a ser utilizado na sua fabricação deve ser resistente à umidade e a ebulição, eliminando eventuais problemas mecânicos e de emissões químicas.

Sua crescente popularidade nos Estados Unidos da América e Canadá no início dos anos 80, acarretou um grande aumento na sua produção. Rapidamente o “OSB” vem se tornando o painel estrutural dominante nestes países. As primeiras plantas para produção de “OSB” foram desenvolvidas no final da década de 70, e em 1999, mais de 250 milhões de painéis de tamanho padrão (1,22 X 2,44 m) foram utilizados na construção e na indústria. Nos últimos três anos, novas unidades para produção de “OSB” expandiram consideravelmente o mercado na América do Norte (ALBUQUERQUE, MENDES, PIO, 1999, p. 15).

2.7.2 Parâmetros de produção

Dentre os parâmetros controlados no processo de fabricação do “OSB” estão: a densidade do painel, geometria e orientação das partículas, proporção miolo/superfície, conteúdo de umidade das partículas, conteúdo de resina, conteúdo de parafina, tempo de fechamento da prensa (quando descontínua), e o tempo de prensagem. Alguns destes parâmetros devem ser controlados individualmente para as camadas do miolo e da superfície (ALBUQUERQUE, MENDES, PIO, 1999, p. 28).

FIGURA 4 – ESQUEMA DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DO OSB



FONTE: FOREST PRODUCTS LABORATORY (1999, p. 10-14)

2.7.3 Aspectos técnicos e usos do “OSB”

As partículas das camadas externas do colchão são alinhadas paralelamente à direção de formação e as das camadas seguintes seguem alinhadas perpendicularmente às anteriores (CLOUTIER, 1998, p. 173).

LAUFENBERG, membro do “USDA Forest Service”, em 1992 (p. 47) reverenciava o potencial dos compostos de madeira em estruturas e ao mesmo tempo colocava as limitações tecnológicas existentes nos produtos compostos mais antigos. Percebe-se que se referia principalmente aos laminados, utilizados também em grandes quantidades nas estruturas, porque exigem um recurso em matéria prima cada vez mais escasso, do ponto de vista físico e econômico.

Em trabalho apresentado em 2001, PRITCHARD *et al.* destacam a importância do tratamento repelente de água em chapas de OSB. Nestes estudos eles constataram grande diminuição das propriedades de resistência quando submeteram as chapas a umidades relativas de 65 e 85%.

O OSB pode ser usado para quase todas as finalidades a que são destinadas as demais chapas de partículas e compensados. Deve-se sempre lembrar, que as chapas OSB, em comparação ao compensado, se expandem mais quando expostas diretamente à chuva forte ou à alta umidade relativa por longos períodos. Desta forma, o uso se limitaria a construções internas. Contudo, segundo os produtores, é um produto que pode ser destinado a qualquer uso final.

De acordo com JANSSENS (1998, p. 171), os usos mais frequentes atualmente são:

- alma para vigas;
- forro para telhado;
- base para paredes e pisos em construções residenciais;
- empacotamento e gradeamento;
- “pallets” para estocagem a seco;
- “stands” para exibição;
- armações para mobília;
- assento e encosto de cadeira;
- tampos de mesas industriais;
- painéis de paredes decorativas;
- miolo para composto em pisos de madeira nobre;
- piso acabado;
- tapumes e divisórias;
- formas para concreto;
- “decks” e plataformas;
- carrocerias de caminhões;
- móveis;
- painéis de apoio estrutural;
- painéis isolantes;...

2.8 A MADEIRA DO *Pinus taeda* L.

Dentre os fatores favoráveis ao uso da madeira na construção civil, quando comparada com outros materiais estruturais, estão: a disponibilidade ante a renovabilidade do recurso, o baixo custo proporcionado por sua leveza nas estruturas, seu tempo reduzido de montagem e sua excepcional resistência relativa a seu peso (NATIONAL COMMITTEE ON WOOD UTILIZATION, 1929, p. 1).

No sul do Brasil, atualmente, a disponibilidade de matéria prima para indústria vem sendo discutida. Há muita divergência acerca de qual a extensão do estoque atual e quanto deve ser plantado para continuidade do abastecimento de uma demanda crescente. De acordo com MATOS (1997, p. 2), praticamente unânime, é que estes recursos para o abastecimento da indústria recaem basicamente sobre os plantios de espécies exóticas.

Este cenário deve se manter, devido a disposição dos produtores que se vêm estimulados pelas excelentes taxas de desenvolvimento que estas espécies exóticas encontram em nossas condições, pelas pesquisas intensivas, que em consequência disto são atribuídas a elas e finalmente pela extensiva promoção destas espécies em virtude de seus benefícios ambientais, como a redução da pressão sobre as espécies nativas e grandes áreas certificadas e em fase de certificação quanto ao seu padrão no regime de manejo.

O *Pinus taeda* L. originário principalmente das florestas do sul do continente norte-americano, onde com outras espécies é conhecido comercialmente como “Southern Pine” (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1955, p. 30), não é diferente de outras espécies cultivadas, que por sua vez diferem quando em suas florestas naturais (MATOS, 1997, p. 4).

Seu excelente desenvolvimento em nossos plantios teve muito destaque, o que determinou o ritmo acelerado de produção, principalmente durante os incentivo da década de sessenta. No entanto, a este crescimento espantoso, foram atribuídos alguns sintomas problemáticos de sua madeira, do ponto de vista tecnológico. Estes acontecimentos vieram a incentivar mais tarde diversos estudos, como os de TOMASELLI¹⁸ (1979), MUÑIZ¹⁹ (1993) e LUCAS²⁰ (1997), citados por MATOS (1997, p. 4), que visavam a caracterização das propriedades físicas e mecânicas da madeira do *Pinus taeda* L.

Alguns dos defeitos presentes no *Pinus taeda* L. que podem se constituir em problemas na fabricação do PLP, por exemplo, e que por este motivo estimulam a pré-classificação das lâminas, são segundo TAMMELA (1998, p. 162): densidades muito baixas, suscetibilidade aos ataques de xilófagos, os nós e a rugosidade excessiva e demais problemas na superfície. A densidade média do *Pinus taeda* L. plantado no Paraná se torna mais adequada somente aos seus 30 anos de idade (MATOS, 1997, p. 7). Quando isto não ocorre, verifica-se a necessidade de uma seleção pelo lenho adulto que possui densidades médias mais elevadas. MUÑIZ (apud MATOS, 1997, p. 4), em 1993, comprovou que a porção central do tronco do *Pinus taeda* L., com diâmetro aproximado de 10 cm, apresentou baixa massa específica e baixas resistências à flexão estática e à compressão paralela à grã.

TABELA 5 – VALORES DA MASSA ESPECÍFICA DE *Pinus taeda* L. COM 18, 21 E 30 ANOS DE IDADE NOS ESTADOS DO PARANÁ E SANTA CATARINA (MATOS,1997).

Lenho	Massa Específica (g/cm ³)			
	18 anos ¹⁸	21 anos ¹⁹	30 anos ²⁰	EUA ²¹
Juvenil	0,436	-	0,460	-
Adulto	0,545	-	0,587	-
Média	0,490	0,413	0,523	0,510

¹⁸ TOMASELLI, I. **Aspectos Físicos da Secagem da Madeira de *Pinus Elliottii* Engelm. Acima de 100°C.** Curitiba, 2000. 185 f. Tese (Concurso Público ao Departamento de Engenharia e Tecnologia Rurais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

¹⁹ MUÑIZ, G. I. **Caracterização e desenvolvimento de modelos para estimar as propriedades e o comportamento na secagem da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. e *Pinus taeda* L.** Curitiba, 1993. 236 f. Tese (Doutor em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

²⁰ LUCAS, F. C. **Estudo da influência do teor de umidade e da massa específica aparente sobre a resistência, e a avaliação de algumas características visuais como indicadoras da qualidade das madeiras de *Pinus elliottii* Engelm e *Pinus taeda* L.** Curitiba, 2000. 185 f. Tese (Mestre em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

²¹ FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood Handbook:** Wood as na engineering material. Madison, WI: United States Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1987, 463 p.

2.9 A MADEIRA DO *Eucalyptus dunnii* MAIDEN

Sua ocorrência natural fica restrita à região nordeste de “New South Wales” e sudeste de “Queensland”, províncias australianas, onde o ambiente em que esta espécie se desenvolve se assemelha ao das regiões de melhor crescimento no Brasil (EMBRAPA²², apud ROCHA, 2000, p. 20). Com alguma resistência ao clima mais frio e tolerância à geadas menos severas em idades mais avançadas, o *Eucalyptus dunnii* Maiden vem sendo cultivado e considerado como alternativa satisfatória nas regiões orientais próximas à divisa entre os estados do Paraná e Santa Catarina, apresentando crescimento superior a outras 31 espécies em estudo realizado na região de Três Barras – SC e relatado por OLIVEIRA (1988)²³, citado por HIGA (1998, p. 6).

A madeira tem aparência semelhante a do *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, apenas mais esbranquiçada, podendo ter as mesmas utilizações. Os primeiros estudos visando seu aproveitamento para celulose e papel, foram altamente animadores, e com densidades médias superiores as do *E. grandis*, estimada aos 8 anos de idade em torno de 0,482 g/cm³ (HIGA, 1998, p. 6), ela se apresenta como uma das alternativas para utilização em elementos estruturais, pisos, carrocerias, cabos para ferramentas e outras condições mais exigentes quanto a resistência, segundo colocações de CALORI e KIKUTI²⁴, citados por ROCHA (2000, p. 20).

SEVERO (1998, p. 156), concluiu que esta espécie possui um grande potencial para utilização de sua madeira, principalmente devido a suas propriedades mecânicas, embora apresente problemas de secagem na forma de madeira sólida, a exemplo das demais espécies do gênero.

²² EMBRAPA. Ministério da Agricultura – Programa Nacional de Pesquisa de Florestas – PNPf (EMBRAPA/IBDF). Zoneamento ecológico para plantios florestais no estado do Paraná. Curitiba, 1986.

²³ OLIVEIRA, J. G. Programa de melhoramento de *Eucalyptus* spp. na Rigesa. In: SIMPÓSIO BILATERAL BRASIL-FINLÂNDIA SOBRE ATUALIDADES FLORESTAIS, 1988, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UFPR, 1988. p.155-161.

²⁴ CALORI, J. V.; KIKUTI, P. Propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus dunnii* aos 20 anos de idade. In: EUCALYPTS: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALYPTS, 1997, Salvador. p. 321-326.

2.10 CARACTERÍSTICAS DA RESINA FF (FENOL-FORMALDEÍDO)

A resina fenol-formaldeído é largamente utilizada como adesivo termo-estável em produtos compostos de madeira para uso exterior. O peso molecular desta resina é razoavelmente alto e, se estabiliza na superfície da madeira, desenvolvendo uma liga resistente a água, durável, rígida e forte. O processo de cura desta resina pode ser descrito pela conversão de pequenas moléculas para grandes moléculas, pelo processo de polimerização, ramificação da cadeia e ligações cruzadas (“crosslinking”), o que finalmente resulta numa rede tridimensional de peso molecular tendendo ao infinito (PROVDER, 1989).

Durante a prensagem à quente do painel “OSB”, a resina sofre uma reação de polimerização com ela própria e reação química com a madeira sob várias temperaturas e umidades relativas do colchão prensado. Desde que estas condições variam da camada externa para a interna, a resina FF empregada deve ser adaptada para estas condições variáveis. Dentro de certos limites, de modo geral, um aumento na temperatura de prensagem, leva à um aumento na resistência da ligação. Entretanto, a temperatura alcançada na camada interna, durante a prensagem à quente, é um fator limitante na produção de “OSB” e, certamente, a temperatura na camada interna é muito mais baixa do que a alcança na superfície da chapa. As resinas FF possuem uma cura mais lenta do que as resinas UF, e requerem uma temperatura de prensagem mais elevada.

Para a cura da resina, na camada interna da chapa, é necessária uma temperatura de, pelo menos, 120°C. Contudo, para isto os pratos da prensa precisam atingir temperaturas entre 210 e 220°C, a fim de que a temperatura necessária para camada interna da chapa seja alcançada em um período de tempo razoável. Por conseguinte, a resina utilizada na camada interna deve possuir um tempo de cura muito mais curto em relação à da superfície, para compensar a menor temperatura alcançada. Isto é levado em consideração na produção de OSB, com a utilização de resinas FF de diferentes velocidades de cura para camadas externas e internas.

2.11 CARACTERÍSTICAS DA RESINA RF (RESORCINOL-FORMALDEÍDO)

Com uma pequena mudança em relação à resina fenólica, a adição de um oxigênio ao núcleo benzênico, formando uma nova hidroxila, provoca alterações profundas na reação do composto e principalmente nas propriedades de solidificação. A resina tem sua cura em temperatura ambiente. Este processo de adição do oxigênio, que exige muitas reações químicas e tratamentos físicos, no entanto, não é muito simples, o que resulta em um composto de custo muito elevado e de alta reatividade, exigindo cuidados adicionais. Um destes cuidados envolve a produção da resina com deficiência do grupo metilol, o que interrompe a polimerização tornando a resina mais estável. Desta forma a resina se constituirá completamente apenas durante seu preparo para o uso. Neste preparo é adicionado o formaldeído, antes ausente, na forma de um endurecedor, mas para haver um melhor controle também durante a operação de colagem, pode ser utilizado o paraformaldeído, que é menos reativo. Outro cuidado a ser tomado no preparo da resina é o processo exotérmico da reação. A geração do calor pode acelerar a cura e requer um método de resfriamento em muitos casos. Isto torna difícil, entre outros aspectos, a previsão da vida útil em panela da resina (MARRA, 1992, p. 84).

A reação do resorcinol com o formaldeído depende do raio molar dos dois constituintes, da concentração da solução, da temperatura, do pH, da presença de catalisadores e da quantidade de alguns álcoois presentes, que podem agir como retardadores, como por exemplo o metanol e o etanol. Este retardamento se dá pela formação de hemiformois na reação entre o álcool e formaldeído, que nestas condições se encontra livre em menores quantidades (PIZZI, 1983, p. 139).

Nos aspectos que dizem respeito às propriedades da resorcina não há no que se opor ao seu uso, sendo ela até superior à resina fenólica quanto a sua resistência a umidade, outros fatores, e sua classificação para usos exteriores e estruturais. Mas suas principais vantagens para este caso recaem na possibilidade de se juntar elementos grandes demais para haver transferência de calor e de pressão igualmente em toda peça e de evitar a necessidade do pré-aquecimento de seus componentes.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MADEIRA DE *Pinus taeda* L.

A madeira utilizada na produção das chapas de compensado e PLP foi proveniente do Município de Rio Negrinho, no Estado de Santa Catarina, próximo à divisa com o Estado do Paraná. A espécie foi escolhida atendendo as propostas do projeto de proporcionar o uso de madeiras exóticas de reflorestamentos, e de grande disponibilidade.

3.1.1 Obtenção das lâminas

As lâminas foram obtidas de toras pré-aquecidas, o que ajuda na limpeza da casca evitando o desgaste da faca do torno. As lâminas para a confecção do PLP foram retiradas com espessura de 3,2 mm; já as lâminas destinadas para produção do compensado foram torneadas com 2,2 mm. Depois de serem secas até uma umidade em torno de 6 a 8%, foram classificadas visualmente quanto à presença de defeitos (classe C) e à proporção na quantidade de anéis outonais, sendo favorecidas aquelas retiradas do lenho adulto. Foram necessárias 55 lâminas para fabricação das 5 chapas de PLP, e outras 25 lâminas para fabricação das 5 chapas de compensado, que seriam utilizadas na montagem das vigas. Todo o processo, exceto a classificação, seguiu o procedimento normalmente adotado pela indústria, como foi a proposição do trabalho.

Depois de pré-aquecidas por no mínimo 5 horas à uma temperatura de $80 \pm 15^{\circ}\text{C}$, as toras seguiram para os tornos. Do mais longo, um Cremona italiano com fusos pneumáticos duplos com comprimento de laminação de 2,65 m, saíram as lâminas com largura de 1,35 m depois de guilhotinadas, que foram utilizadas na fabricação do PLP (3,2 mm) e do compensado (2,2 mm). Do torno curto, da Fezer, com comprimento máximo de laminação de 1,50 m, saíram as lâminas de 1,30 m X 1,30 m X 2,2 mm de espessura, que compuseram as contra-faces dos compensados.

3.1.2 Secagem das lâminas

As lâminas seguiram para o secador Omeco constituído de quatro linhas contínuas, com fluxo cruzado e controlado corretivamente por um sistema “*Dry Chain*” da Elliott Bay de medição de umidade na saída das linhas. A temperatura em torno de 140 a 150°C e a

velocidade que varia de acordo com a espessura foram reguladas para se chegar a uma umidade de 6 a 8%.

FIGURA 5 – SISTEMA DE MEDIÇÃO DA UMIDADE NAS LÂMINAS



3.1.3 Classificação das lâminas

A classificação visual das lâminas seguiu primeiramente os critérios de qualidade adotados pela indústria e certificados pela ABINCI, separando as lâminas da classe C de acordo com as especificações exigidas no PNQM (Plano Nacional de Qualidade da Madeira). Destas lâminas, foram selecionadas aquelas com maior proporção de anéis outonais, que denotam maior proximidade com a casca, uma qualidade desejada na produção de PLP. Foram evitadas fileiras de nós pouco distanciados e defeitos na superfície que pudessem comprometer a colagem das chapas, como rugosidade excessiva e rachaduras de maior profundidade.

FIGURA 6 – LÂMINAS DE PINUS PRÉ-CLASSIFICADAS



Exemplo de lâminas descartadas por distância entre nós e rachadura de topo.



Exemplo de lâminas classificadas para produção dos painéis.

3.2 MADEIRA DE *Eucalyptus dunnii* MAIDEN

Da mesma forma que o Pinus., o Eucalipto foi escolhido para os mesmos compostos, PLP e compensado, atendendo a proposta do projeto de uso de espécies exóticas de plantios comerciais. Também por acreditar no potencial da espécie para composição na fabricação deste tipo de elemento, apostando na maior proximidade desta com a classe de resistência das coníferas norte-americanas, e pela grande disponibilidade do gênero a que ela pertence. A madeira é proveniente da região de Três Barras em Santa Catarina, também próxima ao Paraná.

FIGURA 7 – LÂMINAS DE EUCALIPTO UTILIZADAS PARA FABRICAÇÃO DOS PAINÉIS



3.2.1 Obtenção das lâminas

As lâminas foram obtidas de toras pré-aquecidas, o que ajuda na limpeza da casca evitando o desgaste da faca do torno. As lâminas para a confecção do PLP foram retiradas com 3 mm e as lâminas destinadas para produção do compensado foram torneadas com 2 mm de espessura. Depois de serem secas até uma umidade entre 6 e 10%, foram classificadas visualmente quanto à presença de defeitos. Foram necessárias 55 lâminas para fabricação das 5 chapas de PLP, e outras 25 lâminas para fabricação das 5 chapas de compensado. Neste caso, o processo também foi fiel às realidades da indústria, como proposto no trabalho.

Depois de pré-aquecidas por 8 a 12 horas a uma temperatura de 40 a 60°C, as toras seguiram para o torno Thoms e Benato. As lâminas longas foram guilhotinadas com 2,50 m X 1,40 m, e as curtas que saíram do mesmo torno tiveram que ser cortadas ao meio com 1,25 m X 1,40 m para formar as contra-faces do compensado.

3.2.2 Secagem das lâminas

No secador Omeco com fluxo cruzado, as lâminas foram secas sob uma temperatura em torno de 150 °C e com velocidades que variaram de acordo com a espessura até chegarem a umidade desejada, entre de 6 e 10%.

3.2.3 Classificação das lâminas

Buscou-se fazer a classificação das lâminas sob os mesmos critérios de qualidade especificados para o Pinus, mesmo o Eucalipto não tendo estes critérios controlados por uma certificação, que ainda não existe para a espécie. As lâminas que apresentaram os mesmos defeitos observados no Pinus também foram desclassificadas.

3.3 RESINA FENOL-FORMALDEÍDO

Foi utilizada em sua constituição líquida e em quantidade equivalente a 50 kg para formulação dos 60 kg do adesivo a ser empregado na produção do PLP e do compensado. Além da resina, foram utilizados também: cerca de 5 a 6 kg de farinha de trigo, como extensor e mais 5 litros de água. A formulação, que é a mesma normalmente utilizada pela indústria, envolveu:

TABELA 6 – FORMULAÇÃO UTILIZADA NA INDÚSTRIA

Composição	Pinus (partes)	Eucalipto (partes)
Fenol-formaldeído	100	100
Água	10	10
Extensor	10-12	10-12

TABELA 7 – FORMULAÇÃO CONSTATADA EM REVISÃO

Composição	Pinus* (partes)	Eucalipto** (partes)
Fenol-formaldeído	100	100
Água	10	10
Farinha de trigo	10	10
Casca de coco em pó	2	2

FONTES: * MATOS (1997, p. 52) e ** PIO (2002, p. 59)

3.4 FABRICAÇÃO DO PLP E DOS COMPENSADOS

Os 10 painéis PLP produzidos: 5 de *Pinus taeda* L. e 5 de *Eucalyptus dunnii* Maiden com 11 camadas, ambos com 32 mm de espessura; e os 10 painéis compensados (5 de cada espécie) de 5 camadas e espessura de 9 mm; todos com 1,22 m de largura e 2,44 m de comprimento; tiveram as variáveis do processo determinadas pelo próprio fabricante, seguindo a proposição do projeto de se produzir elementos engenheirados a partir de matéria-prima proveniente de um processo contínuo aplicado naturalmente na indústria da Região Norte-catarinense.

3.4.1 Aplicação do adesivo

O adesivo foi aplicado nas 2 faces das lâminas pares por um aplicador de rolos calibrados para uma gramatura da linha de cola dupla de aproximadamente 420 g/m² para o Pinus e 400 g/m² para o Eucalipto, como é ilustrado na FIGURA 8.

FIGURA 8 – APLICADOR DO ADESIVO E MONTAGEM DAS CHAPAS



3.4.2 Prensagem

Depois de montadas, as chapas seguiram para uma prensa Omeco de alimentação e descarga manual e 30 aberturas. Os valores para as variáveis do ciclo de prensagem são apresentados a seguir:

TABELA 8 – VARIÁVEIS DA PRENSAGEM

Espécies	Variáveis	Pressão (kgf/cm ²)	Temperatura (°C)	Tempo de prensagem (min)	Tempo de fechamento*/ abertura da prensa
Pinus	PLP	9,2	135 ± 5	25	2'05''/ 2'05''
	Compensado	9,2	135 ± 5	9	2'05''/ 2'05''
Eucalipto	PLP	9,2	130 ± 5**	25	2'05''/ 3'***
	Compensado	9,2	130 ± 5**	9	2'05''/ 3'***

* O tempo de fechamento foi considerado do carregamento até a consolidação da pressão final.

** A temperatura foi diminuída e o tempo de abertura foi controlado manualmente no intuito de evitar o colapso, devido à maior propensão para formação de bolhas nas chapas de Eucalipto.

3.4.3 Acondicionamento e Dimensionamento

Depois do acondicionamento, as chapas foram esquadrejadas nas dimensões finais de 1,22 X 2,44 m, e calibradas até suas espessuras de 32 mm (PLP) e 9 mm (compensado) numa lixadeira. Ao final do processo de fabricação as chapas seguiram para expedição, seguindo os mecanismos usuais dentro do sistema original do fabricante.

FIGURA 9 – CHAPAS DE PINUS AGUARDANDO EXPEDIÇÃO.



3.5 FABRICAÇÃO DO OSB

O OSB de *Pinus* spp. com espessura de 9 mm produzido em Ponta Grossa no Estado do Paraná tem sua matéria-prima proveniente das florestas do fabricante e de terceiros em várias regiões do próprio estado e também de Santa Catarina. Essa matéria-prima segue dentro da indústria o processo identificado resumidamente na FIGURA X do item 2.7.2.

As toras são descascadas ainda no pátio, posteriormente são levadas aos "flakers" canadenses da CAE que as processam em partículas "strand" de 100 X 25 X 0,5 mm. As partículas primeiramente são secas e depois misturadas ao adesivo a base de resina PMUF, tratado com produtos contra agentes degradantes, depois se dirigem para as estações formadoras e orientadoras alemãs da Dieffenbacher, que formam o colchão com 100 a 400 mm de espessura; este sofre uma compactação na razão de 10:1, chegando a espessuras finais dos painéis de 6 a 50 milímetros. Este colchão segue para uma prensa contínua de 2,640 m de largura por 44 m de comprimento, em que é submetido a uma temperatura de 190 a 230°C e a uma pressão média de 3 MN/m² (30,6 kgf/cm²) exercida gradualmente por pistões seqüenciados.

Na saída da prensa as chapas são esquadrejadas por uma serra de deslocamento oblíquo que não impede o movimento contínuo da linha. Antes de serem armazenados, os Painéis de Partículas (tiras) Orientadas passam pela grade de acondicionamento, que tem seu temporizador programado de acordo com o produto.

3.6 RESINA RESORCINOL-FORMALDEÍDO

A resina Cascophen RS-216-M, fabricada pela Borden Química S.A., a base de resorcinol-formol, é a mais indicada para colagens a frio de elementos como estas vigas “I-joists”. Quando formulada a 20°C, a mistura da resina com o endurecedor em pó FM-60-M tem sua vida útil em panela resumida a pouco mais de 4 horas. Este tempo se reduz a 1 hora e meia se a temperatura for de 32°C. Outras características desta resina são:

TABELA 9 – CARACTERÍSTICAS DA CASCOPHEN RS216-M

Viscosidade (Brookfield, 2/30/25°C), cP	530-650
Teor de sólidos (1 g / 3 h / 105°C), %	53-58
Gel Time (21°C), horas (Resina+endurecedor)	3,5-6,0
pH (25°C)	6,9-7,5

FONTE – BORDEN (2002, p. 1)

3.7 FABRICAÇÃO DAS VIGAS “T” (“I-JOISTS”)

Uma quantidade em torno 2 kg do adesivo, responsável pela ligação dos compostos na produção das Vigas “T”, foram formulados e utilizados com a seguinte composição:

TABELA 10 – FORMULAÇÃO DO ADESIVO A BASE DE RF

Composição	Partes
Resorcinol-formaldeído (RS-216-M)	100
Endurecedor (FM-60-M)	20

FONTE – BORDEN (2002, p. 1)

A resina foi aplicada a uma gramatura de 400 g/m² em linha dupla. Além da gramatura, foram observados os seguintes aspectos durante a montagem das vigas (MATSUNAGA,1995):

- Umidade da madeira: segundo o fabricante, uma boa colagem se dá com uma umidade entre 8 e 14%.
- Espalhamento da cola: foi feito com o uso de um pincel nas duas superfícies a serem coladas, das almas e das flanges.

- Tempo de montagem: a resina requer um tempo mínimo de montagem, que nada mais é do que o tempo compreendido entre o espalhamento da cola até a aplicação da pressão. No entanto, este tempo não deve nunca exceder o tempo máximo de montagem, que é proporcional à temperatura, de acordo com a TABELA 11:

TABELA 11 – TEMPO MÁXIMO DE MONTAGEM EM MINUTOS

Temperatura ambiente, da madeira e da cola	20°C	26°C	32°C	38°C
Montagem aberta (superfícies expostas)	15'	10'	7'	5'
Montagem fechada (superfícies juntas)	60'	40'	25'	15'

FONTE - BORDEN (2002, p. 2)

- Prensagem a frio: a pressão exercida ficou em torno de 686,5 kPa (7 kgf/cm²); e o tempo mínimo de aplicação da pressão seguiu as recomendações do fabricante da resina, como expõe o quadro abaixo:

TABELA 12 – TEMPO MÍNIMO DE PRENSAGEM EM HORAS

Temperatura ambiente, da madeira e da cola	20°C	24°C	28°C	32°C
Tempo de prensagem	10 a 14	8 a 10	6 a 8	5 a 6

FONTE – BORDEN (2002, p. 2)

- Tempo requerido após a prensagem: de 8 a 10 dias em repouso em ambiente com temperatura preferencialmente acima de 20°C.

As 30 vigas foram produzidas pela colagem das flanges de PLP de *Pinus taeda* L e *Eucalyptus dunnii* Maiden com as almas de compensados das mesmas espécies e painéis OSB de *Pinus taeda* L. A prensagem foi feita por meio de mecanismos de barras roscadas sobre toda extensão das vigas, distantes não mais que 30 cm uns dos outros. Nos entremeios dos mecanismos de prensagem foram feitas amarras com tiras de aço tencionadas para que as vigas permanecessem prensadas durante a cura, que ocorre de 10 a 15 horas dependendo da temperatura entre 32 e 20°C. As vigas permaneceram amarradas por mais de 4 dias, aguardando os testes, conforme recomendação do fabricante do adesivo para estabilização do elemento.

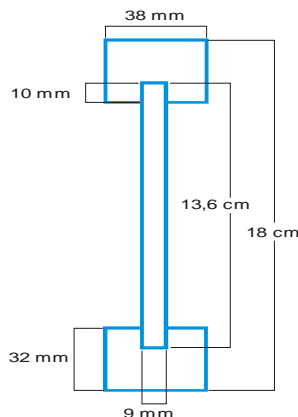
FIGURA 10 – Prensagem e amarração das vigas



As 60 flanges de comprimento (2,44 m) e espessura ($32 \text{ mm} = 1\text{-}\frac{1}{4}\text{'}$) iguais aos das chapas PLP foram cortadas com um largura de $1\text{-}\frac{1}{2}\text{'}$ ou 38,10 mm, e tiveram canaletas de largura igual a $\frac{3}{8}\text{'}$ ($\cong 9 \text{ mm}$) e profundidade de 10 mm feitas no centro de uma de suas faces. Para composição das 30 almas, as peças dos compensados e o OSB, foram cortados também com comprimento (2,44 m) e espessura (9 mm) iguais aos dos painéis e com largura de 13,6 cm ($\cong 5\text{-}\frac{3}{8}\text{'}$).

Ao final, As Vigas “I”, depois de coladas ficaram com 18,0 cm de altura ($7\text{-}\frac{1}{8}\text{'}$). As medidas da seção foram estabelecidas de acordo com os padrões para os testes determinados pelo “Wood Committee D7”, divisão de produtos de madeira da ASTM. A altura (h), que foi estabelecida em 5:1, conforme a relação (a/h), constante na normativa D198 (ASTM, 1994, p. 60), que deve ser de no mínimo 5:1 a no máximo 12:1, sendo “ a ” a distância entre os pontos de aplicação da força e os pontos de reação nos apoios das vigas durante os testes de flexão estática.

FIGURA 11 – DESENHO DA SEÇÃO DA VIGA



3.8 PLANO EXPERIMENTAL

Para este estudo foi proposta e executada a avaliação dos seguintes aspectos para constituição das hipóteses.

- a) A produção da matéria-prima para as vigas, ou seja, das chapas, obedeceu aos parâmetros de produção dos próprios fabricantes; tanto a dos compensados, como dos Painéis de Lâminas Paralelas e os Painéis de Partículas Orientadas.
- b) As chapas foram confeccionadas com dimensões que possibilitaram a produção de Vigas “I”, buscando-se atender as normas para os testes e os padrões da ASTM, organização reguladora, credenciadora e certificadora nos EUA.
- c) Os painéis passaram por testes preliminares antes da composição das vigas. Todos passaram por avaliações da resistência à flexão estática e da massa específica aparente, e os painéis que compuseram as almas (Compensados e OSB) foram testados também quanto à resistência a compressão perpendicular.
- d) As Vigas “I” foram produzidas no intento de se estabelecer um comparativo entre as variações das combinações entre as flanges e as almas, e desta forma procurar identificar a contribuição de cada um dos compostos na performance das Vigas, através da medição do MOE, MOR e da Deflexão.

3.8.1 Delineamento estatístico dos testes preliminares

3.8.1.1 AVALIAÇÃO DOS PAINÉIS COMPENSADOS E DO OSB

Os ensaios dos 3 componentes das almas (os Compensados das 2 espécies e o OSB) seguiram princípios iguais. Os objetivos principais dos ensaios foram:

- a) verificar o nível da qualidade das chapas de cada tipo, através das propriedades físicas e mecânicas mais relevantes em termos estruturais, levando-se em conta sua posição na composição das vigas;
- b) utilizando-se dos mesmos dados, evidenciar o nível de heterogeneidade entre os materiais, quando significativo, para poder desta forma estabelecer as comparações desejadas, inferindo-se sobre esta hipótese;
- c) possibilitar a verificação da existência, ou não, de relações entre as possíveis variações nas propriedades das repetições das chapas, com as das repetições das vigas.

Estas análises foram executadas com as medições da resistência à flexão estática, atendendo a normativa D3043-95, da resistência à compressão perpendicular, de acordo com a D3501-94, e da massa específica aparente das chapas, com a D2395-83; todas da ASTM.

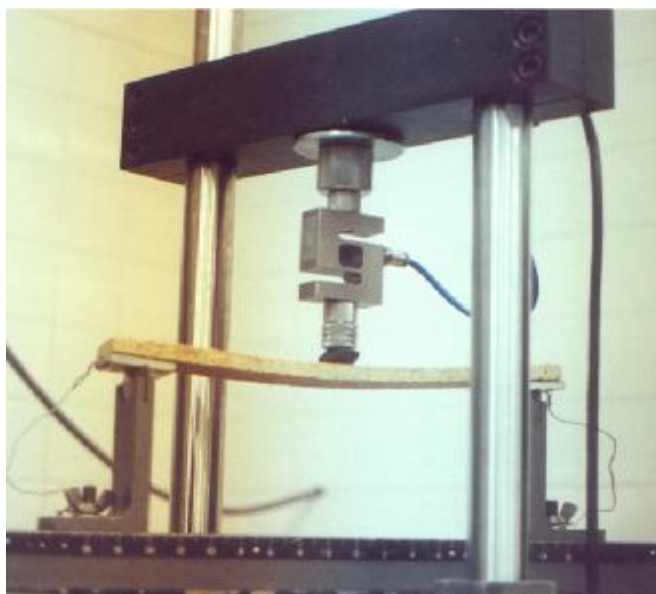
Seguindo as normativas D2395 (ASTM, 1983, p. 355) e D3043 (ASTM, 1995, p. 410), foram utilizados os mesmos corpos de prova para obtenção da massa específica e da resistência a flexão estática, com largura de 50 mm (para corpos com mais de 6 mm de espessura), 500 mm de comprimento (acima de 48 vezes a espessura mais 50 mm) e 9 mm de espessura. Foram retirados 10 corpos (5 paralelos e 5 perpendiculares à orientação das fibras) de cada uma das 15 chapas, perfazendo o total de 150, como mostra a TABELA 13.

TABELA 13 – DEMONSTRATIVO DO DELINEAMENTO PARA OS TESTES DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO ESTÁTICA E DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA

Tratamento	Composto	Posição	Repetições	Nº de chapas	Total
CP//	Compensado de Pinus	//	5	5	25
CP+	Compensado de Pinus	+	5		25
CE//	Compensado de Eucalipto	//	5	5	25
CE+	Compensado de Eucalipto	+	5		25
OSB//	OSB	//	5	5	25
OSB+	OSB	+	5		25
Número total de corpos de prova					150

- // - paralelo
- + - perpendicular

FIGURA 12 – ENSAIO DE FLEXÃO ESTÁTICA DOS PAINÉIS PLP



A massa específica aparente foi determinada pela pesagem e dimensionamento dos corpos de prova acondicionados e estabilizados com aproximadamente 12% de teor de umidade.

Para os testes de resistência à compressão perpendicular, de acordo com a norma D3501 da ASTM (1994, p. 442), os corpos de prova dos compensados e do OSB (9 mm) com mais de 6 mm de espessura devem ter largura de no mínimo 25 mm, não podendo ser menor

que a espessura, e comprimento de no máximo 7 vezes a dimensão da espessura. Sendo assim, os 75 corpos com comprimento de 60 mm e largura de 25 mm foram cortados como delineado na TABELA 14.

TABELA 14 – DEMONSTRATIVO DO DELINEAMENTO PARA OS TESTES DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PERPENDICULAR

Tratamento	Composto	Repetições	Nº de chapas	Total
CP	Compensado de Pinus	5	5	25
CE	Compensado de Eucalipto	5	5	25
OSB	OSB	5	5	25
Número total de corpos de prova				75

Os 75 corpos de prova tiveram sua seção determinada em medição da suas dimensões. Estes corpos permaneceram em câmara controlada por cerca de uma semana. Os ensaios de Compressão Perpendicular, seguiram os procedimentos descritos na D3501 da ASTM (1994, p. 442).

3.8.1.2 AVALIAÇÃO DO PLP

Os ensaios das duas espécies do PLP, ou LVL, que vieram a compor as flanges das vigas, foram objetivados da mesma forma que os componentes das almas. Para isto, buscou-se realizar os ensaios expondo o material aos esforços, na mesma posição em que se encontraria nas vigas, ou seja, com o plano de orientação das lâminas na horizontal.

A opção pelos testes de resistência à flexão estática deste caso seguiu as mesmas especificações utilizadas nas vigas, constantes na normativa D198 da ASTM (1994, p. 60). Sendo assim, os 50 corpos de prova, 25 de Pinus e 25 de Eucalipto (5 de cada painel), foram obtidos com seção de largura igual a 38 mm e altura de 32 mm, por um comprimento de 552 mm, sendo 452 mm do vão entre os apoios, atendendo a uma relação “*a/h*” de 7:1, com mais 10 mm se estendendo além destes.

TABELA 13 – DEMONSTRATIVO DO DELINEAMENTO PARA OS TESTES DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO ESTÁTICA

Tratamento	Composto	Posição	Repetições	Nº de chapas	Total
PLPp	PLP de Pinus	//	5	5	25
PLPe	PLP de Eucalipto	//	5	5	25
Número total de corpos de prova					50

As medições do Módulo de Elasticidade e do Módulo de Ruptura se deram por meio dos ensaios de flexão, que seguiram os parâmetros da norma D198 da ASTM (1994, p. 61).

3.8.2 Delineamento estatístico para o teste das Vigas “T”

Foram produzidas 30 vigas em 6 tratamentos de maneira fatorial 2 X 3, combinando-se os dois tipos de flanges com os três tipos de alma (TABELA 16); cada uma delas com 2,44 metros de comprimento e com seção de 38 mm de largura máxima X 18,0 cm de altura. De cada um dos 10 PLP's foi retirado apenas 1 par de flanges para cada repetição das 6 composições, ou seja, cada repetição tem seu par de flanges proveniente de uma chapa distinta; o mesmo ocorreu com os componentes das almas que tiveram apenas 1 peça retirada para cada repetição.

Os experimentos fatoriais incluem todas as combinações dos conjuntos de fatores. De acordo com YATES²⁵ (1935), citado por SILVA (1999, p. 205), os experimentos fatoriais são geralmente mais eficientes que os de delineamento simples.

SILVA (1999, p. 206) destaca como vantagens deste delineamento a possibilidade de generalização das conclusões e da combinação de quaisquer fatores, que podem ser testados individualmente e com suas interações.

O delineamento fatorial permite que os desdobramentos da análise dos fatores revelem o nível de variação de cada um desses fatores em relação ao outro.

²⁵ YATES, F. The design and analysis of factorial experiments. Imp. Bur. Soil. Sci. Tech. Comm. 35, 1937.

TABELA 16 – DEMONSTRATIVO DOS TRATAMENTOS DO DELINEAMENTO ESTATÍSTICO

Tratamentos	Flanges	Alma	Repetições
T1	<i>P. taeda</i>	OSB	5
T2	<i>P. taeda</i>	Comp. de Pinus	5
T3	<i>P. taeda</i>	Comp. de Eucalipto	5
T4	<i>E. dunnii</i>	OSB	5
T5	<i>E. dunnii</i>	Comp. de Pinus	5
T6	<i>E. dunnii</i>	Comp. de Eucalipto	5
Total de corpos de prova			30

3.8.2.1 AVALIAÇÃO DAS VIGAS

Estes elementos estruturais foram acondicionados em câmara de climatização a uma temperatura de 20°C e umidade de 65% até atingirem o equilíbrio.

Os procedimentos dos ensaios para avaliação das propriedades desejadas seguiram a norma D198 da ASTM. adotando-se delineamento fatorial de 1ª ordem, variando as duas espécies nas flanges com 1-1/2” ($\cong 38$ mm) de largura e 1-5/16” (33,34 mm) de espessura, e os três materiais das almas, totalizando uma altura das vigas de 9-1/2” (24,13 cm), conforme padrões mínimos estabelecidos. O comprimento total igual a 8’ (2,44 m) foi apoiado sobre uma distância de 2,24 m, dos quais 90 cm ($a/h = 5:1$) de cada lado separavam os apoios dos dois pontos de aplicação da carga, distantes 44 cm um do outro.

Os ensaios das Vigas foram realizados numa Tinius Olsen, onde foram estipulados os seguintes parâmetros:

- a) Carga máxima de 3 toneladas;
- b) Velocidade variando entre os tratamentos, para se atingir o tempo requerido próximo dos 10 min., este não podendo ser menor que 6 e maior que 20 min.;
- c) Vão entre os apoios de 224cm (L);
- d) Distância entre os apoios e os dois pontos de aplicação da carga de 90 cm (*a*);
- e) Deflexão medida no centro da viga na altura da linha neutra.

A Deflexão foi obtida diretamente através de um deflectômetro integrado ao equipamento de testes, que conferiu a flexão da viga, registrando 20 pontos por minuto, ou seja 1 a cada 3 segundos. Ela foi determinada no ponto em que ocorre a Tensão no Limite

Proporcional (τ_{LP}), que corresponde ao ponto de inflexão, onde a tangente abandona a curva que representa a relação entre a carga resistida e o deslocamento vertical no centro do comprimento do corpo de prova.

FIGURA 14 – ENSAIO DE FLEXÃO ESTÁTICA DAS VIGAS



O MOE das Vigas foi obtido através da equação sugerida na própria norma D198 utilizada para execução dos ensaios:

$$MOEa = \frac{P' a (3L^2 - 4a^2)}{4hDS}, \text{ onde:}$$

- P' = Tensão no limite proporcional (tf/cm^2);
- a = Distância entre os apoios e os pontos de aplicação da carga (90 cm);
- Δ = Deflexão no limite proporcional (cm);
- h = Altura da seção da viga (cm);
- S = Área da seção da viga (cm^2); e
- L = Distância total entre os apoios (cm).

Da mesma forma que o MOE, o MOR das Vigas foi obtido através da equação sugerida na norma D198:

$$MOR = \frac{3Pa}{S}, \text{ onde:}$$

- P = Tensão máxima no momento da ruptura (tf/cm^2);
- a = Distância entre os apoios e os pontos de aplicação da carga (90 cm); e
- S = Área da seção da viga (cm^2).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ANÁLISE DOS RESULTADOS DOS TESTES PRELIMINARES

4.1.1 Propriedades dos Painéis de Lâminas Paralelas

4.1.1.1 ANÁLISE DA MASSA ESPECÍFICA APARENTE

A medição e pesagem dos corpos de prova permitiram a determinação desta variável. Os resultados obtidos para massa específica aparente, de acordo com a metodologia descrita, estão apresentados na TABELA 17.

TABELA 17 – VALORES MÉDIOS DA MASSA ESPECÍFICA APARENTE DAS CHAPAS PLP DE *Pinus taeda* L. E DE *Eucalyptus dunnii* MAIDEN

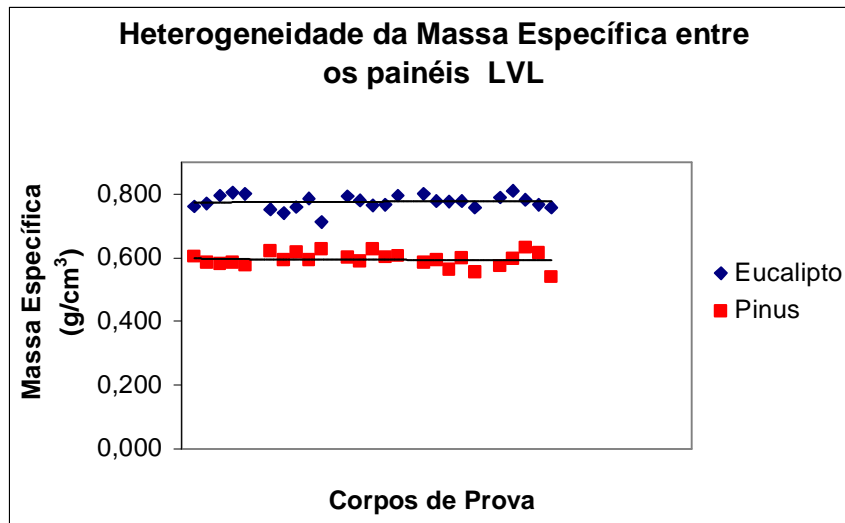
Chapa	Pinus			Eucalipto		
	média g/cm ³	S g/cm ³	CV%	média g/cm ³	S g/cm ³	CV%
1	0,587 a*	0,011	1,82	0,787 a	0,020	2,52
2	0,611 a	0,016	2,65	0,750 a	0,027	3,60
3	0,606 a	0,014	2,29	0,781 a	0,014	1,83
4	0,580 a	0,019	3,31	0,779 a	0,015	1,98
5	0,593 a	0,036	6,06	0,782 a	0,021	2,65
Geral	0,595	0,021	3,54	0,776	0,023	2,57

* Médias seguidas da mesma letra são estatisticamente iguais a 95% de probabilidade

Os valores medidos para o Pinus estão dentro do esperado, uma vez que as lâminas para fabricação dos painéis PLP foram selecionadas quanto à preferência pelo lenho adulto. MATOS (1997, p. 69) obteve um valor médio para massa específica de 0,571 g/cm³ nos painéis produzidos sob as mesmas observações com relação à classificação das lâminas, bastante próximo da média de 0,595 g/cm³ obtida neste trabalho.

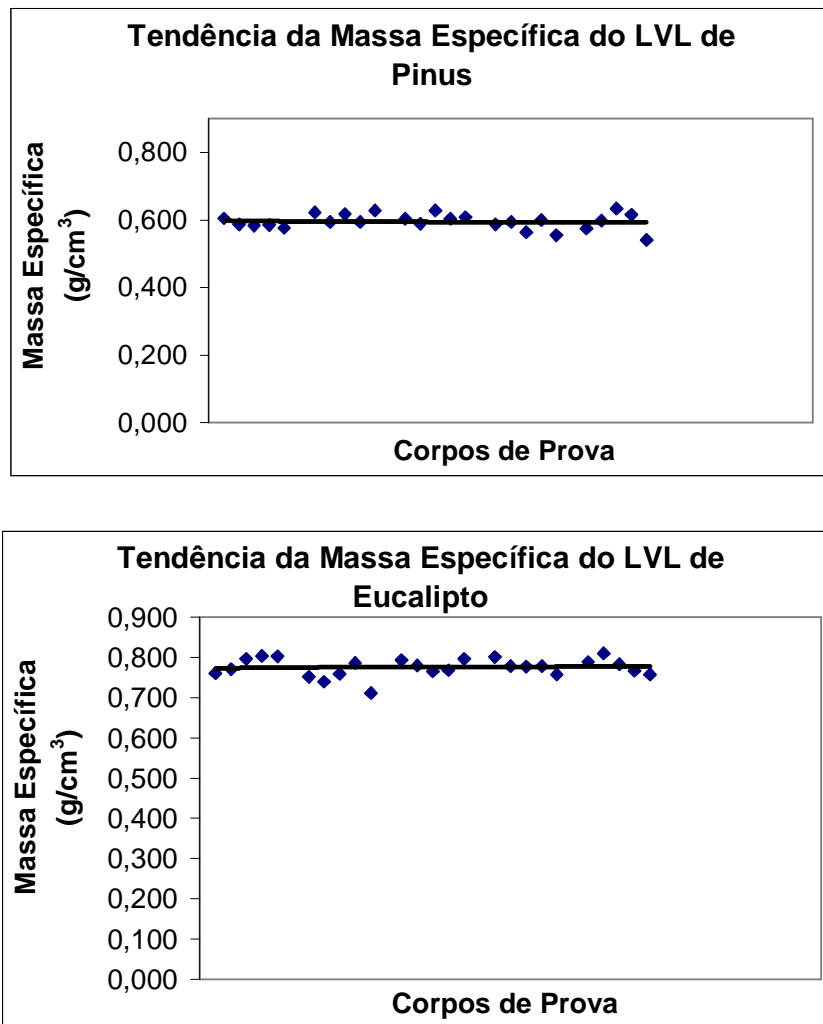
A análise estatística serviu para evidenciar a grande variação existente entre os materiais das duas espécies (Apêndice 2, p. 85, Apêndice 5, p. 86). Os resultados obtidos em delineamento inteiramente casualizado dos ensaios revelaram que as médias diferem significativamente, desta forma cedendo sustentação à inferência de que os materiais teriam base comparativa na composição das vigas. A diferença de 30,42% entre as médias do Eucalipto e do Pinus pode ser vista nas distribuições do gráfico da FIGURA 15.

FIGURA 15 – GRÁFICO DEMONSTRATIVO DA HETEROGENEIDADE DA MASSA ESPECÍFICA APARENTE ENTRE O PLP DAS DUAS ESPÉCIES



Dentro da análise estatística desta propriedade pôde-se verificar também, que os níveis de variação entre as repetições dos painéis de cada uma das espécies, confirmam a hipótese de nulidade, formulada sob o aspecto de não haver diferença significativa entre as médias das repetições (Apêndice 2, p. 85; Apêndice 5, p. 86). A uniformidade entre as chapas de Pinus, e também entre as de Eucalipto, representadas na TABELA 17 pelo teste de Tukey, é nítida nos gráficos apresentados na FIGURA 16, em que a distribuição fica bastante próxima da linha de tendência de inclinação quase nula. Tal uniformidade pode estar relacionada com a seleção das lâminas, que foi feita visualmente privilegiando justamente aquelas do lenho adulto com menor variação entre lenho primaveril e outonal.

FIGURA 16 – GRÁFICOS DAS TENDÊNCIAS DAS MEDIDAS DA MASSA ESPECÍFICA APARENTE



4.1.1.2 ANÁLISE DO MÓDULO DE ELASTICIDADE

Os valores obtidos para o MOE dos painéis PLP das duas espécies está relacionado na TABELA 18, juntamente com os resultados do teste de médias de Tukey para uma probabilidade de 95%. Tais resultados, como será discutido adiante, resumidamente não apresentaram variação significativa entre as repetições, mas sim entre as duas espécies, seguindo o que foi verificado para massa específica.

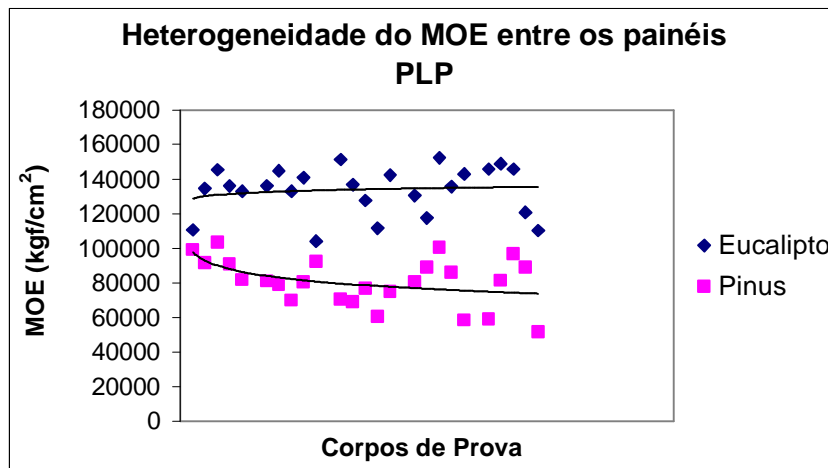
TABELA 18 - VALORES MÉDIOS VERIFICADOS PARA O MOE ENTRE AS REPETIÇÕES E ENTRE AS CHAPAS PLP DE *Pinus taeda* L. E DE *Eucalyptus dunnii* MAIDEN

		MOE	S	CV%
		kgf/cm ²	kgf/cm ²	
Pinus	1	93417,48 a	8329,22	8,92
	2	80588,66 a	7984,07	9,91
	3	70360,18 a	6411,09	9,11
	4	82939,30 a	15456,40	18,64
	5	75632,06 a	19477,91	25,75
Geral		80587,54 a	12589,78	15,62
Eucalipto	6	131989,18 b	12864,18	9,75
	7	131804,20 b	16241,60	12,32
	8	134056,56 b	15025,88	11,21
	9	135972,98 b	13232,93	9,73
	10	134473,26 b	17594,77	13,08
Geral		133659,24 b	15097,95	11,30

A média obtida por MATOS (1997, p.68) para as chapas de Pinus fabricadas com lâminas de 3,2 da base e do topo, classificadas por meio de testes não destrutivos, foi de 96.725,5 kgf/cm² e está mais próxima dos 80.587,5 kgf/cm² medidos neste trabalho, já que a média das chapas, com lâminas não classificadas, ficou em 57.026,5 kgf/cm². PIO, em 2002 (p. 133), apresentou as médias que obteve para o PLP de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden de 6 classes de resistência. Apesar da média da massa específica de 0,723g/cm³ se aproximar bastante da média do *E. dunnii* (0,776 g/cm²), o valor médio entre as classes estabelecidas pelo autor de 97.508,1 kgf/cm² é muito mais baixo que os 133.659,2 kgf/cm² desse trabalho.

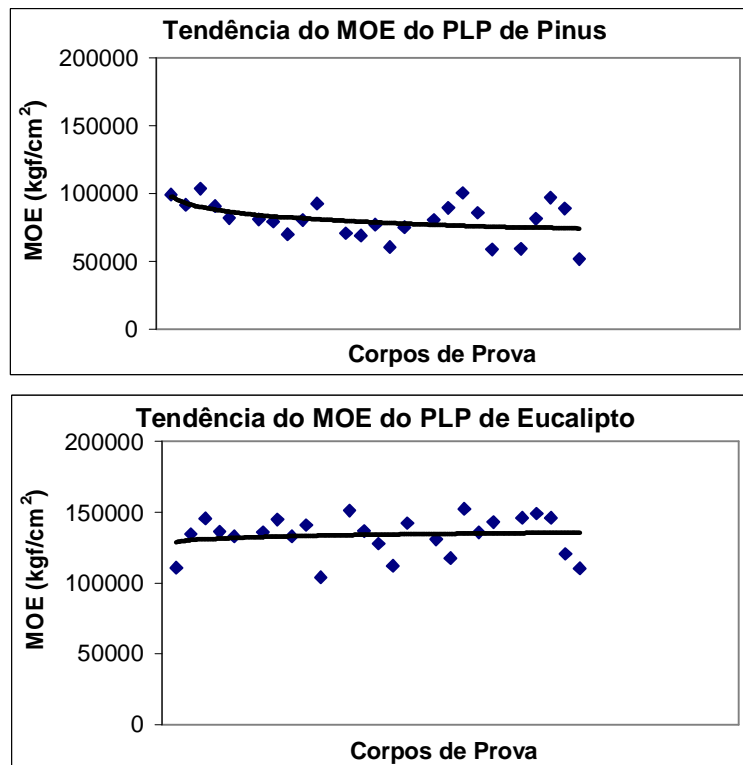
Já entre o Eucalipto e o Pinus presentes nesse trabalho, pode-se dizer que existe uma diferença não somente significativa (Apêndices 3 e 6, p. 85 e 87), mas bastante grande, entre as médias do MOE, que em termos numéricos relativos corresponde a 65,86%. Esta distorção está visível no gráfico da FIGURA 17, e pode ser atribuída à também grande diferença verificada entre as massas específicas aparentes, uma vez que praticamente todas as demais variáveis na produção das chapas foram as mesmas para os dois materiais.

FIGURA 17 – GRÁFICOS DEMONSTRATIVOS DA HETEROGENEIDADE ENTRE O MOE DO PLP DE PINUS E EUCALIPTO



A variação existente entre as espécies está relacionada à média das repetições de cada uma delas. Mas entre as médias de cada repetição, ou seja de cada painel, a diferença testada pela análise de variância e pelo teste de Tukey, mostrou-se não significativa, como está ilustrada nos gráficos da FIGURA 18.

FIGURA 18 – GRÁFICOS DAS TENDÊNCIAS DO MOE



4.1.1.3 ANÁLISE DO MÓDULO DE RUPTURA

Os valores do MOR listados na TABELA 19, para o Pinus e o Eucalipto respectivamente, se invertem quando comparados com os dos dois autores. A média para o MOR do Pinus (MATOS,1997, p. 68), igual a 408 kgf/cm² é menor que os 678,5 kgf/cm², e a do *E. grandis* (PIO, 2002, p. 129), de 1135,18 kgf/cm², é maior que os 915 kgf/cm².

TABELA 19 - VALORES MÉDIOS VERIFICADOS PARA O MOR ENTRE AS REPETIÇÕES E ENTRE AS CHAPAS PLP DE *Pinus taeda* L. E DE *Eucalyptus dunnii* MAIDEN

		MOR kgf/cm ²	S kgf/cm ²	CV%
Pinus	1	735,44 a	82,34	11,20
	2	667,96 a	31,02	4,64
	3	703,94 a	80,50	11,44
	4	671,96 a	62,01	9,23
	5	613,42 a	104,97	17,11
	Geral	678,54 a	76,27	11,24
Eucalipto	6	878,82 b	180,74	20,57
	7	886,00 b	186,29	21,03
	8	930,96 b	38,41	4,13
	9	927,62 b	35,56	3,83
	10	956,08 b	141,04	14,75
	Geral	915,90 b	134,16	14,65

A análise de variância feita sobre a interação dos valores do Pinus e do Eucalipto comprovou a distância entre as médias, confirmada pelos resultados do teste de médias de Tukey (Apêndices 4 e 7, p. 86 e 88), da mesma forma que ocorreu com a massa específica, e numa proporção relativa de 34,98%, muito mais próxima que a do MOE. Tal heterogeneidade se encontra plotada nos gráficos da FIGURA 19.

A seleção das lâminas, mencionada no item anterior, também pode ser responsável pela mesma condição apresentada na medição MOE do PLP. A avaliação estatística demonstrou que não há variação significativa entre as médias das repetições do Módulo de Ruptura dos painéis PLP. Tanto a análise de variância simples, como o teste de Tukey das médias (Apêndices 4 e 7, p. 86 e 88), provaram a não significância na variação das repetições, que ficou evidenciada nas tendências dos gráficos da FIGURA 20.

FIGURA 19 – GRÁFICOS DEMONSTRATIVOS DA HETEROGENEIDADE ENTRE O MOR DO PLP DE PINUS E EUCALIPTO

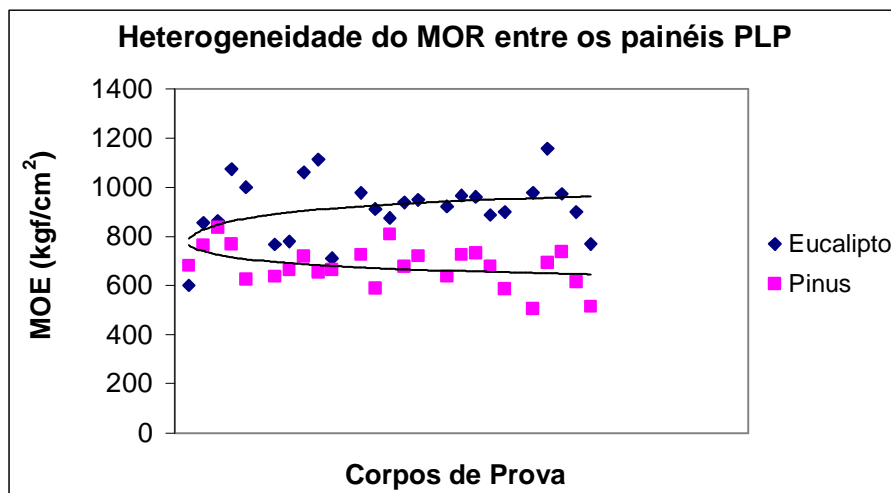
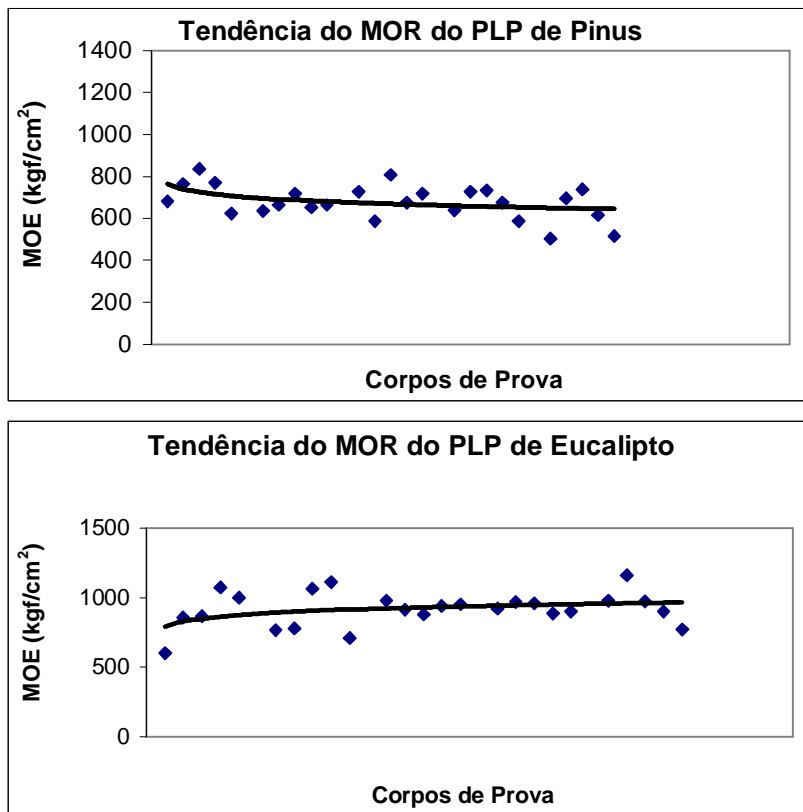


FIGURA 20 – GRÁFICOS DAS TENDÊNCIAS DO MOR



4.1.2 Propriedades dos painéis compensados e do osb

4.1.2.1 ANÁLISE DA MASSA ESPECÍFICA APARENTE

Os resultados desta variável dos painéis Compensados de Pinus e Eucalipto e dos painéis OSB podem ser vistos nas TABELAS 20, 21 e 22.

TABELA 20 – VALORES MÉDIOS VERIFICADOS PARA MASSA ESPECÍFICA ENTRE AS REPETIÇÕES DAS CHAPAS COMPENSADAS DE *Pinus taeda* L.

	Tratament o N° do Painel	Orientação	Massa Específica g/cm ³	S g/cm ³	CV%
Pinus	1	Paralel	0,596 a	0,0126	2,106
	2	Paralel	0,556 a	0,0166	2,995
	3	Paralel	0,561 a	0,0218	3,891
	4	Paralel	0,558 a	0,0114	2,051
	5	Paralel	0,502 a	0,0249	4,954
	1	Perpend	0,562 a	0,0126	2,239
	2	Perpend	0,577 a	0,0166	2,875
	3	Perpend	0,574 a	0,0123	2,143
	4	Perpend	0,573 a	0,0128	2,228
	5	Perpend	0,531 a	0,0222	4,185
	Geral		0,559 a	0,0170	3,047

TABELA 21 – VALORES MÉDIOS VERIFICADOS PARA MASSA ESPECÍFICA ENTRE AS REPETIÇÕES DAS CHAPAS COMPENSADAS DE *Eucalyptus dunnii* MAIDEN

	Tratament o N° do Painel	Orientação	Massa Específica g/cm ³	S g/cm ³	CV%
Eucalipto	6	Paralel	0,728 a	0,0074	1,020
	7	Paralel	0,628 a	0,0085	1,361
	8	Paralel	0,676 a	0,0095	1,411
	9	Paralel	0,680 a	0,0132	1,939
	10	Paralel	0,744 a	0,0079	1,063
	6	Perpend	0,669 a	0,0180	2,686
	7	Perpend	0,642 a	0,0086	1,333
	8	Perpend	0,653 a	0,0172	2,629
	9	Perpend	0,666 a	0,0189	2,837
	10	Perpend	0,744 a	0,0146	1,958
	Geral		0,683 b	0,0131	1,918

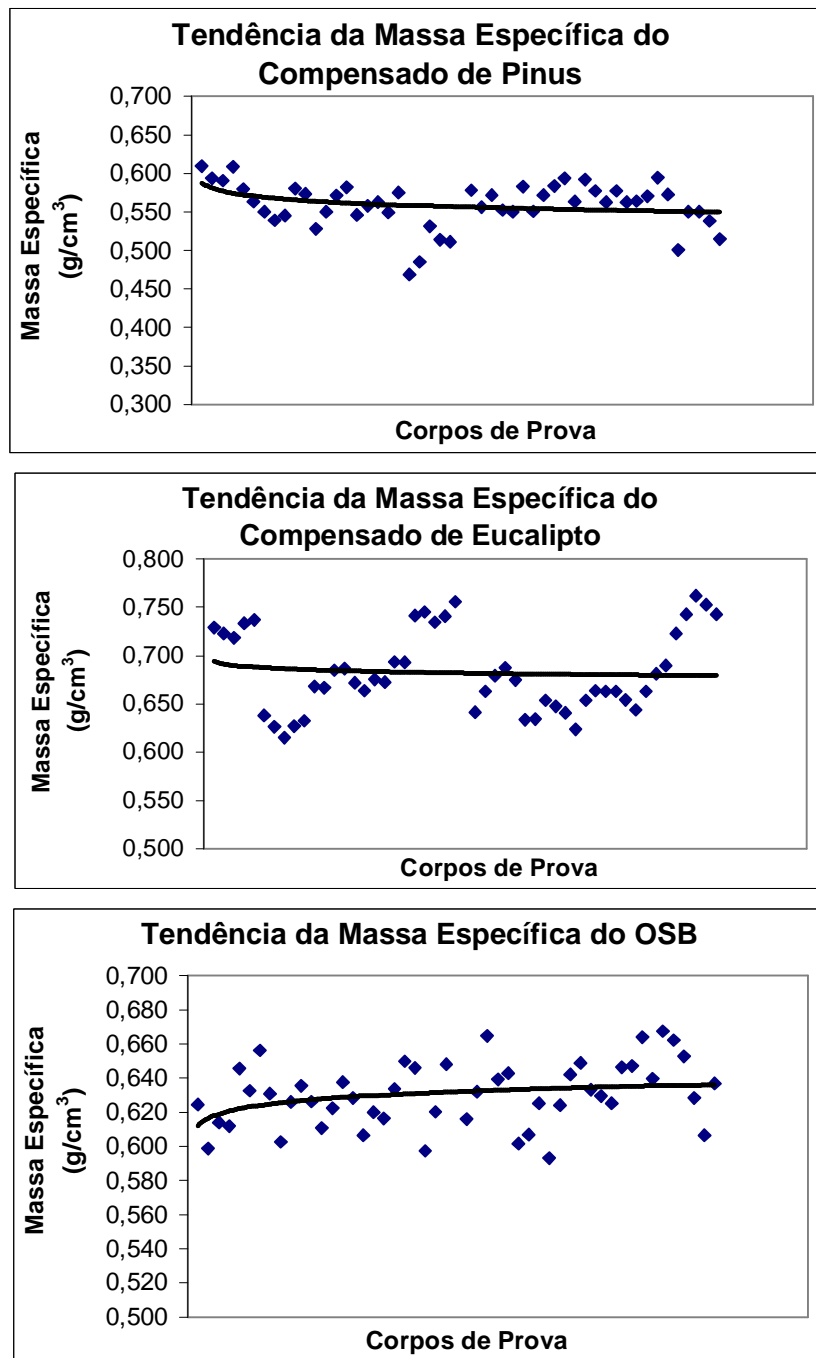
TABELA 22 – VALORES MÉDIOS VERIFICADOS PARA MASSA ESPECÍFICA ENTRE AS REPETIÇÕES DAS CHAPAS OSB

	Tratament o N° do Painel	Orientação	Massa Específica g/cm ³	S g/cm ³	CV%
OSB	1	Paralel	0,619 a	0,0176	2,838
	2	Paralel	0,630 a	0,0192	3,042
	3	Paralel	0,626 a	0,0108	1,718
	4	Paralel	0,621 a	0,0106	1,701
	5	Paralel	0,632 a	0,0230	3,636
	1	Perpend	0,639 a	0,0177	2,777
	2	Perpend	0,610 a	0,0142	2,324
	3	Perpend	0,636 a	0,0097	1,520
	4	Perpend	0,653 a	0,0121	1,858
	5	Perpend	0,637 a	0,0217	3,408
	Geral		0,630 c	0,0163	2,587

Ao contrário do que ocorreu com os painéis PLP, os valores medidos para os painéis OSB, para os Compensados de Pinus, e principalmente para os Compensados de eucalipto, se mostraram, levemente mais heterogêneos entre as repetições. Estes resultados, também dentro do esperado, comprovam a eficiência da seleção realizada com as lâminas do PLP, porque as lâminas para fabricação dos Compensados não foram selecionadas quanto à preferência pelo lenho adulto.

Dentro da análise estatística pôde-se verificar, que os níveis calculados na análise de variância entre os painéis de cada um dos materiais em separado, rejeitam a hipótese de nulidade (Apêndice 12, p. 92), desta forma, confirmando a existência de variação entre as chapas. Isso, apesar dos testes das médias pelo método de Tukey dos painéis Compensados de Pinus e do OSB (Apêndice 18, p. 96) contradizerem ao calculado nas tabelas de ANOVA. A distribuição mais difusa dos pontos nos gráficos da FIGURA 21 e os maiores desvios a partir das linhas de tendência, levemente mais inclinadas, confirmam ao calculado nas tabelas.

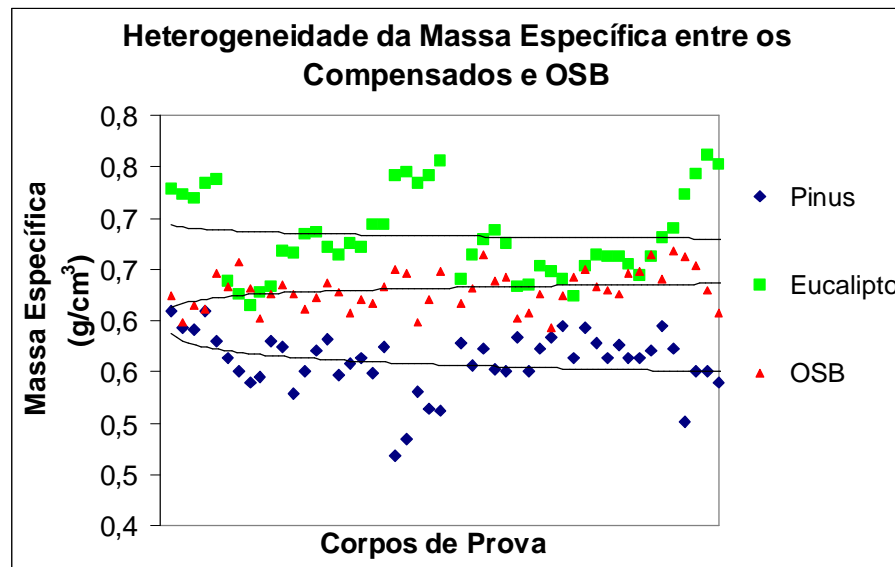
FIGURA 21 – GRÁFICOS DAS TENDÊNCIAS DAS MÉDIAS DA MASSA ESPECÍFICA APARENTE



Independentemente de tais variações, a heterogeneidade foi analisada com a interação entre os três materiais, que revelou uma grande diferença entre os pontos máximos e os mínimos, o que possivelmente, teve maior influência para com as altas distorções dos

valores caracterizados nos cálculos, sendo que existe uma mescla entre seus pontos, mas uma distância entre as linhas de tendência (FIGURA 22). A diferença da massa específica aparente, existente entre as espécies, nos painéis PLP, se confirmou também nos Compensados. E o que pode explicar a variação entre o OSB fabricado com Pinus e o Compensado do mesmo gênero é a alta razão de compactação do colchão, em que uma massa maior de material ocupa o mesmo volume do painel laminado. Em números relativos a massa específica aparente do Compensado de Eucalipto foi 22,18% maior que a do Compensado de Pinus e 8,41% maior que a do OSB, enquanto este último apresentou um valor 12,90% maior que o do Compensado de Pinus.

FIGURA 22 – GRÁFICO DEMONSTRATIVO DA HETEROGENEIDADE ENTRE OS MATERIAIS DAS ALMAS



4.1.2.2 ANÁLISE DO MÓDULO DE ELASTICIDADE

Os resultados para o MOE, obtidos nos ensaios dos Compensados de Pinus e Eucalipto e do OSB, nos sentidos de orientação paralela e perpendicular, são apresentados na TABELA 23.

TABELA 23 – VALORES MÉDIOS VERIFICADOS PARA O MÓDULO DE ELASTICIDADE ENTRE AS REPETIÇÕES E ENTRE AS CHAPAS COMPENSADAS DE *Pinus taeda* L. E *Eucalyptus dunnii* Maiden E O OSB

Orientação	Painel	Tratamento Nº do Painel	MOE kgf/cm ²	S kgf/cm ²	CV%
Paralelo	Compensado de Eucalipto	6	137364,6	13765,8	10,021
		7	113721,2	3890,6	3,421
		8	143262,6	8533,3	5,956
		9	128467,4	26861,1	20,909
		10	141256,9	27797,5	19,679
		Geral	132814,5	13310,4	10,021
	Compensado de Pinus	1	51506,3	3430,5	6,660
		2	56060,3	6300,7	11,239
		3	70036,5	9958,1	14,218
		4	70788,2	10510,2	14,847
		5	65918,3	13260,3	20,116
		Geral	62861,9	6610,1	10,515
	OSB	1	48025,5	1342,4	2,795
		2	50212,4	2913,3	5,802
		3	49667,7	2638,2	5,312
4		45881,4	7490,6	16,326	
5		51506,5	10206,9	19,817	
	Geral	49058,7	4213,5	8,589	
Perpendicular	Compensado de Eucalipto	6	50555,6	2057,7	4,070
		7	39712,9	3754,1	9,453
		8	42063,4	1875,3	4,458
		9	45659,2	2978,9	6,524
		10	39611,7	2050,1	5,176
		Geral	43520,5	1868,7	4,294
	Compensado de Pinus	1	30662,3	2913,2	9,501
		2	53143,2	6410,1	12,062
		3	37430,3	2990,7	7,990
		4	37078,1	5272,1	14,219
		5	22599,0	2256,8	9,986
		Geral	36182,6	3023,4	8,356
	OSB	1	29513,0	11229,1	38,048
		2	25506,4	9943,7	38,985
		3	38812,6	12715,0	32,760
4		24388,1	2272,9	9,320	
5		35273,9	9819,9	27,839	
	Geral	30698,8	6987,4	22,761	

A análise de variância das médias entre as repetições de cada material comprovou, estatisticamente, uma variação não significativa no sentido perpendicular para o OSB e para o Compensado de Eucalipto, e no sentido paralelo dos três materiais; mas significativa para o Compensado de Pinus no sentido perpendicular (Apêndices 13 e 14, p. 93 e 94), como pode ser verificado nos gráficos das FIGURAS 23 e 24.

FIGURA 23 – GRÁFICOS DAS TENDÊNCIAS DAS MÉDIAS DO MOE NO SENTIDO PARALELO

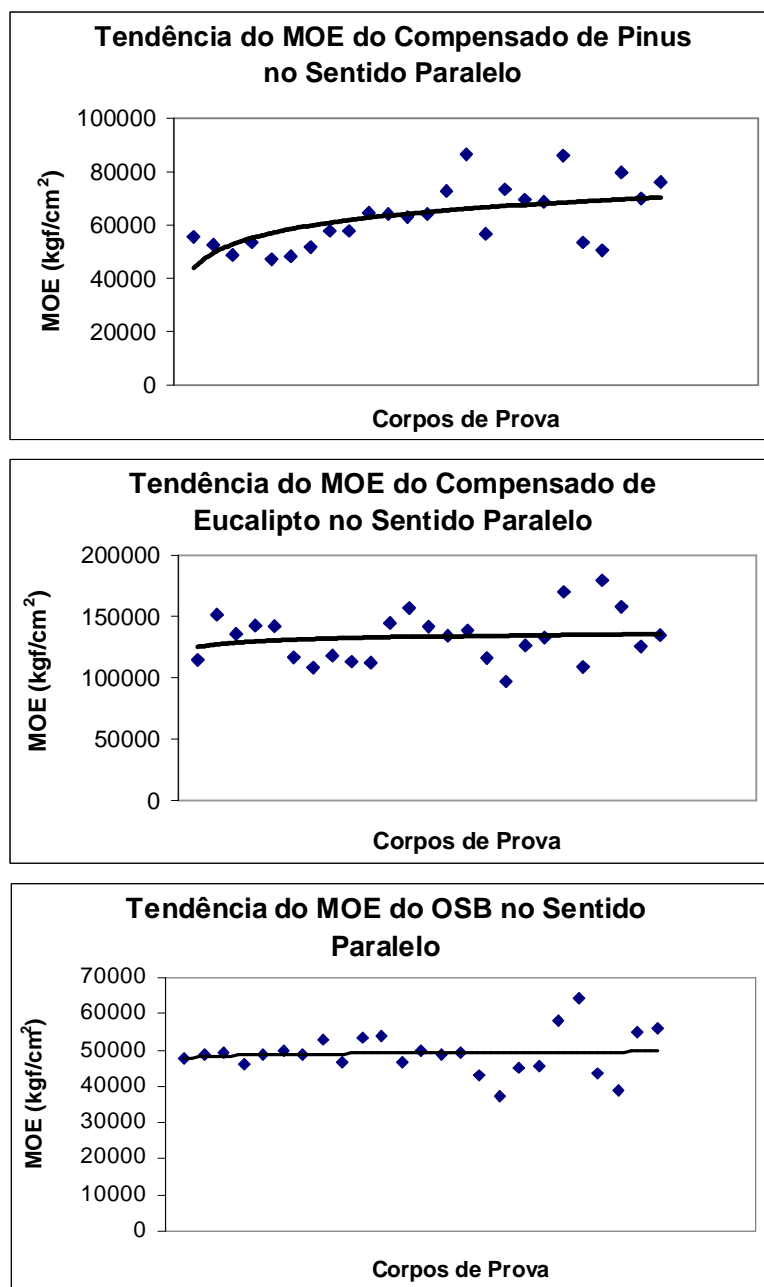
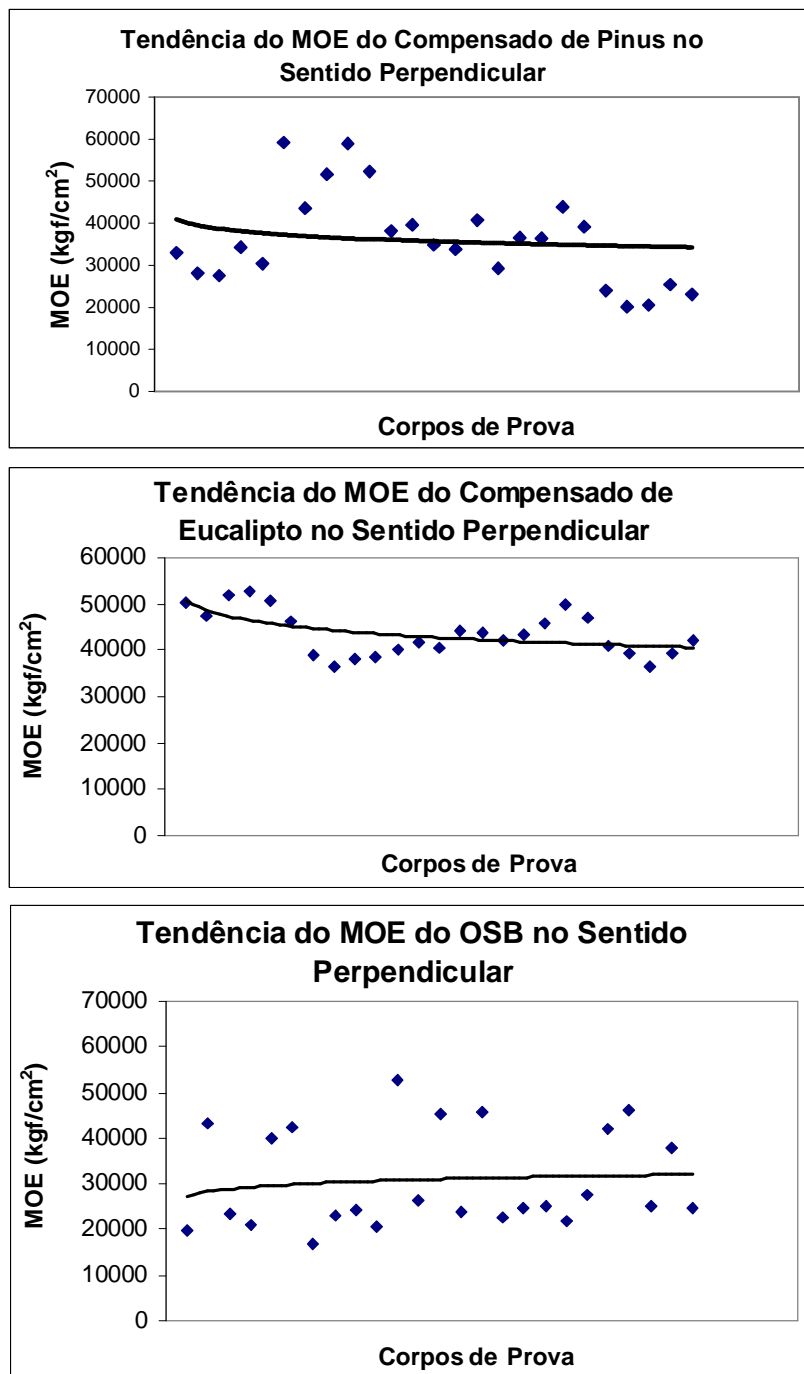


FIGURA 24 – GRÁFICOS DAS TENDÊNCIAS DAS MÉDIAS DO MOE NO SENTIDO PERPENDICULAR



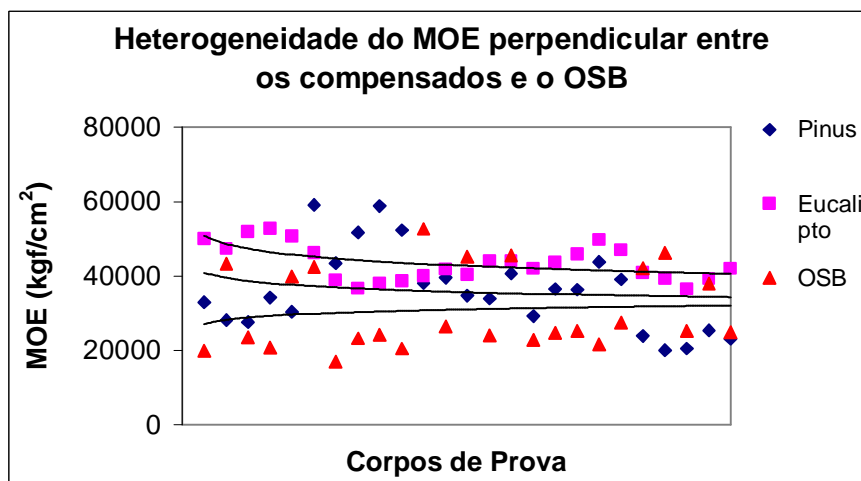
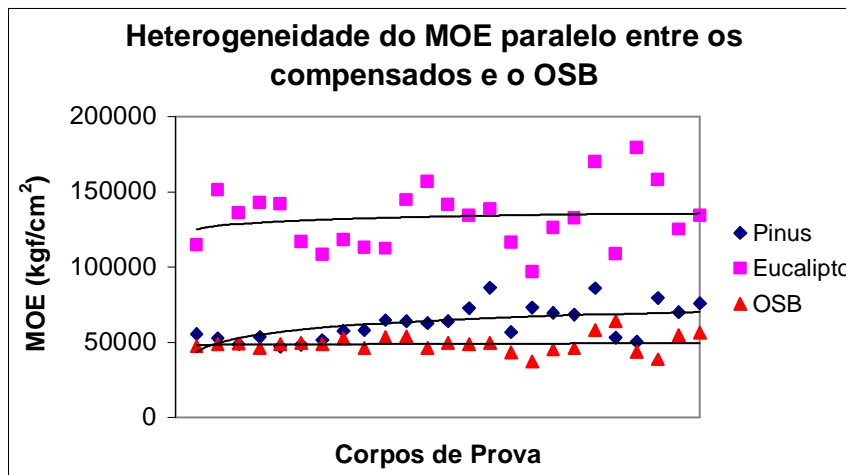
A variação do MOE paralelo, apesar do F calculado de 4,275 ser maior que o tabelado de 2,87, não foi suficiente para que o teste de médias de Tukey a admitisse como significativa (Apêndice 19, p. 98). Isso se deu possivelmente pela pequena quantidade de pontos com maiores desvios da média, que refletiu na pequena diferença no momento da ordenação decrescente para o teste.

As médias do MOE na resistência à flexão estática dos painéis OSB e dos Compensados, no sentido paralelo, apresentaram-se com uma heterogeneidade mais elevada que a do MOE no sentido perpendicular. A diferença estatística analisada pelo teste de Tukey sofre um balanceamento provocado pelo alinhamento decrescente dos valores. se estes fossem observados em separado, seria verificada uma diferença significativa entre o Compensado de Eucalipto e o OSB no sentido perpendicular.

A interação entre os tipos de material também foi feita em separado para os dois planos de orientação dos testes. Na FIGURA 25 é possível verificar que as tendências do sentido paralelo são mais definidas, pelos menores desvios. Isso explica a maior distância entre os tratamentos e a maior diferença na análise de variância da interação, quando comparada com a análise do sentido perpendicular. Também nestes gráficos demonstrativos, pode ser ressaltada a ordenação do desempenho de cada um dos tratamentos. Observa-se que, apesar de possuir massa específica maior que a do Compensado de Pinus, o OSB apresenta um MOE menor. Isso se explica pela característica da matéria-prima utilizada no painel, que é constituído por lâminas mais curtas. A descontinuidade no plano interrompe, de certa forma, a resistência às forças de tração e compressão respectivamente nas superfícies inferior e superior do painel, efeito comumente observado em outros painéis aglomerados.

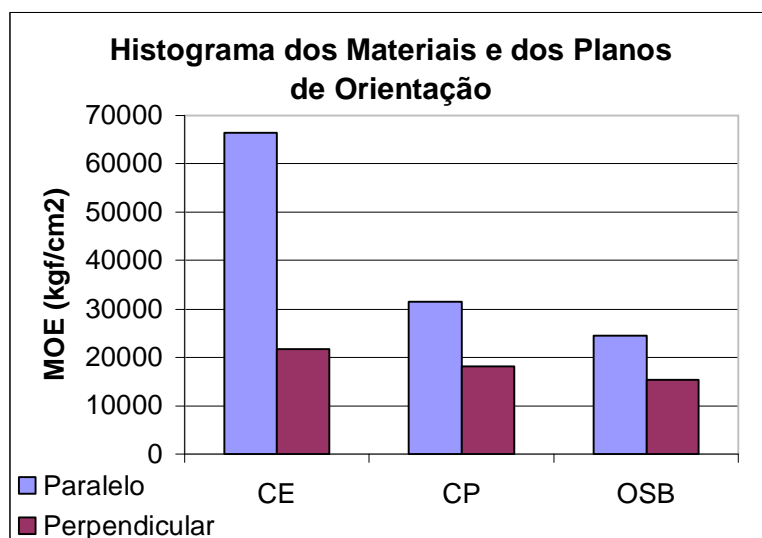
Em valores relativos das diferenças numéricas no sentido paralelo, o MOE do Compensado de Eucalipto foi 111,28% maior que o do Compensado de Pinus, que por sua vez foi 28,14% maior que o MOE do OSB. Tais comparações, no sentido perpendicular, não apresentaram números tão expressivos, tendo estas apresentado respectivamente, 20,28% e 17,86% de variação.

FIGURA 25 – GRÁFICO DEMONSTRATIVO DA HETEROGENEIDADE ENTRE OS MATERIAIS DAS ALMAS



Os gráficos da FIGURA 26 apresentam um histograma das médias do MOE paralelo e perpendicular dos três materiais, onde se pode verificar a diferença entre as duas orientações, que se deve principalmente pelo número de lâminas com a grã no sentido do comprimento dos corpos de prova, que é maior na orientação paralela.

FIGURA 26 – GRÁFICO DEMONSTRATIVO DA HETEROGENEIDADE ENTRE OS MATERIAIS E OS PLANOS DE ORIENTAÇÃO



4.1.2.3 ANÁLISE DO MÓDULO DE RUPTURA

O Módulo de Ruptura foi obtido a partir da mesma bateria de ensaios de flexão a que foram submetidos os corpos para obtenção do Módulo de Elasticidade. Os resultados obtidos neste experimento para esta variável, que constam na TABELA 24, apresentaram desvios pouco consideráveis; onde apenas os valores do MOR perpendicular do Compensado de Pinus e do MOR paralelo do OSB tiveram a hipótese da nulidade rejeitada por ambos os testes: da análise de variância (Apêndices 15 e 16, p. 94 e 95) e de médias de Tukey (Apêndice 20, p. 99).

Apesar das pequenas variações entre as repetições de alguns dos tratamentos, o que chamou maior atenção foram as grandes variações entre os tratamentos que foram comprovados pelos resultados claros tanto da análise da variância, como dos testes de Tukey.

TABELA 24 – VALORES MÉDIOS VERIFICADOS PARA O MÓDULO DE RUPTURA ENTRE AS REPETIÇÕES E ENTRE OS TRATAMENTOS DOS COMPENSADOS DE *Pinus taeda* L. E *Eucalyptus dunnii* MAIDEN E O OSB

Orientação	Painel	Tratamento Nº do Painel	MOR kgf/cm ²	S kgf/cm ²	CV%
Paralelo	Compensado de Eucalipto	9	779,88 a	131,96	16,92
		10	675,00 a	164,91	24,43
		7	649,74 a	70,01	10,77
		6	625,32 a	123,29	19,72
		8	616,98 a	74,27	12,04
		Geral	669,38 a	83,80	12,52
	Compensado de Pinus	4	510,90 a	95,36	18,66
		3	498,66 a	49,44	9,91
		1	458,02 a	103,05	22,50
		5	386,94 a	73,78	19,07
		2	354,88 a	104,42	29,42
		Geral	441,88 b	62,05	14,04
	OSB	1	231,36 a	15,68	6,78
		2	230,16 a	24,19	10,51
		5	180,36 b	26,33	14,60
3		179,46 b	18,44	10,27	
4		169,52 b	33,08	19,51	
Geral		198,17 c	17,20	8,68	
Perpendicular	Compensado de Eucalipto	9	466,48 a	29,80	6,39
		10	420,94 a	65,63	15,59
		6	357,98 a	99,92	27,91
		7	355,58 a	55,32	15,56
		8	338,34 a	60,38	17,84
		Geral	387,86 a	46,78	12,06
	Compensado de Pinus	2	520,04 a	77,09	14,82
		4	407,26 b	61,66	15,14
		3	400,02 b	60,85	15,21
		1	312,42 b	32,28	10,33
		5	212,12 b	24,56	11,58
		Geral	370,37 a	38,85	10,49
	OSB	4	168,80 a	9,25	5,48
		3	159,98 a	27,81	17,38
		1	149,08 a	20,80	13,95
2		144,52 a	20,89	14,46	
5		139,94 a	27,10	19,36	
Geral		152,46 b	15,69	10,29	

As médias do MOR dos painéis OSB se mostraram muito mais baixas que as dos Compensados, principalmente no sentido paralelo.

Os valores correspondentes às médias das repetições apresentadas na TABELA 24 geram as tendências apresentadas nos gráficos das FIGURAS 27 e 28.

FIGURA 27 – GRÁFICOS DAS TENDÊNCIAS DAS MÉDIAS DO MOR PARALELO PARA OS COMPENSADOS E O OSB

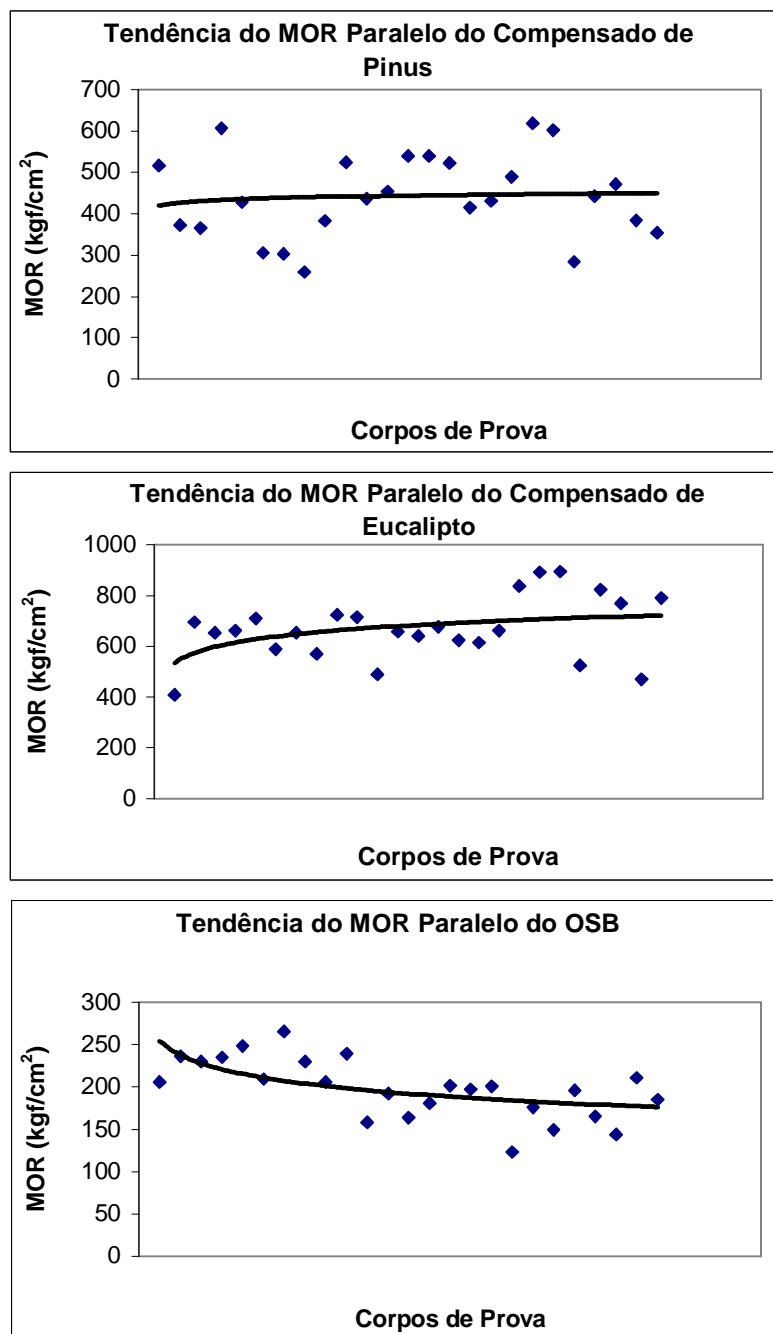
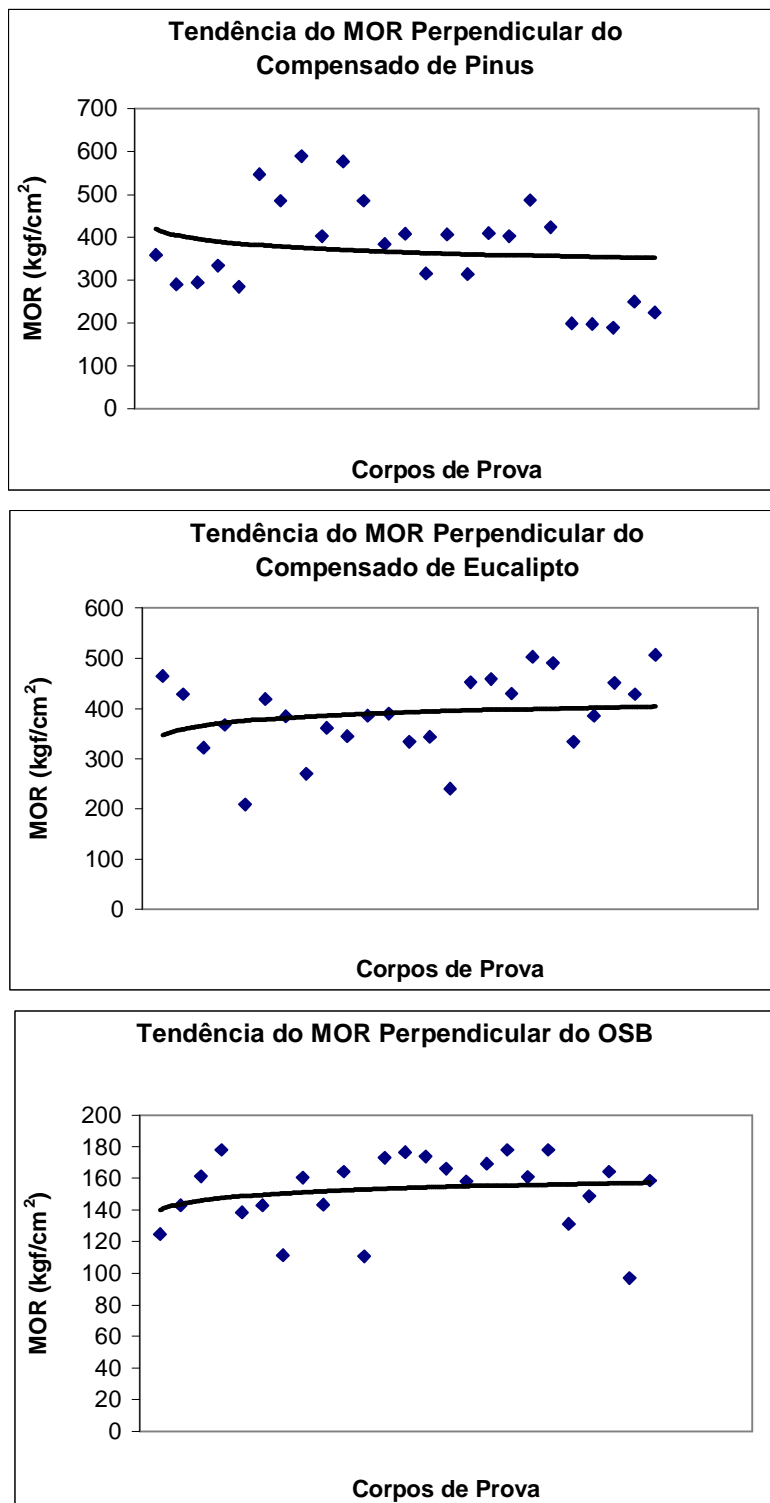
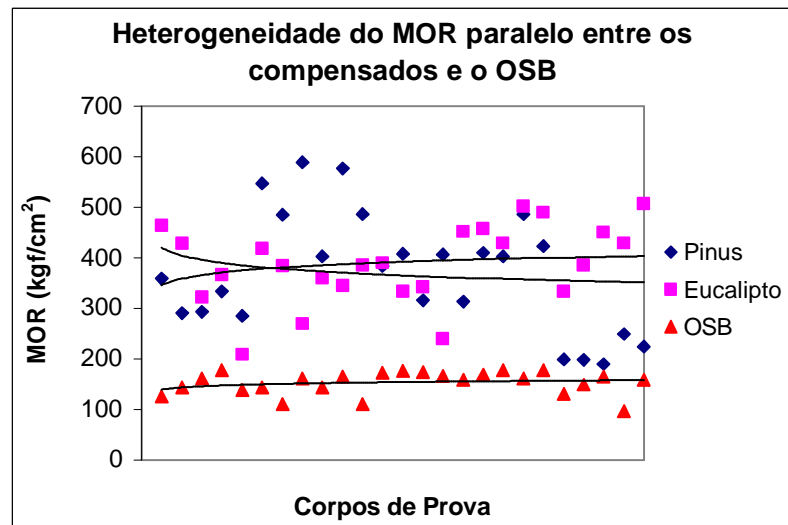
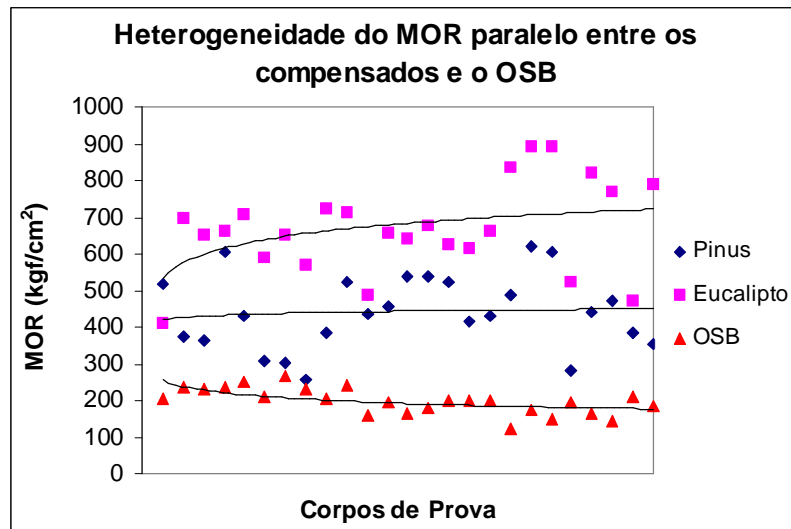


FIGURA 28 – GRÁFICOS DAS TENDÊNCIAS DO MOR PARA O COMPENSADO DE EUCALIPTO



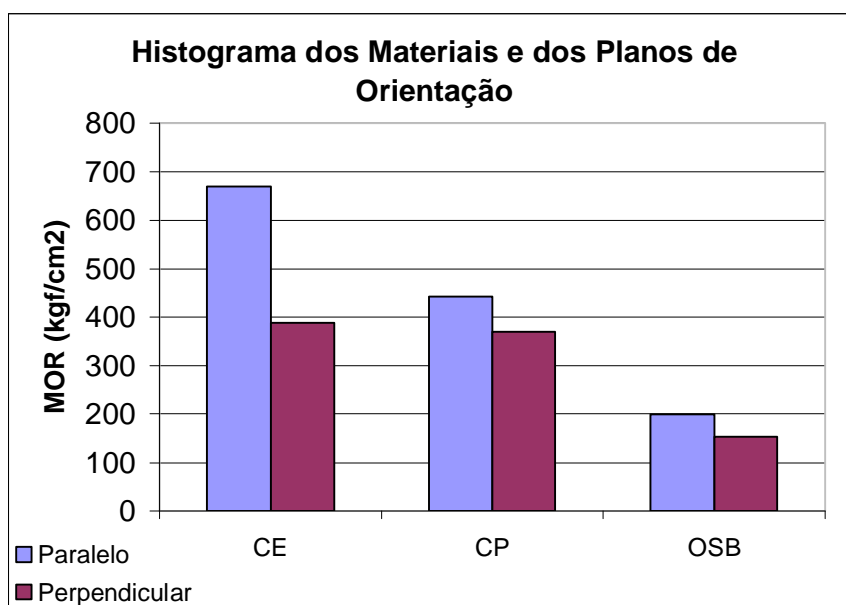
Os valores correspondentes às médias dos tratamentos apresentadas na TABELA 24 geram as tendências apresentadas nos gráficos das FIGURAS 29, onde se pode verificar a distância entre a média ajustada para os três tratamentos.

FIGURA 29 – GRÁFICO DEMONSTRATIVO DA HETEROGENEIDADE ENTRE OS MATERIAIS DAS ALMAS



Como na análise do MOE, a interação entre os três materiais também foi feita em separado para os dois planos de orientação dos testes para o MOR. Nos histograma da FIGURA 30 constam as tendências dos três tratamentos nos dois planos. Percebe-se uma maior uniformidade nos valores do OSB, e ao mesmo tempo, que a distância entre ele e os outros dois materiais é possivelmente o fator mais responsável pela variação da interação. A ordenação do desempenho dos tratamentos se assemelha ao do MOE, mas é menos distante entre os compensados das duas espécies no sentido perpendicular.

FIGURA 30 – GRÁFICO DEMONSTRATIVO DA HETEROGENEIDADE ENTRE OS MATERIAIS E OS PLANOS DE ORIENTAÇÃO



Em valores numéricos relativos, o MOR no sentido paralelo do Compensado de Eucalipto foi 51,49% maior que o do Compensado de Pinus, que por sua vez foi 122,98% maior que o do OSB, sendo que o MOR do Compensado de Eucalipto dista 237,78% do OSB. No sentido perpendicular as mesmas comparações, respectivamente, tiveram valores calculados de 4,72%, 142,93 e 154,40%, que foram menores que os do sentido paralelo.

4.1.2.4 ANÁLISE DA TENSÃO MÁXIMA DE COMPRESSÃO PERPENDICULAR

Esta propriedade foi avaliada, conforme a norma citada, para medição da resistência dos elementos das almas, contra o sentido de esforço que estes viriam a assumir nesta mesma posição na composição das vigas.

Os resultados obtidos para esta variável estão listados na TABELA 25, que exhibe maior distinção apenas da média do tratamento do OSB.

TABELA 25 – VALORES MÉDIOS VERIFICADOS PARA A TENSÃO MÁXIMA DE COMPRESSÃO ENTRE AS REPETIÇÕES E ENTRE TRATAMENTOS DOS COMPENSADOS E O OSB

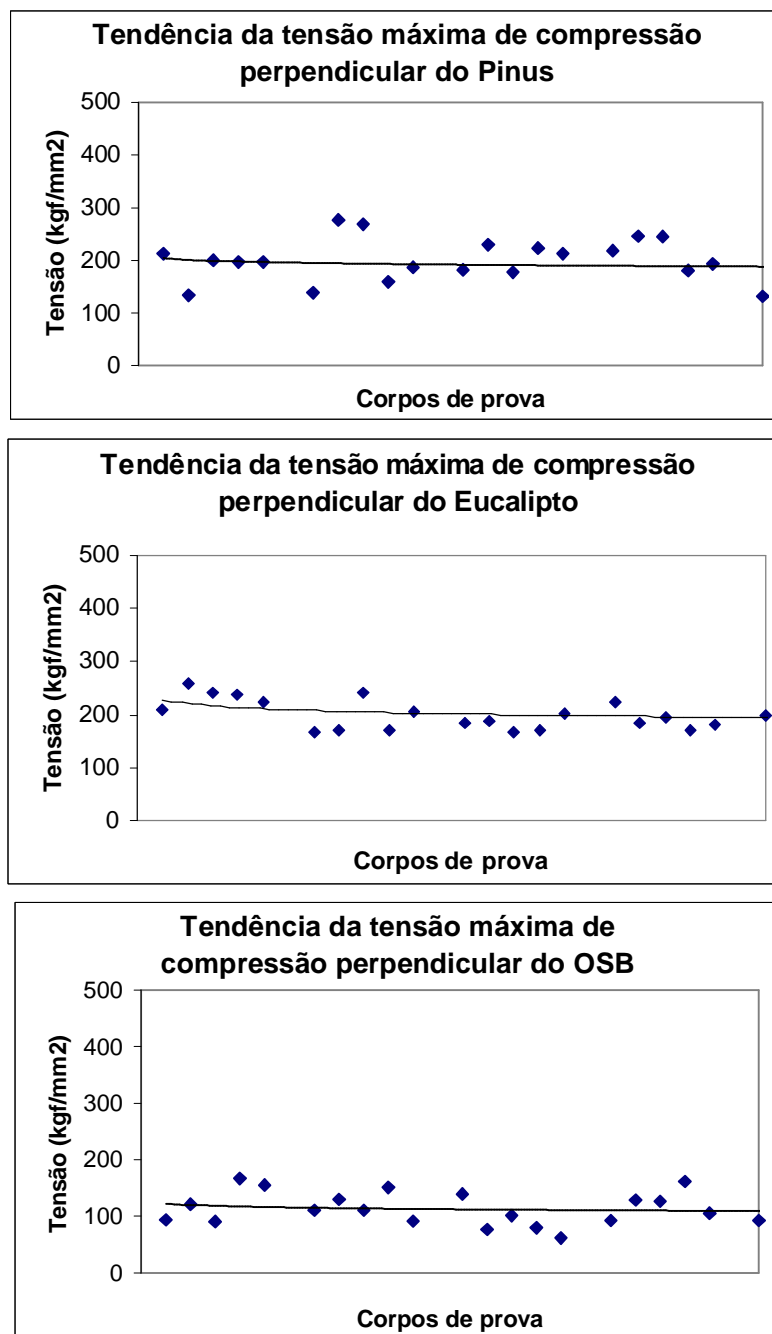
	Tratamento Nº do Painel	Tensão kgf/mm ²	S kgf/mm ²	CV%
Pinus	1	188,1 a	31,2	16,58
	2	205,7 a	63,7	30,95
	3	205,0 a	24,3	11,84
	4	216,7 a	29,6	13,66
	5	145,4 a	30,2	20,75
	Geral	192,2 a	38,5	20,02
Eucalipto	6	233,8 a	18,5	7,90
	7	190,6 a	31,7	16,65
	8	182,1 a	14,8	8,14
	9	190,1 a	20,3	10,68
	10	216,9 a	30,7	14,17
	Geral	202,7 a	24,2	11,93
OSB	1	125,6 a	34,8	27,75
	2	118,7 a	22,7	19,17
	3	91,7 a	30,2	32,94
	4	123,0 a	26,4	21,45
	5	104,4 a	16,6	15,93
	Geral	112,7 b	26,9	23,87

As médias da Tensão na resistência a Compressão Perpendicular dos painéis OSB e dos Compensados, apresentaram-se praticamente homogêneas. A análise de variância destas médias (Apêndice 17, p. 96) comprovou, estatisticamente, que os desvios entre elas foram não significativos, exceto para o Compensado de Eucalipto que teve o F calculado na ANOVA

(4,06), um pouco maior que o tabelado (2,87). Porém o teste de médias de Tukey confirmou a homogeneidade da amostra (Apêndice 21, p. 101).

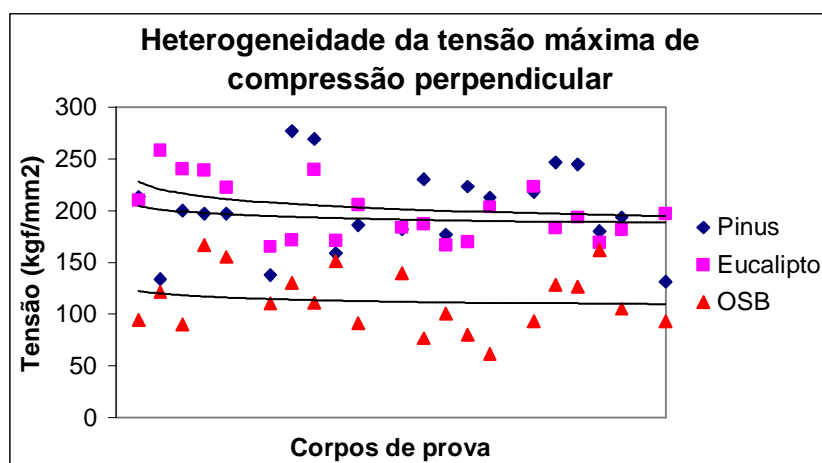
Os gráficos das tendências das repetições são apresentados nas FIGURA 31, onde se pode verificar a horizontalidade dos pontos nos tratamentos.

FIGURA 31 – GRÁFICOS DAS TENDÊNCIAS DAS MÉDIAS DA TENSÃO PARA OS COMPENSADOS DE PINUS E EUCALIPTO E O OSB



Uma dispersão difusa na distribuição das entradas da interação pode ser verificada no gráfico da FIGURA 32. Isso se deu, possivelmente, pela proximidade entre as médias ajustadas e seus desvios, exceto pelo OSB, que apresentou resistência a compressão um pouco inferior às dos Compensados.

FIGURA 32 – GRÁFICOS DEMONSTRATIVO DA HETEROGENEIDADE ENTRE AS TENDÊNCIAS DAS MÉDIAS DA TENSÃO PARA OS COMPENSADOS DE PINUS E EUCALIPTO E O OSB



4.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS DOS TESTES DAS VIGAS “T”

4.2.1 Propriedades mecânicas das vigas

Os ensaios de flexão estática permitiram que fossem calculados o MOE e o MOR listados na TABELA 26, através da obtenção, da carga e da deflexão no limite proporcional, e da carga máxima no ponto de ruptura.

TABELA 26 – VALORES MÉDIOS DO MOE, MOR E DA DEFLEXÃO DAS VIGAS “T”

Flanges	Almas		MOE kgf/cm ²	MOR kgf/cm ²	DEFLEXÃO cm
Pinus	OSB	T1	2,80E+6 a	7734,97 a	1,27 a
	CP	T2	2,48E+6 a	8126,75 a	1,33 a
	CE	T3	2,14E+6 a	6923,08 a	1,13 a
Geral			9,35E+6 a	7594,93 a	1,24 a
Eucalipto	OSB	T4	4,04E+6 a	8169,23 a	1,01 a
	CP	T5	2,92E+6 b	8612,94 a	1,28 a
	CE	T6	2,73E+6 b	8633,39 a	1,27 a
Geral			3,23E+6 b	8471,85 a	1,19 a

Entre as repetições de cada tratamento não houve variação significativa, fato comprovado pelos valores de F calculados para as repetições individuais das vigas, menores que os tabelados (Apêndices 23-25, p. 103-105), tanto para o MOE como para o MOR e a Deflexão no Limite Proporcional. Mesmo tendo havido variações constatadas, entre as chapas utilizadas na montagem das vigas, isto revela que não houve correlação entre as variações nas performances das chapas e das vigas. Esta relação foi observada devido à matéria-prima para as vigas ter sido proveniente diretamente da indústria, fato que podia ter maior influência, caso estas variações nas chapas tivessem sido maiores.

Os testes dos corpos de prova não demonstraram comprometimentos na colagem ou em outros fatores da montagem das Vigas, pois todas sofreram rompimento nas chapas das almas. A estabilidade dos corpos durante os testes, e a obtenção de resultados condizentes demonstrou ter havido compatibilidade entre os 5 materiais em qualquer das combinações.

4.2.1.1 MÓDULO DE ELASTICIDADE APARENTE

Os resultados dos ensaios das vigas mostrados na TABELA 26 revelaram, entre outras características, a diferença entre as médias dos tratamentos, que foi comprovada pela análise da variância pelo método fatorial e está expressa pelo teste de Tukey (Apêndice 26, p. 106). Esta diferença entre os tratamentos também foi comprovada pelo valor de F calculado maior que o tabelado (Apêndice 23, p. 103), que permite a rejeição de H_0 .

Os MOE's obtidos para os tratamentos T1 e T4, compostos com OSB, foram os que revelaram maior variação entre as flanges das duas espécies, o que deve ser observado com atenção, porque o OSB, entre as chapas das alma,s foi o que apresentou maior uniformidade. Isto, de acordo com características dos experimentos fatoriais, representa que existe uma grande interação entre os fatores Flange e Alma; em outras palavras, neste caso, que a variação das espécies nas flanges tem grande influência na constituição das vigas. Isto fica evidenciado quando observamos que a contribuição percentual na variação das flanges é maior que na variação das chapas das almas, como mostram os valores dos Coeficientes de Variação (%) das TABELAS 27 e 28.

TABELA 27 – VARIACÃO DO MOE DAS FLANGES SOBRE AS ALMAS

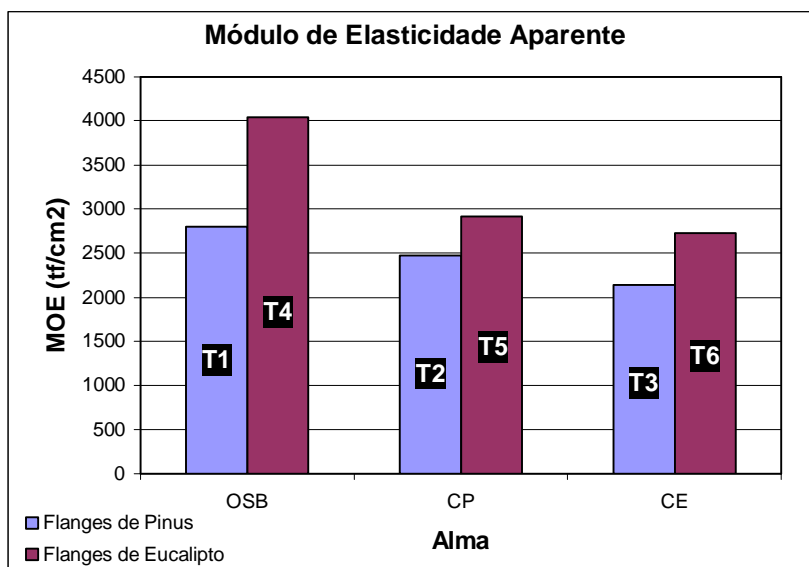
	MOE (kgf/cm ²)	
	média	CV%
OSB	3,42E+6	25,55
CP	2,70E+6	11,48
CE	2,44E+6	16,99
Média	2,85E+6	18,00
Geral		17,87

TABELA 28 – VARIACÃO DO MOE DAS ALMAS SOBRE AS FLANGES

	MOE (kgf/cm ²)	
	Média	CV%
FP	2,47E+6	13,30
FE	3,23E+6	21,93
Média	2,85E+6	17,61
Geral		18,67

Os valores apresentados nas TABELAS 26, 27 e 28 ficam bem evidenciados no gráfico da FIGURA 33, onde os valores do OSB correspondem aos tratamentos T1 e T4, os identificados com CP (Compensado de Pinus) correspondem aos tratamentos T2 e T5, e os com CE (Compensado de Eucalipto) aos tratamentos T3 e T6.

FIGURA 33 – GRÁFICO DO MOE DAS VIGAS “I” (tf/cm²)



Além da maior diferença apresentada entre as médias dos CV%, a maior contribuição da variação das flanges para o MOE, ficou evidente na Análise da Variância (Apêndice 23, p. 103), onde o F calculado do fator Flange (17,28) é bastante maior que o F calculado do Fator Alma (10,55), proporcionalmente aos seus valores de F tabelados (respectivamente 4,35 e 3,49). Em valores percentuais lineares, as flanges de Eucalipto representaram um acréscimo médio de 30,43% em relação as flanges de Pinus. Enquanto que a média das almas de OSB representou um acréscimo no MOE de 26,78% em relação ao Compensado de Pinus, e 40,37% em relação ao Compensado de Eucalipto; e o Compensado de Pinus registrou um MOE médio 10,72% maior que o do Compensado de Eucalipto.

4.2.1.2 MÓDULO DE RUPTURA

Ao contrário do MOE, o MOR apresentou valores mais uniformes, com pouca variação entre os tratamentos e entre os fatores. Sendo que esta variação teve que ser rejeitada dentro da Análise de Variância, que teve todos os valores calculados de F menores que os tabelados (Apêndice 24, p. 104), comprovando a hipótese da nulidade, que assume não haver diferença entre as médias testadas.

TABELA 29 - VARIAÇÃO DO MOR DAS FLANGES SOBRE AS ALMAS

	MOR (kgf/cm ²)	
	média	CV%
OSB	7,95E+3	3,86
CP	8,37E+3	4,11
CE	7,78E.3	15,55
Média	8,03E+3	7,84
Geral		3,79

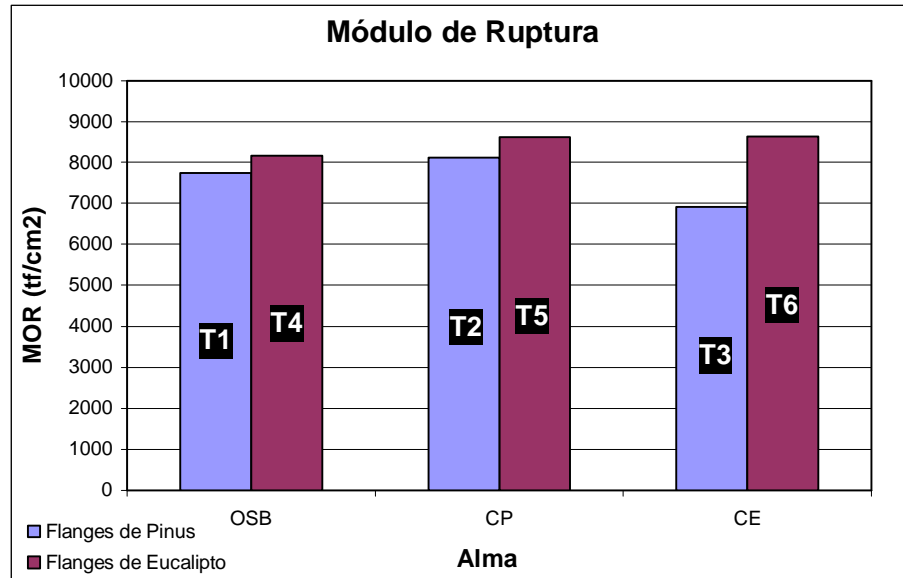
TABELA 30 - VARIAÇÃO DO MOR DAS ALMAS SOBRE AS FLANGES

	MOR (kgf/cm ²)	
	Média	CV%
FP	7,59E+3	8,08
FE	8,47E+3	3,10
Média	8,03E+3	5,59
Geral		7,72

Também no caso do MOR, a diferença entre os CV% das flanges sobre o Fator Alma foi maior. Mas neste caso, a variação mais sutil entre os fatores das almas em

comparação a mesma variação analisada no MOE, contribuiu para uma distribuição mais gradual das médias, que pode ser mais bem verificada no gráfico da FIGURA 34.

FIGURA 34 - GRÁFICO DO MOE DAS VIGAS “T” (tf/cm²)



A relação direta das médias revela um acréscimo de 11,55% do MOR das flanges de Pinus para as flanges de Eucalipto. Nas almas houve uma inversão, em que o OSB não apresenta os maiores valores para o MOR. A média do Compensado de Pinus é 5,25% superior à média do OSB e 7,61% maior que a do Compensado de Eucalipto, e a média do OSB é somente 2,24% maior que a do Compensado de Eucalipto. Estes valores da diferença relativa entre os elementos dos fatores, muito mais baixos que os do MOE, servem também para confirmar os resultados dos testes estatísticos da ANOVA e de Tukey (Apêndice 26, p. 106), que demonstraram não haver variações significativas entre nenhum dos fatores observados.

4.2.1.3 DEFLEXÃO NO LIMITE PROPORCIONAL

As médias da Deflexão apresentadas na TABELA 26 também foram analisadas separadamente em relação aos Fatores Flange e Alma, como se apresenta nas TABELAS 31 e 32. E para variável Deflexão os resultados dos testes estatísticos se assemelham aos obtidos para o MOR, em que novamente os resultados dos valores de F calculados foram menores que os tabelados (Apêndice 25, p. 105), determinando que as diferenças existentes entre as médias são estatisticamente não significativas.

TABELA 31 - VARIAÇÃO DA DEFLEXÃO DAS FLANGES SOBRE AS ALMAS

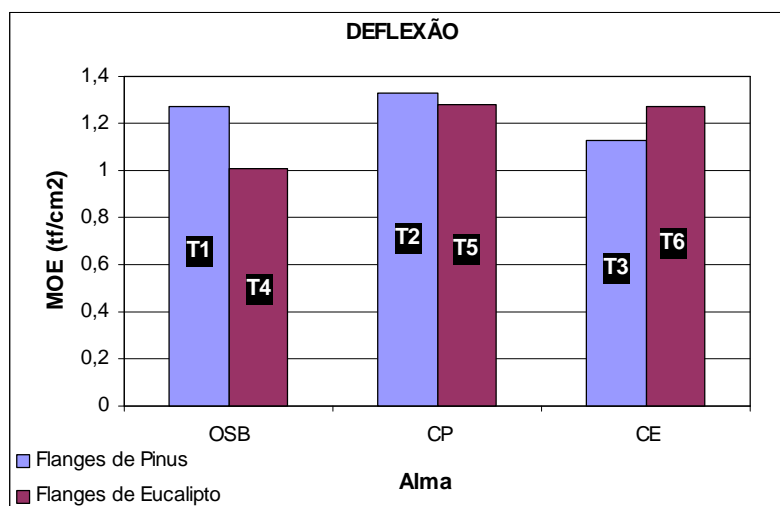
	DEFLEXÃO	
	média	CV%
OSB	1,14	16,10
CP	1,31	2,82
CE	1,20	8,49
Média	1,22	9,13
Geral		6,84

TABELA 32 - VARIAÇÃO DO MOR DAS FLANGES SOBRE AS ALMAS

	DEFLEXÃO	
	média	CV%
FP	1,24	8,43
FE	1,19	12,83
Média	1,22	10,63
Geral		3,26

Como pode ser verificado na TABELA 31, a maior variação está representada pelo CV% das Flanges relacionadas com o OSB, que também representam uma participação maior na variação dos tratamentos que o Fator Alma. Esta variação só não é maior porque houve uma inversão das médias do Fator Flange relacionado com o Compensado de Eucalipto, onde a Flange de Eucalipto sofreu uma deflexão maior que a de Pinus, ao contrário do que ocorreu com as outras 2 variantes do Fator Alma. Estes dados podem ser verificados no gráfico da FIGURA 35.

FIGURA 35 – GRÁFICO DA DEFLEXÃO DAS VIGAS “T”



A média das Flanges de Pinus é 4,71% superior à da Flange de Eucalipto, o que neste caso, como já foi dito, deve ser avaliado com cautela, devido a inversão que houve na combinação com o Compensado de Eucalipto. A Deflexão média dos tratamentos com compensado de Pinus foi 8,83% maior que a média da Deflexão dos tratamentos com Compensado de Eucalipto e 14,36% maior em relação aos tratamentos com OSB, e o Compensado de Eucalipto teve uma média 5,08% maior que o OSB.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados obtidos nos testes preliminares permitiram concluir, que a classificação das lâminas para produção do PLP foi válida, por estes terem apresentado valores mais uniformes que os Compensados das 2 espécies. Também que o Eucalipto se apresentou como uma boa alternativa na composição dos painéis PLP e dos Compensados, mesmo com as perdas sofridas com a delaminação de algumas chapas, que foram descartadas.

A metodologia empregada para estes testes preliminares se mostrou eficiente e expressou resultados satisfatórios dentro do esperado, como a pequena variação entre as médias das repetições das chapas, por estas terem sido produzidas da mesma forma que seriam em escala industrial, como a excelente relação resistência/espessura obtida para o PLP, tanto de Pinus como de Eucalipto, e também como a grande variação entre os materiais, que se constituiu de maneira importante para inferência da hipótese de que poderia haver variação entre estes materiais nas combinações nas vigas, como de fato ocorreu.

A comparação dos testes preliminares com os ensaios finais das Vigas permitiu a conclusão de que não existiu correlação entre as variações das repetições das chapas e as das repetições das Vigas, quando feita a distribuição aleatória das Almas e das Flanges nas combinações das repetições, da mesma forma que ocorreria na indústria. Pois as Almas tiveram diferenças bastante significativas entre suas repetições, para algumas de suas variáveis, enquanto que as repetições das vigas não se apresentaram da mesma forma.

A metodologia empregada para os testes das vigas também promoveu resultados bastante satisfatórios. O maior deles foi que ficou comprovada a importância e as vantagens citadas na revisão da literatura quanto ao desenho da seção “T”, como na economia de material em relação à eficiência na resistência. Esta constatação foi possível com a verificação da maior contribuição que a variação da espécie representou nas flanges em comparação às almas.

As contribuições relativas das Flanges foram superiores às das Almas em todas as variáveis (MOE, MOR e Deflexão), o que era esperado, devido às posições em que estas se encontram no elemento, onde são maiores os efeitos das tensões.

As menores Deflexões atingidas pelas vigas com Flanges de Eucalipto foram em parte responsáveis pelo maior acréscimo do Fator Flange no MOE do que no MOR, pois neste

primeiro a Deflexão participa do cálculo no denominador da fórmula. Isto pode ser quantificado pelo acréscimo relativo na ordem de 30,43% no MOE e de apenas 11,55% no MOR das Flanges de Eucalipto comparadas às de Pinus.

Os valores do MOE para o Fator Alma decresceram do OSB para o Compensado de Pinus e depois para o Compensado de Eucalipto, já nos valores do MOR das Vigas com Flange de Eucalipto houve uma inversão, onde o decréscimo ocorreu do Compensado de Eucalipto para o Compensado de Pinus e finalmente para o OSB, e nas Vigas com Flanges de Pinus o decréscimo foi do Compensado de Pinus para o Compensado de Eucalipto, passando pelo OSB.

Na média, os valores relativos expressam um MOE do OSB 26,78% maior que o MOE do Compensado de Pinus e 40,37% maior que o MOE do Compensado de Eucalipto. O MOR do Compensado de Pinus é 5,25% maior que o MOR do OSB e 7,61% maior que o MOR do Compensado de Eucalipto.

O maior valor para o MOE de 4.037 tf/cm² foi obtido para o Tratamento 4, que combinou Flanges de Eucalipto com Alma de OSB, e o menor de 2.143,26 tf/cm² foi conferido no Tratamento 3 que combinou Flanges de Pinus com Alma de Compensado de Eucalipto.

O Tratamento 6, que combinou Flanges e Alma de Eucalipto obteve o maior MOR, com o valor de 8,63 tf/cm², e o Tratamento 3 (Flanges de Pinus com Alma de Compensado de Eucalipto) apresentou o menor MOR, de 6,92 tf/cm². Valendo lembrar que a hipótese da nulidade para esta variável foi confirmada, em outras palavras, que estes valores maiores ou menores não diferem da média dos tratamentos.

O F calculado para a interação dos Fatores Flange e Alma, menor que o tabelado nas 3 variáveis, que confirma a nulidade da variação entre as médias, comprova a compatibilidade entre os materiais utilizados, e que qualquer combinação apresenta uma performance satisfatória.

Mesmo o MOE tendo apresentado variações maiores para alguns dos tratamentos, estas variações não foram tão acentuadas quando considerados os conjuntos dos fatores, o que pôde ser conferido nos desdobramentos.

No conjunto das variáveis MOE, MOR e Deflexão, podemos concluir para efeitos de consideração, que o Tratamento 4, que combinou Flanges de Eucalipto com Alma de OSB, foi

o que somou o melhor destes conjuntos; principalmente por este ter apresentado o melhor resultado para o MOE, que foi a única variável a apresentar diferença significativa entre os tratamentos.

Baseando-se na realização deste estudo e nas conclusões, pode-se recomendar para futuros estudos:

- a) Que seja realizada, sempre que possível, a classificação do material, esteja ele na forma de partículas ou madeira laminada, para produção de painéis destinados a composição de elementos estruturais.
- b) A realização de estudos semelhantes com vigas de dimensões que possam ser comparadas com as designações pré-determinadas da APA, SBA ou outros órgãos.
- c) A busca de outras formas de materiais para composição das vigas, como madeira sólida, sarrafeados e PSL (“Paralel Strand Lumber”), e até mesmo outras espécies de madeira.
- d) O desenvolvimento de testes comparativos entre desenhos da seção em vigas com mesma altura e mesma composição, relacionando resistência/peso ou volume de material.
- e) O desenvolvimento de estudos de viabilidade econômica para produção comercial de diversos tipos de elementos engenheirados de madeira.
- f) A inclusão da análise de outras propriedades em estudos das vigas, como a compressão perpendicular (na viga), cisalhamento, linha de cola, entre outras.
- g) A execução de outros testes complementares com cada combinação com um número maior de repetições para minimização do erro estatístico e para obtenção de dados quantitativos, e não somente qualitativos, permitindo o maior conhecimento destes elementos, e o ajuste de equações que relacionem as propriedades com as dimensões.

6 LISTA DE REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, C. E. C. de; MENDES, L. M.; PIO, N. da S. **Influência das Variáveis de Processamento na Produção de Painéis OSB**. Curitiba, 1999. 79 f. Trabalho de Pós-graduação (Disciplina Tecnologia da Produção de Painéis OSB) – Curso de Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Committee D7 on Wood. Subcommittee D07.01 on Fundamental Test Methods and Properties. **D2395 - Standard test methods for specific gravity of wood and wood-base materials**. In: Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia, USA 1983.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Committee D7 on Wood. Subcommittee D07.02 on Lumber and Engineered Wood Products. **D198 - Standard methods of static tests of lumber in structural sizes**. In: Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia, USA 1994.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Committee D7 on Wood. Subcommittee D07.03 on Panel Products. **D3043 - Standard methods of testing structural panels in flexure**. In: Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia, USA, 1995.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Committee D7 on Wood. Subcommittee D07.03 on Panel Products. **D3501 - Standard test methods for wood-based structural panels in compression**. In: Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia, USA 1994.

BALDWIN, R. F. **Plywood and Veneer-based Products: Manufacturing Practices**. São Francisco, CA, EUA, Miller Freeman Inc., 1995.

BORDEN. **Boletim Técnico: Cascophen RS-216-M – Resina a base de resorcinol-formol, indicada para colagem à prova d'água de madeiras**. Departamento Técnico, 2002.

CLOUTIER, A. Oriented Strand Board (OSB): Raw Material, Manufacturing Process, Properties, and Uses. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRA DE ALTA TECNOLOGIA, 1., 1998, Belo Horizonte. **Anais...Viçosa, MG: SIF, UFV, DEF, 1998. p. 173-185.**

DELESPINASSE. B. F. M. **Simulação de análise de investimentos na indústria de compensados no Brasil**. Curitiba, 1995. 71 f. Dissertação (Mestre em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

ENGINEERED WOOD ASSOCIATION. Engineered Wood Systems. **APA Performance Rated I-Joists**. Disponível em: <<http://www.apawood.org/pdfs/managed/Z725A.pdf>> Acesso em 06 de jun. 2002.

ENGINEERED WOOD ASSOCIATION. Engineered Wood Systems. **Engineered Wood Construction Guide**. Disponível em: <<http://www.apawood.org/pdfs/managed/E30rEWP.pdf>> Acesso em 06 de jun. 2002.

ENGINEERED WOOD ASSOCIATION. Engineered Wood Systems. **PRI-400: Performance Standards for APA EWS I-joists**. Disponível em: <<http://apawood.org/pdfs/managed/EWSX720F.pdf>> Acesso em 06 de jun. 2002.

ENGINEERED WOOD ASSOCIATION. Engineered Wood Systems. **Understanding Engineered Wood Products** Disponível em: <http://www.apawood.org/woodu/secure/101/unit_one/1unit1_story.cfm> Acesso em 06 de jun. 2002.

FISETTE, P. **The Argument for I-joists: New products and increased competition make superior I-joist performance available at solid-lumber prices**. In: Fine Homebuilding Magazine, n. 129, p. 70-73, 2000. Disponível em: <<http://www.taunton.com/finehomebuilding/pages/h00039.asp>> Acesso em 09 de jun. 2002.

FISETTE, P. **The Evolution of Engineered Wood I-joists**. 2000. Disponível em: <http://www.umass.edu/bmatwt/publications/articles/i_joyist.html> Acesso em 20 de ago. 2003.

FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood Handbook**: Basic information on wood as a material of construction with data for its use in design and specifications. Washington, D.C.: United States Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1955, 528 p.

FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood Handbook**: Wood as an engineering material. Madison, WI: United States Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1999, 463 p.

GROMALA, D. S. Systems approach to design. In: FOREST PRODUCTS SOCIETY. **Wood Products for Engineered Structures**: Issues affecting growth and acceptance of engineered wood products. Madison, Wisconsin: Forest Products Society, 1992. p. 41.

HIGA, R. C. V. **Avaliação e recuperação de *Eucalyptus dunnii* Maiden atingidos por geadas em Campo do Tenente, PR.** Curitiba, 1998. 112 f. Tese (Doutor em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira.** 1ª edição. Curitiba, 1998. Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná: Série didática.

JANSSENS, D. P. The Increasing Recognition of Oriented Strand Board (OSB) as a Preferred Structural Panel. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRA DE ALTA TECNOLOGIA, 1., 1998, Belo Horizonte. **Anais...**Viçosa, MG: SIF, UFV, DEF, 1998. p. 169-172.

KNIGHT, W. StatPrime: public domain. **Statistical tables.** Disponível em: <<http://www.math.unb.ca/~knight/utility/f0.htm>> Acesso em 22 de set. 2003.

KOEHLER, H. S. **Estatística experimental.** Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 1996.

KOLLMANN, F. F. P.; KUENZI, E. W.; STAMM, A. J. **Principles of Wood Science and Technology, vol. II, Wood Based Materials.** Berlim: Springer-Verlag, 1968.

KRYGIER, C.; BARNECUT, S. Wood Promotion Network. **New Products in Small Building Floor Systems: I-Joists, Laminated Timber, and Open Web Truss Joists.** Disponível em: <<http://www.apawood.org/pdfs/managed/Z725A.pdf>> Acesso em 09 de jun. 2002.

LAUFENBERG, T. L. Enhancements to performance: wood composites. In: FOREST PRODUCTS SOCIETY. **Wood Products for Engineered Structures:** Issues affecting growth and acceptance of engineered wood products. Madison, Wisconsin: Forest Products Society, 1992. p. 47.

MARRA, A. A. **Technology of Wood Bonding:** principles and practice. Nova York: Van Nostrand Reinhold, 1992.

MATOS, J L. M. **Estudo Sobre a Produção de Painéis Estruturais de Lâminas Paralelas de *Pinus taeda* L.** Curitiba, 1997. 117 f. Tese (Doutor em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

MATSUNAGA, D.. Curitiba, 1997. 117 f. Tese (Doutor em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

MUÑIZ, G. I. **Caracterização e desenvolvimento de modelos para estimar as propriedades e o comportamento na secagem da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. e *Pinus taeda* L.** Curitiba, 1993. 236 f. Tese (Doutor em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

NATIONAL COMMITTEE ON WOOD UTILIZATION. United States Department of Commerce. **Wood Construction: principles, practice and details.** Nova York: McGraw-Hill Book Company, 1929.

PALMA, H. A. L. **Determinação de parâmetros elásticos e de resistência e a influência da madeira nas propriedades de compensado de *Pinus elliottii* Engelm. e *Pinus taeda* L.** Curitiba, 1994. 171 f. Tese (Doutor em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

PIO, N. S. **Produção de Painéis Estruturais LVL de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden com Lâminas Pré-classificadas.** Curitiba, 2002. 170 f. Tese (Doutor em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

PIZZI, A. **Wood Adhesives: Chemistry and Technology.** National Timber Research Institute. Pretoria, África do Sul. Nova York: Marcel Dekker, 1983.

ROCHA, M. P. da. ***Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus dunnii* Maiden como fontes de matéria prima para serrarias.** Curitiba, 2000. 185 f. Tese (Doutor em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

SEVERO, E. T. D. **Estudo sobre o efeito da vaporização nas propriedades e comportamento de secagem da madeira de *Eucalyptus dunnii* Maiden.** Curitiba, 1998. 215 f. Tese (Doutor em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

SILVA, I. P. da. **Métodos estatísticos aplicados à pesquisa científica: uma abordagem para profissionais da pesquisa agropecuária.** Recife: UFRPE, 1999.

SILVA, J. C. G. L. **Análise da eficiência econômica de indústria de compensado no Estado do Paraná.** Curitiba, 1987. 143 f. Dissertação (Mestre em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

STEIDA, C. Título da parte. In: INTERNATIONAL CONFERENCE PROCEEDINGS. **Wood Product Demand and the Environment.** 1992. p. 225.

STRUCTURAL BOARD ASSOCIATION. Technical Bulletin. **Comparison of Oriented Strandboard (OSB) and Construction Plywood (CDX)**. Disponível em: <<http://www.osbguide.com/pdfs/TB116.pdf>>. Acesso em 04 de março 2003.

TAMELLA, K. Laminated Veneer Lumber (LVL) Manufacturing. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRA DE ALTA TECNOLOGIA, 1., 1998, Belo Horizonte. **Anais...**Viçosa, MG: SIF, UFV, DEF, 1998. p. 162-168.

TOLEDO, G. L., OVALLE, I. I. **Estatística básica**. 2ª edição. São Paulo: Atlas, 1995.

WHITE, R. H. Enhancements to performance: design for fire resistance. In: FOREST PRODUCTS SOCIETY. **Wood Products for Engineered Structures**: Issues affecting growth and acceptance of engineered wood products. Madison, Wisconsin: Forest Products Society, 1992. p. 63.

WILSON, J. B. **Wood Product Demand and the Enviromen**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE PROCEEDINGS, 1992. p. 97.

APÊNDICES

APÊNDICE 1 – VALORES MÉDIOS, DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA APARENTE, DO MÓDULO DE ELASTICIDADE E DO MÓDULO DE RUPTURA DOS PAINÉIS DE LÂMINAS PARALELAS DE PINUS E EUCALIPTO	84
APÊNDICE 2 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA MASSA ESPECÍFICA APARENTE DOS PAINÉIS DE LÂMINAS PARALELAS DE <i>PINUS TAEDA</i> L, <i>EUCALYPTUS DUNNII</i> MAIDEN E DA INTERAÇÃO ENTRE ELES.....	85
APÊNDICE 3 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO MÓDULO DE ELASTICIDADE DOS PAINÉIS DE LÂMINAS PARALELAS DE <i>PINUS TAEDA</i> L, <i>EUCALYPTUS DUNNII</i> MAIDEN E DA INTERAÇÃO ENTRE ELES.....	85
APÊNDICE 4 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO MÓDULO DE RUPTURA DOS PAINÉIS DE LÂMINAS PARALELAS DE <i>PINUS TAEDA</i> L, <i>EUCALYPTUS DUNNII</i> MAIDEN E DA INTERAÇÃO ENTRE ELES.....	86
APÊNDICE 5 – TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS PELO MÉTODO DE TUKEY TUKEY DA MASSA ESPECÍFICA APARENTE DOS PAINÉIS DE LÂMINAS PARALELAS DE <i>PINUS TAEDA</i> L, <i>EUCALYPTUS DUNNII</i> MAIDEN E DA INTERAÇÃO ENTRE ELES.....	86
APÊNDICE 6 – TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS PELO MÉTODO DE TUKEY TUKEY DO MÓDULO DE ELASTICIDADE DOS PAINÉIS DE LÂMINAS PARALELAS DE <i>PINUS TAEDA</i> L, <i>EUCALYPTUS DUNNII</i> MAIDEN E DA INTERAÇÃO ENTRE ELES.....	87
APÊNDICE 7 – TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS PELO MÉTODO DE TUKEY TUKEY DO MÓDULO DE RUPTURA DOS PAINÉIS DE LÂMINAS PARALELAS DE <i>PINUS TAEDA</i> L, <i>EUCALYPTUS DUNNII</i> MAIDEN E DA INTERAÇÃO ENTRE ELES	88
APÊNDICE 8 – VALORES MÉDIOS, DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA APARENTE DOS PAINÉIS COMPENSADOS DE PINUS E EUCALIPTO E DO OSB.....	89
APÊNDICE 9 – VALORES MÉDIOS, DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE DOS PAINÉIS COMPENSADOS DE PINUS E EUCALIPTO E DO OSB	90
APÊNDICE 10 – VALORES MÉDIOS, DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO DO MÓDULO DE RUPTURA DOS PAINÉIS COMPENSADOS DE PINUS E EUCALIPTO E DO OSB	91
APÊNDICE 11 – VALORES MÉDIOS, DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO DA TENSÃO MÁXIMA NOS TESTES DE COMPRESSÃO PERPENDICULAR DOS PAINÉIS COMPENSADOS DE PINUS E EUCALIPTO E DO OSB	92
APÊNDICE 12 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA MASSA ESPECÍFICA APARENTE DOS PAINÉIS COMPENSADOS DE <i>PINUS TAEDA</i> L E <i>EUCALYPTUS DUNNII</i> MAIDEN, DO OSB E DA INTERAÇÃO ENTRE ELES.....	92
APÊNDICE 13 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO MÓDULO DE ELASTICIDADE PARALELO DOS PAINÉIS COMPENSADOS DE <i>PINUS TAEDA</i> L E <i>EUCALYPTUS DUNNII</i> MAIDEN, DO OSB E DA INTERAÇÃO ENTRE ELES	93

APÊNDICE 14 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO MÓDULO DE ELASTICIDADE PERPENDICULAR DOS PAINÉIS COMPENSADOS DE <i>PINUS TAEDA</i> L E <i>EUCALYPTUS DUNNII</i> MAIDEN, DO OSB E DA INTERAÇÃO ENTRE ELES.....	94
APÊNDICE 15 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO MÓDULO DE RUPTURA PARALELO DOS PAINÉIS COMPENSADOS DE <i>PINUS TAEDA</i> L E <i>EUCALYPTUS DUNNII</i> MAIDEN, DO OSB E DA INTERAÇÃO ENTRE ELES.....	94
APÊNDICE 16 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO MÓDULO DE RUPTURA PERPENDICULAR DOS PAINÉIS COMPENSADOS DE <i>PINUS TAEDA</i> L E <i>EUCALYPTUS DUNNII</i> MAIDEN, DO OSB E DA INTERAÇÃO ENTRE ELES.....	95
APÊNDICE 17 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA TENSÃO MÁXIMA NO TESTE DE COMPRESSÃO PERPENDICULAR DOS PAINÉIS COMPENSADOS DE <i>PINUS TAEDA</i> L E <i>EUCALYPTUS DUNNII</i> MAIDEN, DO OSB E DA INTERAÇÃO ENTRE ELES.....	96
APÊNDICE 18 – TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS PELO MÉTODO DE TUKEY TUKEY DA MASSA ESPECÍFICA APARENTE DOS PAINÉIS COMPENSADOS DE <i>PINUS TAEDA</i> L E <i>EUCALYPTUS DUNNII</i> MAIDEN, DO OSB E DA INTERAÇÃO ENTRE ELES.....	96
APÊNDICE 19 – TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS PELO MÉTODO DE TUKEY TUKEY DO MÓDULO DE ELASTICIDADE DOS PAINÉIS COMPENSADOS DE <i>PINUS TAEDA</i> L, <i>EUCALYPTUS DUNNII</i> MAIDEN, DO OSB E DA INTERAÇÃO ENTRE ELES.....	98
APÊNDICE 20 – TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS PELO MÉTODO DE TUKEY TUKEY DO MÓDULO DE RUPTURA DOS PAINÉIS COMPENSADOS DE <i>PINUS TAEDA</i> L, <i>EUCALYPTUS DUNNII</i> MAIDEN, DO OSB E DA INTERAÇÃO ENTRE ELES.....	99
APÊNDICE 21 – TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS PELO MÉTODO DE TUKEY TUKEY DA TENSÃO MÁXIMA DE COMPRESSÃO DOS PAINÉIS COMPENSADOS DE <i>PINUS TAEDA</i> L, <i>EUCALYPTUS DUNNII</i> MAIDEN, DO OSB E DA INTERAÇÃO ENTRE ELES.....	101
APÊNDICE 22 – TABELAS DE DUPLA ENTRADA DAS MÉDIAS DO MOE, MOR E DEFLEXÃO DOS TRATAMENTOS DAS VIGAS “T”.....	102
APÊNDICE 23 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO MOE DAS VIGAS “T” COM OS DESDOBRAMENTOS.....	103
APÊNDICE 24 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO MOR DAS VIGAS “T” COM OS DESDOBRAMENTOS.....	104
APÊNDICE 25 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA DEFLEXÃO NO LIMITE PROPORCIONAL DAS VIGAS “T” COM OS DESDOBRAMENTOS.....	105
APÊNDICE 26 – TABELAS DOS TESTES DE MÉDIA DE TUKEY PARA O MOE, MOR E DEFLEXÃO.....	106

APÊNDICE 1 – VALORES MÉDIOS, DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA APARENTE, DO MÓDULO DE ELASTICIDADE E DO MÓDULO DE RUPTURA DOS PAINÉIS DE LÂMINAS PARALELAS DE PINUS E EUCALIPTO

	Tratamento Nº do Painel	Massa Específica g/cm ³	S g/cm ³	CV	CV%
Pinus	1	0,587	0,011	0,018	1,82
	2	0,611	0,016	0,026	2,65
	3	0,606	0,014	0,023	2,29
	4	0,580	0,019	0,033	3,31
	5	0,593	0,036	0,061	6,06
	Geral	0,595	0,021	0,035	3,54
Eucalipto	6	0,787	0,020	0,025	2,52
	7	0,750	0,027	0,036	3,60
	8	0,781	0,014	0,018	1,83
	9	0,779	0,015	0,020	1,98
	10	0,782	0,021	0,026	2,65
	Geral	0,776	0,023	0,026	2,57
		MOE kgf/cm ²	S kgf/cm ²	CV	CV%
Pinus	1	93417,480	8329,218	0,089	8,92
	2	80588,660	7984,068	0,099	9,91
	3	70360,180	6411,086	0,091	9,11
	4	82939,300	15456,395	0,186	18,64
	5	75632,060	19477,912	0,258	25,75
	Geral	80587,536	12589,777	0,156	15,62
Eucalipto	6	131989,18	12864,18	0,097	9,75
	7	131804,20	16241,60	0,123	12,32
	8	134056,56	15025,88	0,112	11,21
	9	135972,98	13232,93	0,097	9,73
	10	134473,26	17594,77	0,131	13,08
	Geral	133659,24	15097,95	0,113	11,30
		MOR kgf/cm ²	S kgf/cm ²	CV	CV%
Pinus	1	735,440	82,344	0,112	11,20
	2	667,960	31,018	0,046	4,64
	3	703,940	80,502	0,114	11,44
	4	671,960	62,009	0,092	9,23
	5	613,420	104,967	0,171	17,11
	Geral	678,544	76,271	0,112	11,24
Eucalipto	6	878,82	180,74	0,206	20,57
	7	886,00	186,29	0,210	21,03
	8	930,96	38,41	0,041	4,13
	9	927,62	35,56	0,038	3,83
	10	956,08	141,04	0,148	14,75
	Geral	915,90	134,16	0,146	14,65

APÊNDICE 2 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA MASSA ESPECÍFICA APARENTE DOS PAINÉIS DE LÂMINAS PARALELAS DE *Pinus taeda* L, *Eucalyptus dunnii* Maiden E DA INTERAÇÃO ENTRE ELES

PINUS	FONTES DE VARIÇÃO	SQ	GL	QM	F	F*
	Chapas	0,003318	4	0,00083	1,863215	2,87
	Resíduo	0,008905	20	0,000445		
	Total	0,012223	24			

EUCALIPTO	FONTES DE VARIÇÃO	SQ	GL	QM	F	F*
	Chapas	0,004319	4	0,00108	2,708	2,87
	Resíduo	0,007974	20	0,000399		
	Total	0,012293	24			

INTERAÇÃO	FONTES DE VARIÇÃO	SQ	GL	QM	F	F*
	CHAPAS	0,414406	9	0,046045	109,12	2,12
	ERRO	0,016879	40	0,000422		
	TOTAL	0,431285	49			

APÊNDICE 3 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO MÓDULO DE ELASTICIDADE DOS PAINÉIS DE LÂMINAS PARALELAS DE *Pinus taeda* L, *Eucalyptus dunnii* Maiden E DA INTERAÇÃO ENTRE ELES

PINUS	FONTES DE VARIÇÃO	SQ	GL	QM	F	F*
	CHAPAS	1,5E+09	4	374117264	2,360324	2,87
	ERRO	3,17E+09	20	158502488		
	TOTAL	4,67E+09	24			

EUCALIPTO	FONTES DE VARIÇÃO	SQ	GL	QM	F	F*
	CHAPAS	62020792	4	15505198	0,06802	2,87
	ERRO	4,56E+09	20	227947980		
	TOTAL	4,62E+09	24			

INTERAÇÃO	FONTES DE VARIÇÃO	SQ	GL	QM	F	F*
	CHAPAS	3,68E+10	9	4085117401	21,1417	2,12
	ERRO	7,73E+09	40	193225234		
	TOTAL	4,45E+10	49			

NOTA: F* - VALOR TABELADO PARA DISTRIBUIÇÃO DE F A 95%.

APÊNDICE 4 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO MÓDULO DE RUPTURA DOS PAINÉIS DE LÂMINAS PARALELAS DE *Pinus taeda* L, *Eucalyptus dunnii* Maiden E DA INTERAÇÃO ENTRE ELES

PINUS	FONTES DE VARIACÃO	SQ	GL	QM	F	F*
	CHAPAS	41393,09	4	10348,27	1,778882	2,87
	ERRO	116345,8	20	5817,29		
	TOTAL	157738,9	24			

EUCALIPTO	FONTES DE VARIACÃO	SQ	GL	QM	F	F*
	CHAPAS	21237,654	4	5309,4134	0,2949704	2,87
	ERRO	359996,34	20	17999,817		
	TOTAL	381233,99	24			

INTERAÇÃO	FONTES DE VARIACÃO	SQ	GL	QM	F	F*
	CHAPAS	766830,4	9	85203,38	7,154805	2,12
	ERRO	476342,1	40	11908,55		
	TOTAL	1243173	49			

APÊNDICE 5 – TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS PELO MÉTODO DE TUKEY TUKEY DA MASSA ESPECÍFICA APARENTE DOS PAINÉIS DE LÂMINAS PARALELAS DE *Pinus taeda* L, *Eucalyptus dunnii* Maiden E DA INTERAÇÃO ENTRE ELES

TRAT	Chapas	Média	Dif	W
				0,03992
PINUS	2	0,610932		a
	3	0,605861	0,00507	a
	5	0,592733	0,013128	a
	1	0,587108	0,005626	a
	4	0,58	0,007108	a

TRAT	Chapas	Média	Dif	W
				0,03777
EUCALIPTO	6	0,78714		a
	10	0,781725	0,005415	a
	8	0,781064	0,000661	a
	9	0,778642	0,002422	a
	7	0,750026	0,028616	a

TRAT	Chapas	Média	Dif	W
				0,04345
PINUS	6	0,78714		a
	10	0,781725	0,005415	a
	8	0,781064	0,000661	a
	9	0,778642	0,002422	a
	7	0,750026	0,028616	a
EUCALIPTO	2	0,610932	0,139094	b
	3	0,605861	0,00507	b
	5	0,592733	0,013128	b
	1	0,587108	0,005626	b
	4	0,58	0,007108	b

APÊNDICE 6 – TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS PELO MÉTODO DE TUKEY
TUKEY DO MÓDULO DE ELASTICIDADE DOS PAINÉIS DE
LÂMINAS PARALELAS DE *Pinus taeda* L, *Eucalyptus dunnii* Maiden E
DA INTERAÇÃO ENTRE ELES

TRAT	Chapas	Média	Dif	W
				23816,3
PINUS	1	93417,48		a
	4	82939,3	10478,18	a
	2	80588,66	2350,64	a
	5	75632,06	4956,6	a
	3	70360,18	5271,88	a

TRAT	Chapas	Média	Dif	W
				28561
EUCALIPTO	9	135972,98		a
	10	134473,26	1499,72	a
	8	134056,56	416,7	a
	6	131989,18	2067,38	a
	7	131804,2	184,98	a

TRAT	Chapas	Média	Dif	W
				29404,1
PINUS	1	93417,48	38386,72	a
	4	82939,3	10478,18	a
	2	80588,66	2350,64	a
	5	75632,06	4956,6	a
	3	70360,18	5271,88	a
EUCALIPTO	9	135972,98		b
	10	134473,26	1499,72	b
	8	134056,56	416,7	b
	6	131989,18	2067,38	b
	7	131804,2	184,98	b

NOTA: W é o valor calculado como comparador em função do QMresíduo, do número de repetições e de um valor tabelado entre o número de argumentos e do GLresíduo.

APÊNDICE 7 – TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS PELO MÉTODO DE TUKEY
 TUKEY DO MÓDULO DE RUPTURA DOS PAINÉIS DE LÂMINAS
 PARALELAS DE *Pinus taeda* L, *Eucalyptus dunnii* Maiden E DA
 INTERAÇÃO ENTRE ELES

TRAT	Chapas	Média	Dif	W
				144,283
PINUS	1	735,44		a
	4	703,94	31,5	a
	2	671,96	31,98	a
	3	667,96	4	a
	5	613,42	54,54	a
TRAT	Chapas	Média	Dif	W
				253,799
EUCALIPTO	10	956,08		a
	8	930,96	25,12	a
	9	927,62	3,34	a
	7	886	41,62	a
	6	878,82	7,18	a
TRAT	Chapas	Média	Dif	W
				230,837
PINUS	10	956,08		a
	8	930,96	25,12	a
	9	927,62	3,34	a
	7	886	41,62	a
	6	878,82	7,18	a
EUCALIPTO	1	735,44	143,38	a
	3	703,94	31,5	a
	4	671,96	31,98	a
	2	667,96	4	a
	5	613,42	54,54	a

NOTA: W é o valor calculado como comparador em função do Qmresíduo, do número de repetições e de um valor tabelado entre o número de argumentos e do Giresíduo.

APÊNDICE 8 – VALORES MÉDIOS, DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA APARENTE DOS PAINÉIS COMPENSADOS DE PINUS E EUCALIPTO E DO OSB

	Tratamento Nº do Painel	Orientação	Massa Específica g/cm ³	S g/cm ³	CV	CV%
Pinus	1	Paralel	0,5964444	0,012562	0,021061	2,106091
	2	Paralel	0,5555887	0,016643	0,029955	2,995483
	3	Paralel	0,5608884	0,021825	0,038912	3,891153
	4	Paralel	0,5583198	0,011449	0,020507	2,050673
	5	Paralel	0,5020895	0,024872	0,049538	4,953795
	1	Perpend	0,5620153	0,012582	0,022387	2,238678
	2	Perpend	0,5765961	0,016579	0,028753	2,87534
	3	Perpend	0,5744128	0,012308	0,021427	2,142668
	4	Perpend	0,5727829	0,012763	0,022283	2,228313
	5	Perpend	0,530767	0,022215	0,041854	4,185416
	Geral		0,55899	0,01703	0,03047	3,04744
Eucalipto	6	Paralel	0,7282078	0,007425	0,010196	1,019644
	7	Paralel	0,627864	0,008545	0,013609	1,360884
	8	Paralel	0,6758726	0,009538	0,014113	1,411274
	9	Paralel	0,6795491	0,013177	0,019391	1,939077
	10	Paralel	0,7436485	0,007902	0,010625	1,062532
	6	Perpend	0,6692406	0,017978	0,026863	2,686343
	7	Perpend	0,6419063	0,008555	0,013328	1,332788
	8	Perpend	0,6534809	0,017181	0,026292	2,629211
	9	Perpend	0,6663249	0,018904	0,028371	2,837055
	10	Perpend	0,744455	0,014578	0,019582	1,958238
	Geral		0,683055	0,0131	0,01918	1,91818
OSB	1	Paralel	0,6189729	0,017568	0,028382	2,838206
	2	Paralel	0,629618	0,01915	0,030416	3,041564
	3	Paralel	0,6264782	0,010761	0,017177	1,717699
	4	Paralel	0,6210029	0,010561	0,017006	1,70064
	5	Paralel	0,6323554	0,022995	0,036365	3,636451
	1	Perpend	0,6389798	0,017742	0,027766	2,776638
	2	Perpend	0,6102547	0,014179	0,023235	2,32352
	3	Perpend	0,6357949	0,009661	0,015195	1,519508
	4	Perpend	0,6528717	0,01213	0,018579	1,857932
	5	Perpend	0,6373864	0,021724	0,034083	3,408297
	Geral		0,6303715	0,01631	0,02587	2,58715

APÊNDICE 9 – VALORES MÉDIOS, DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DE VARIÇÃO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE DOS PAINÉIS COMPENSADOS DE PINUS E EUCALIPTO E DO OSB

Orientação	Painel	Tratamento Nº do Painel	MOE kgf/cm ²	S kgf/cm ²	CV%
Paralelo	Compensado de Eucípto	6	137364,6	13765,8	10,021
		7	113721,2	3890,6	3,421
		8	143262,6	8533,3	5,956
		9	128467,4	26861,1	20,909
		10	141256,9	27797,5	19,679
		Geral	132814,5	13310,4	10,021
	Compensado de Pinus	1	51506,3	3430,5	6,660
		2	56060,3	6300,7	11,239
		3	70036,5	9958,1	14,218
		4	70788,2	10510,2	14,847
		5	65918,3	13260,3	20,116
		Geral	62861,9	6610,1	10,515
	OSB	1	48025,5	1342,4	2,795
		2	50212,4	2913,3	5,802
		3	49667,7	2638,2	5,312
4		45881,4	7490,6	16,326	
5		51506,5	10206,9	19,817	
	Geral	49058,7	4213,5	8,589	
Perpendicular	Compensado de Eucípto	6	50555,6	2057,7	4,070
		7	39712,9	3754,1	9,453
		8	42063,4	1875,3	4,458
		9	45659,2	2978,9	6,524
		10	39611,7	2050,1	5,176
		Geral	43520,5	1868,7	4,294
	Compensado de Pinus	1	30662,3	2913,2	9,501
		2	53143,2	6410,1	12,062
		3	37430,3	2990,7	7,990
		4	37078,1	5272,1	14,219
		5	22599,0	2256,8	9,986
		Geral	36182,6	3023,4	8,356
	OSB	1	29513,0	11229,1	38,048
		2	25506,4	9943,7	38,985
		3	38812,6	12715,0	32,760
4		24388,1	2272,9	9,320	
5		35273,9	9819,9	27,839	
	Geral	30698,8	6987,4	22,761	

APÊNDICE 10 – VALORES MÉDIOS, DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DE VARIACÃO DO MÓDULO DE RUPTURA DOS PAINÉIS COMPENSADOS DE PINUS E EUCALIPTO E DO OSB

Orientação	Painel	Tratamento Nº do Painel	MOR kgf/cm ²	S kgf/cm ²	CV%
Paralelo	Compensado de Eucalipto	9	779,88	131,956	16,92
		10	675,00	164,910	24,43
		7	649,74	70,007	10,77
		6	625,32	123,294	19,72
		8	616,98	74,270	12,04
		Geral	669,38	83,801	12,52
	Compensado de Pinus	4	510,90	95,36	18,66
		3	498,66	49,44	9,91
		1	458,02	103,05	22,50
		5	386,94	73,78	19,07
		2	354,88	104,42	29,42
		Geral	441,88	62,05	14,04
	OSB	1	231,36	15,679	6,78
		2	230,16	24,191	10,51
		5	180,36	26,328	14,60
		3	179,46	18,435	10,27
		4	169,52	33,076	19,51
		Geral	198,17	17,199	8,68
Perpendicular	Compensado de Eucalipto	9	466,48	29,801	6,39
		10	420,94	65,627	15,59
		6	357,98	99,922	27,91
		7	355,58	55,322	15,56
		8	338,34	60,376	17,84
		Geral	387,86	46,782	12,06
	Compensado de Pinus	2	520,04	77,09	14,82
		4	407,26	61,66	15,14
		3	400,02	60,85	15,21
		1	312,42	32,28	10,33
		5	212,12	24,56	11,58
		Geral	370,37	38,85	10,49
	OSB	4	168,80	9,249	5,48
		3	159,98	27,809	17,38
		1	149,08	20,798	13,95
		2	144,52	20,894	14,46
		5	139,94	27,098	19,36
		Geral	152,46	15,692	10,29

APÊNDICE 11 – VALORES MÉDIOS, DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO DA TENSÃO MÁXIMA NOS TESTES DE COMPRESSÃO PERPENDICULAR DOS PAINÉIS COMPENSADOS DE PINUS E EUCALIPTO E DO OSB

	Tratamento Nº do Painel	Tensão kgf/mm ²	S kgf/mm ²	CV	CV%
Pinus	1	188,1	31,2	0,1658	16,58
	2	205,7	63,7	0,3095	30,95
	3	205,0	24,3	0,1184	11,84
	4	216,7	29,6	0,1366	13,66
	5	145,4	30,2	0,2075	20,75
	Geral	192,2	38,5	0,2002	20,02
Eucalipto	6	233,8	18,5	0,0790	7,90
	7	190,6	31,7	0,1665	16,65
	8	182,1	14,8	0,0814	8,14
	9	190,1	20,3	0,1068	10,68
	10	216,9	30,7	0,1417	14,17
	Geral	202,7	24,2	0,1193	11,93
OSB	1	125,6	34,8	0,2775	27,75
	2	118,7	22,7	0,1917	19,17
	3	91,7	30,2	0,3294	32,94
	4	123,0	26,4	0,2145	21,45
	5	104,4	16,6	0,1593	15,93
	Geral	112,7	26,9	0,2387	23,87

APÊNDICE 12 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA MASSA ESPECÍFICA APARENTE DOS PAINÉIS COMPENSADOS DE *Pinus taeda* L E *Eucalyptus dunnii* Maiden, DO OSB E DA INTERAÇÃO ENTRE ELES

PINUS	FONTES DE VARIAÇÃO	SQ	GL	QM	F	F*
	Chapas	0,0309995	9	0,0034444	11,869506	2,12
Resíduo	0,0116075	40	0,0002902			
Total	0,042607	49				

EUCALIPTO	FONTES DE VARIAÇÃO	SQ	GL	QM	F	F*
	Chapas	0,078144	9	0,0086827	50,57827	2,12
Resíduo	0,0068667	40	0,0001717			
Total	0,0850107	49				

OSB	FONTES DE VARIACÃO	SQ	GL	QM	F	F*
	Chapas	0,0065052	9	0,0007228	2,7175643	2,12
	Resíduo	0,0106389	40	0,000266		
	Total	0,017144	49			

INTERACÇÃO	FONTES DE VARIACÃO	SQ	GL	QM	F	F*
	CHAPAS	0,503362	29	0,017357	71,5443	1,56
	ERRO	0,029113	120	0,000243		
	TOTAL	0,532475	149			

APÊNDICE 13 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO MÓDULO DE ELASTICIDADE PARALELO DOS PAINÉIS COMPENSADOS DE *Pinus taeda* L E *Eucalyptus dunnii* Maiden, DO OSB E DA INTERAÇÃO ENTRE ELAS

PINUS	FONTES DE VARIACÃO	SQ	GL	QM	F	F*
	CHAPAS	1494264743	4	373566185,7	4,27488	2,87
	ERRO	1747727190	20	87386359,49		
	TOTAL	3241991933	24			

EUCALIPTO	FONTES DE VARIACÃO	SQ	GL	QM	F	F*
	CHAPAS	2,923E+09	4	730743257	2,062299	2,87
	ERRO	7,087E+09	20	354334264		
	TOTAL	1,001E+10	24			

OSB	FONTES DE VARIACÃO	SQ	GL	QM	F	F*
	Chapas	94281531	4	23570383	0,663807	2,87
	Resíduo	710157398	20	35507870		
	Total	804438929	24			

INTERACÇÃO	FONTES DE VARIACÃO	SQ	GL	QM	F	F*
	CHAPAS	1,05E+11	14	7,52E+09	47,2981	1,86
	ERRO	9,54E+09	60	1,59E+08		
	TOTAL	1,15E+11	74			

NOTA: F* - VALOR TABELADO PARA DISTRIBUIÇÃO DE F A 95%.

APÊNDICE 14 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO MÓDULO DE ELASTICIDADE PERPENDICULAR DOS PAINÉIS COMPENSADOS DE *Pinus taeda* L E *Eucalyptus dunnii* Maiden, DO OSB E DA INTERAÇÃO ENTRE ELES

PINUS	FONTES DE VARIÇÃO	SQ	GL	QM	F	F*
	CHAPAS	2525039931	4	631259982,7	34,52988	2,87
	ERRO	365631149,7	20	18281557,48		
	TOTAL	2890671081	24			

EUCALIPTO	FONTES DE VARIÇÃO	SQ	GL	QM	F	F*
	CHAPAS	429833072	4	107458268	15,38582	2,87
	ERRO	139684799	20	6984240		
	TOTAL	569517872	24			

OSB	FONTES DE VARIÇÃO	SQ	GL	QM	F	F*
	Chapas	774794198	4	193698549	1,983653	2,87
	Resíduo	1,953E+09	20	97647407		
	Total	2,728E+09	24			

INTERAÇÃO	FONTES DE VARIÇÃO	SQ	GL	QM	F	F*
	CHAPAS	5,8E+09	14	4,14E+08	10,10985	1,86
	ERRO	2,46E+09	60	40971068		
	TOTAL	8,26E+09	74			

NOTA: F* - VALOR TABELADO PARA DISTRIBUIÇÃO DE F A 95%.

APÊNDICE 15 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO MÓDULO DE RUPTURA PARALELO DOS PAINÉIS COMPENSADOS DE *Pinus taeda* L E *Eucalyptus dunnii* Maiden, DO OSB E DA INTERAÇÃO ENTRE ELES

PINUS	FONTES DE VARIÇÃO	SQ	GL	QM	F	F*
	CHAPAS	410,05278	4	102,5132	2,850079	2,87
	ERRO	719,371	20	35,96855		
	TOTAL	1129,4238	24			

EUCALIP TO	FONTES DE VARIÇÃO	SQ	GL	QM	F	F*
	CHAPAS	356,85694	4	89,214234	1,538377	2,87
	ERRO	1159,8487	20	57,992436		

		TOTAL	1516,7057	24		
OSB	FONTES DE VARIACÃO	SQ	GL	QM	F	F*
	Chapas	73,70392	4	18,42598	7,664299	2,87
	Resíduo	48,08268	20	2,404134		
	Total	121,7866	24			
INTERAÇÃO	FONTES DE VARIACÃO	SQ	GL	QM	F	F*
	CHAPAS	12074,41	14	862,45783	26,84969	1,86
	ERRO	1927,3024	60	32,121707		
	TOTAL	14001,712	74			

APÊNDICE 16 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO MÓDULO DE RUPTURA PERPENDICULAR DOS PAINÉIS COMPENSADOS DE *Pinus taeda* L E *Eucalyptus dunnii* Maiden, DO OSB E DA INTERAÇÃO ENTRE ELES

PINUS	FONTES DE VARIACÃO	SQ	GL	QM	F	F*
	CHAPAS	1301,4469	4	325,36172	22,26428	2,87
	ERRO	292,27244	20	14,613622		
	TOTAL	1593,7193	24			
EUCALIPTO	FONTES DE VARIACÃO	SQ	GL	QM	F	F*
	CHAPAS	168,6721	4	42,168026	2,80959	2,87
	ERRO	300,17196	20	15,008598		
	TOTAL	468,84406	24			
OSB	FONTES DE VARIACÃO	SQ	GL	QM	F	F*
	Chapas	11,558816	4	2,889704	1,461824	2,87
	Resíduo	39,5356	20	1,97678		
	Total	51,094416	24			
INTERAÇÃO	FONTES DE VARIACÃO	SQ	GL	QM	F	F*
	CHAPAS	5507,522	14	393,3944	37,34876	1,86
	ERRO	631,98	60	10,533		
	TOTAL	6139,502	74			

NOTA: F* - VALOR TABELADO PARA DISTRIBUIÇÃO DE F A 95%.

APÊNDICE 17 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA TENSÃO MÁXIMA NO TESTE DE COMPRESSÃO PERPENDICULAR DOS PAINÉIS COMPENSADOS DE *Pinus taeda* L E *Eucalyptus dunnii* Maiden, DO OSB E DA INTERAÇÃO ENTRE ELES

PINUS	FONTES DE VARIACÃO	SQ	GL	QM	F	F*
	CHAPAS	15784,373	4	3946,0932	2,6651	2,87
	ERRO	29613,057	20	1480,6528		
	TOTAL	45397,43	24			

EUCALIPTO	FONTES DE VARIACÃO	SQ	GL	QM	F	F*
	CHAPAS	9497,8574	4	2374,4643	4,0597	2,87
	ERRO	11697,782	20	584,88908		
	TOTAL	21195,639	24			

OSB	FONTES DE VARIACÃO	SQ	GL	QM	F	F*
	Chapas	4080,9215	4	1020,2304	1,4105	2,87
	Resíduo	14465,78	20	723,289		
	Total	18546,702	24			

INTERAÇÃO	FONTES DE VARIACÃO	SQ	GL	QM	F	F*
	CHAPAS	150536,6	14	10752,614	11,5668	1,86
	ERRO	55776,618	60	929,61031		
	TOTAL	206313,22	74			

APÊNDICE 18 – TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS PELO MÉTODO DE TUKEY TUKEY DA MASSA ESPECÍFICA APARENTE DOS PAINÉIS COMPENSADOS DE *Pinus taeda* L E *Eucalyptus dunnii* Maiden, DO OSB E DA INTERAÇÃO ENTRE ELES

TRAT	Orientação	Chapas	Média	Dif	W
					0,03603
PINUS	Paralel	1	0,596444		a
	Perpen	2	0,576596	0,019848	a
	Perpen	3	0,574413	0,002183	a
	Perpen	4	0,572783	0,00163	a
	Perpen	1	0,562015	0,010768	a

PINUS	Paralel	3	0,560888	0,001127	a
	Paralel	4	0,55832	0,002569	a
	Paralel	2	0,555589	0,002731	a
	Perpen	5	0,530767	0,024822	a
	Paralel	5	0,502089	0,028678	a

TRAT	Orientação	Chapas	Média	Dif	W
0,02772					
EUCALIPTO	Perpen	10	0,744455		a
	Paralel	10	0,743648	0,000807	a
	Paralel	6	0,728208	0,015441	a
	Paralel	9	0,679549	0,048659	b
	Paralel	8	0,675873	0,003677	b
	Perpen	6	0,669241	0,006632	b
	Perpen	9	0,666325	0,002916	b
	Perpen	8	0,653481	0,012844	b
	Perpen	7	0,641906	0,011575	b
	Paralel	7	0,627864	0,014042	b

TRAT	Orientação	Chapas	Média	Dif	W
0,0345					
OSB	Perpen	4	0,652872		a
	Perpen	1	0,63898	0,013892	a
	Perpen	5	0,637386	0,001593	a
	Perpen	3	0,635795	0,001592	a
	Paralel	5	0,632355	0,003439	a
	Paralel	2	0,629618	0,002737	a
	Paralel	3	0,626478	0,00314	a
	Paralel	4	0,621003	0,005475	a
	Paralel	1	0,618973	0,00203	a
	Perpen	2	0,610255	0,008718	a

TRAT	Orientação	Média	Dif	W
0,02856				
Eucalipto	Paralel	0,691028		a
	Perpen	0,675082	0,015947	a
OSB	Perpen	0,635057	0,040024	b
	Paralel	0,625685	0,009372	b
Pinus	Perpen	0,563315	0,062371	c
	Paralel	0,554666	0,008649	c

NOTA: W é o valor calculado como comparador em função do Qmresíduo, do número de repetições e de um valor tabelado entre o número de argumentos e do Glesíduo.

APÊNDICE 19 – TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS PELO MÉTODO DE TUKEY
 TUKEY DO MÓDULO DE ELASTICIDADE DOS PAINÉIS
 COMPENSADOS DE *Pinus taeda* L, *Eucalyptus dunnii* Maiden, DO OSB E
 DA INTERAÇÃO ENTRE ELES

TRAT	Orientação	Chapas	Média	Dif	W
17683,86					
PINUS	Paralel	4	70788,16		a
	Paralel	3	70036,48	751,68	a
	Paralel	5	65918,32	4118,16	a
	Paralel	2	56060,26	9858,06	a
	Paralel	1	51506,34	4553,92	a

TRAT	Orientação	Chapas	Média	Dif	W
8088,388					
PINUS	Perpen	2	53143,16		a
	Perpen	3	37430,32	15712,84	b
	Perpen	4	37078,1	352,22	b
	Perpen	1	30662,28	6415,82	b
	Perpen	5	22598,98	8063,3	b

TRAT	Orientação	Chapas	Média	Dif	W
17683,9					
EUCALIPTO	Paralel	8	143262,6		a
	Paralel	10	141256,9	2005,74	a
	Paralel	6	137364,6	3892,26	a
	Paralel	9	128467,4	8897,26	a
	Paralel	7	113721,2	14746,22	a

TRAT	Orientação	Chapas	Média	Dif	W
4999,37					
EUCALIPTO	Perpen	6	50555,58		a
	Perpen	9	45659,22	4896,36	a
	Perpen	8	42063,4	3595,82	a
	Perpen	7	39712,88	2350,52	a
	Perpen	10	39611,66	101,22	a

TRAT	Orientação	Chapas	Média	Dif	W
17683,9					
OSB	Paralel	5	51506,5		a
	Paralel	2	50212,42	1294,08	a
	Paralel	3	49667,68	544,74	a
	Paralel	1	48025,54	1642,14	a
	Paralel	4	45881,4	2144,14	a

TRAT	Orientação	Chapas	Média	Dif	W
18693,3					
OSB	Perpen	3	38812,62		a
	Perpen	5	35273,92	3538,7	a
	Perpen	1	29512,98	5760,94	a
	Perpen	2	25506,36	4006,62	a
	Perpen	4	24388,06	1118,3	a
INTERAÇÕES	TRAT	Orientação	Média	Dif	W
	23126				
	Eucalipto	Paralel	132814,5		a
	Pinus	Paralel	62861,91	69952,63	b
OSB	Paralel	49058,71	13803,2	b	
INTERAÇÕES	TRAT	Orientação	Média	Dif	W
	11736,5				
	Eucalipto	Perpen	43520,55		a
	Pinus	Perpen	36182,57	7337,98	a
OSB	Perpen	30698,79	5483,78	a	

APÊNDICE 20 – TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS PELO MÉTODO DE TUKEY
TUKEY DO MÓDULO DE RUPTURA DOS PAINÉIS COMPENSADOS
DE *Pinus taeda* L, *Eucalyptus dunnii* Maiden, DO OSB E DA INTERAÇÃO
ENTRE ELES

TRAT	Orientação	Chapas	Média	Dif	W	
166,005						
PINUS	Paralel	4	510,9		a	
	Paralel	3	498,66	12,24	a	
	Paralel	1	458,02	40,64	a	
	Paralel	5	386,94	71,08	a	
	Paralel	2	354,88	32,06	a	
PINUS	TRAT	Orientação	Chapas	Média	Dif	W
	103,938					
	Perpen	2	520,04		a	
	Perpen	4	407,26	112,78	b	
	Perpen	3	400,02	7,24	b	
	Perpen	1	312,42	87,6	b	
Perpen	5	212,12	100,3	b		

TRAT	Orientação	Chapas	Média	Dif	W
					224,192
EUCALIPTO	Paralel	9	779,88		a
	Paralel	10	675	104,88	a
	Paralel	7	649,74	25,26	a
	Paralel	6	625,32	24,42	a
	Paralel	8	616,98	8,34	a

TRAT	Orientação	Chapas	Média	Dif	W
					125,154
EUCALIPTO	Perpen	9	466,48		a
	Perpen	10	420,94	45,54	a
	Perpen	6	357,98	62,96	a
	Perpen	7	355,58	2,4	a
	Perpen	8	338,34	17,24	a

TRAT	Orientação	Chapas	Média	Dif	W
					46,0124
OSB	Paralel	1	231,36		a
	Paralel	2	230,16	1,2	a
	Paralel	5	180,36	49,8	b
	Paralel	3	179,46	0,9	b
	Paralel	4	169,52	9,94	b

TRAT	Orientação	Chapas	Média	Dif	W
					41,98
OSB	Perpen	4	168,8		a
	Perpen	3	159,98	8,82	a
	Perpen	1	149,08	10,9	a
	Perpen	2	144,52	4,56	a
	Perpen	5	139,94	4,58	a

INTERAÇÕES	TRAT	Orientação	Média	Dif	W	
						158,218
	Eucalipto	Paralel	669,384		a	
	Pinus	Paralel	441,88	227,504	b	
OSB	Paralel	198,172	243,708	c		

INTERAÇÕES	TRAT	Orientação	Média	Dif	W	
						94,0222
	Eucalipto	Perpen	387,864		a	
	Pinus	Perpen	370,372	17,492	a	
OSB	Perpen	152,464	217,908	b		

APÊNDICE 21 – TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS PELO MÉTODO DE TUKEY
 TUKEY DA TENSÃO MÁXIMA DE COMPRESSÃO DOS PAINÉIS
 COMPENSADOS DE *Pinus taeda* L, *Eucalyptus dunnii* Maiden, DO OSB E
 DA INTERAÇÃO ENTRE ELES

TRAT	Chapas	Média	Dif	W
72,7917				
PINUS	4	216,7347		a
	2	205,7118	11,02288	a
	3	205,0128	0,699021	a
	1	188,1163	16,89647	a
	5	145,3864	42,72989	a
45,7501				
PINUS	6	233,8141		a
	10	216,9387	16,87535	a
	7	190,5885	26,35027	a
	9	190,1378	0,450644	a
	8	182,1027	8,035082	a
50,8758				
PINUS	1	125,5805		a
	4	122,9797	2,600806	a
	2	118,6817	4,297942	a
	5	104,4228	14,25888	a
	3	91,71628	12,70656	a
46,3601				
INTERAÇÃO	Eucal	202,7164		a
	Pinus	192,1924	10,52398	a
	OSB	112,6762	79,5162	b

APÊNDICE 22 – TABELAS DE DUPLA ENTRADA DAS MÉDIAS DO MOE, MOR E DEFLEXÃO DOS TRATAMENTOS DAS VIGAS “T”

MOE	FLANGES			
ALMA	Pinus	Eucalipto	Total	C
OSB	14007594,7	20185007,2	34192601,9	
Pinus	12390881,3	14579868,3	26970749,6	
Eucalipto	10716308,6	13642047,8	24358356,4	
Total	37114784,7	48406923,2	85521707,9	2,438E+14

MOR	FLANGES			
ALMA	Pinus	Eucalipto	Total	C
OSB	38674,83	40846,15	79520,98	
Pinus	40633,74	43064,69	83698,43	
Eucalipto	34615,38	43166,96	77782,34	
Total	113924	127077,8	241001,7	1,94E+09

Deflexão	FLANGES			
ALMA	Pinus	Eucalipto	Total	C
OSB	6,36	5,06	11,42	
Pinus	6,66	6,4	13,06	
Eucalipto	5,64	6,36	12	
Total	18,66	17,82	36,48	44,35968

APÊNDICE 23 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO MOE DAS VIGAS “T” COM OS
DESDOBRAMENTOS

F.V.	GL	SQ	QM	F	F*
Rep	4	1,1056E+12	2,764E+11	1,1234233	2,87
Trat	5	1,0341E+13	2,0682E+12	8,40612859	2,71
Flanges	1	4,2504E+12	4,2504E+12	17,2757571	4,35
Almas	2	5,1897E+12	2,5949E+12	10,546816	3,49
FlangesXAlmas	2	9,0079E+11	4,504E+11	1,83062692	3,49
Erro	20	4,9207E+12	2,4603E+11		
Total	29	1,6367E+13			

F.V.	GL	SQ	QM	F	F*
Flanges	1	4,2504E+12	4,2504E+12	17,2757571	4,35
Almas/Fpinus	2	1,0834E+12	5,4168E+11	2,20166869	3,49
Almas/Feucalipto	2	5,0072E+12	2,5036E+12	10,1757742	3,49
Trat	5	1,0341E+13	2,0682E+12	8,40612859	2,71
Rep	4	1,1056E+12	2,764E+11		
Erro	20	4,9207E+12	2,4603E+11		
Total	29				

F.V.	GL	SQ	QM	F	F*
Almas	2	5,1897E+12	2,5949E+12	10,546816	3,49
Flange/OSB	1	3,816E+12	3,816E+12	15,5102624	4,35
Flanges/CP	1	4,7917E+11	4,7917E+11	1,9475665	4,35
Flanges/CE	1	8,5599E+11	8,5599E+11	3,47918203	4,35
Trat	5	1,0341E+13	2,0682E+12	8,40612859	2,71
Rep	4	1,1056E+12	2,764E+11		
Erro	20	4,9207E+12	2,4603E+11		
Total	29				

APÊNDICE 24 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO MOR DAS VIGAS “I” COM OS DESDOBRAMENTOS

F.V.	GL	SQ	QM	F	F*
Rep	4	30737426	7684356	2,328399	2,87
Trat	5	10224489	2044898	0,619614	2,71
Flanges	1	5767456	5767456	1,747568	4,35
Almas	2	1849132	924566,2	0,280148	3,49
FlangesXAlmas	2	2607901	1303950	0,395104	3,49
Erro	20	66005491	3300275		
Total	29	1,07E+08			

F.V.	GL	SQ	QM	F	F*
Flanges	1	5767456	5767456	1,747568	4,35
Almas/Fpinus	2	3769135	1884568	0,571034	3,49
Almas/Feucalipto	2	687898,2	343949,1	0,104218	3,49
Trat	5	10224489	2044898	0,619614	2,71
Rep	4	30737426	7684356		
Erro	20	66005491	3300275		
Total	29				

F.V.	GL	SQ	QM	F	F*
Almas	2	1849132	924566,2	0,280148	3,49
Flange/OSB	1	471466,8	471466,8	0,142857	4,35
Flanges/CP	1	590948,9	590948,9	0,179061	4,35
Flanges/CE	1	7312941	7312941	2,215858	4,35
Trat	5	10224489	2044898	0,619614	2,71
Rep	4	30737426	7684356		
Erro	20	66005491	3300275		
Total	29				

APÊNDICE 25 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA DEFLEXÃO NO LIMITE
 PROPORCIONAL DAS VIGAS “T” COM OS DESDOBRAMENTOS

F.V.	GL	SQ	QM	F	F*
Rep	4	0,03642	0,009105	0,155564	2,87
Trat	5	0,36592	0,073184	1,250389	2,71
Flanges	1	0,02352	0,02352	0,401852	4,35
Almas	2	0,13832	0,06916	1,181636	3,49
FlangesXAlmas	2	0,20408	0,10204	1,743409	3,49
Erro	20	1,17058	0,058529		
Total	29	1,57292			

F.V.	GL	SQ	QM	F	F*
Flanges	1	0,02352	0,02352	0,401852	4,35
Almas/Fpinus	2	0,10992	0,05496	0,939022	3,49
Almas/Feucalipto	2	0,23248	0,11624	1,986024	3,49
Trat	5	0,36592	0,073184	1,250389	2,71
Rep	4	0,03642	0,009105		
Erro	20	1,17058	0,058529		
Total	29				

F.V.	GL	SQ	QM	F	F*
Almas	2	0,13832	0,06916	1,181636	3,49
Flange/OSB	1	0,169	0,169	2,887457	4,35
Flanges/CP	1	0,00676	0,00676	0,115498	4,35
Flanges/CE	1	0,05184	0,05184	0,885715	4,35
Trat	5	0,36592	0,073184	1,250389	2,71
Rep	4	0,03642	0,009105		
Erro	20	1,17058	0,058529		
Total	29				

APÊNDICE 26 – TABELAS DOS TESTES DE MÉDIA DE TUKEY PARA O MOE, MOR
E DEFLEXÃO

MOE			W
Trat	Média	Dif	987125
T4	4037001		a
T5	2915974	1121028	b
T1	2801519	114454,7	b
T6	2728410	73109,4	b
T2	2478176	250233,3	b
T3	2143262	334914,5	b

MOR			W
Trat	Média	Dif	3615,35
T6	8633,392		a
T5	8612,937	20,45455	a
T4	8169,231	443,7063	a
T2	8126,748	42,48252	a
T1	7734,965	391,7832	a
T3	6923,077	811,8881	a

Deflexão			W
Trat	Média	Dif	0,48146
T2	1,332		a
T5	1,28	0,052	a
T1	1,272	0,008	a
T6	1,272	0	a
T3	1,128	0,144	a
T4	1,012	0,116	a