

**LUCIANE GORSKI**

**PAINÉIS DE PARTÍCULAS ORIENTADAS (OSB)  
DA MADEIRA DE *Pinus spp.* E *Eucalyptus benthamii***

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Alessandro B. da Cunha

Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Poliana D. Rios

Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Rosilani Trianoski

**LAGES, SC  
2014**

G674p Gorski, Luciane  
Painéis de partículas orientadas (OSB) da madeira de *Pinus spp.* e *Eucalyptus benthamii* / Luciane Gorski. - Lages, 2014.  
146 p.: il.; 21 cm

Orientador: Alexsandro B. da Cunha  
Coorientadora: Polliana D. Rios  
**Coorientadora:** Rosilani Trianoski  
Bibliografia: p. 118-139  
Dissertação (mestrado) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Lages, 2014.

1. *Eucalyptus Benthamii*. 2. Espécie alternativa.  
3. OSB. 4. Colchão de partículas. 5. Propriedades tecnológicas. I. Gorski, Luciane. II. Cunha, Alexsandro B. da. III. Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. IV. Título

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Setorial do CAV/ UDESC

**LUCIANE GORSKI**

**PAINÉIS DE PARTÍCULAS ORIENTADAS (OSB) DA MADEIRA  
DE *Pinus spp* E *Eucalyptus benthamii***

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal do Centro de Ciências Agroveterinárias, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Florestal.

**Banca examinadora:**

Orientador: \_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Alessandro Baystorff da Cunha  
Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC

Membro: \_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Ugo Leandro Belini  
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Membro: \_\_\_\_\_  
Profª. Dra. Poliana D'Angelo Rios  
Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC

Lages, 08 / 05 / 2014.



Aos meus pais.



## **AGRADECIMENTOS**

À UDESC-CAV por me acolher e oferecer uma instituição de ensino de qualidade.

Ao meu professor orientador, Alexsandro, por ter acreditado em mim e no meu trabalho, além de todo o conhecimento repassado, atenção e dedicação ao me orientar.

Aos demais professores que esclareceram dúvidas e agregaram novos conhecimentos, em especial minhas coorientadoras, professoras Polliana e Rosilani.

Aos meus pais, Leiva e Daniel, e meu irmão Lucas, pelo carinho, confiança e incentivo imensuráveis. Também, pela concessão do apoio financeiro durante esta etapa.

À empresa LP pela doação das partículas de *Pinus*, à empresa Klabin pelo fornecimento da madeira de *Eucalyptus* e à empresa MADEPAR pelo desdobro do material. E também, às empresas SI Group Crios Resinas e Sudati pela doação da resina e da parafina, respectivamente.

Aos funcionários da Mecânica Geral do CAV que sempre se mostraram dispostos a ajudar.

Ao trabalho prestado pelo Sr. Darcy do SENAI de Lages.

Aos colegas de mestrado, principalmente a Larissa, pelo trabalho conjunto. E também, Morgana, Caio e Daniela que ofereceram além da ajuda o bom humor que facilitou os dias de trabalho.

Aos alunos de graduação, Helena, Vinícius e Luís Henrique que auxiliaram em algumas etapas.

Aos meus colegas, amigos e vizinhos, Francieli, Vinícius e Raquel, que compartilharam as mesmas angústias e, principalmente, alegrias do mestrado.

Aos amigos de longa data, aos quais diversas vezes tive que explicar do que se tratava meu trabalho.

Aos demais que se sintam parte deste trabalho, o meu sincero agradecimento.



“Sê humilde, se queres adquirir a sabedoria, sé mais humilde ainda, quando a tiveres adquirido.”

Helena P. Blavatsky



## RESUMO

GORSKI, L. Painéis de partículas orientadas (OSB) da madeira de *Pinus spp.* e *Eucalyptus benthamii*. 2014. 146 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal - Área: Tecnologia da Madeira) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Lages, 2014.

O objetivo foi produzir e avaliar painéis de partículas orientadas (OSB) de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage e *Pinus spp.* por meio das propriedades físicas e mecânicas. As partículas de *Eucalyptus* foram obtidas a partir de toras de reflorestamentos com 13 anos de idade, já as partículas de *Pinus spp.* foram provenientes de processo industrial, sendo composto pelo mix de partículas de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*. As proporções face:miolo:face adotadas foram 20:60:20 e 30:40:30, onde o colchão de partículas foi composto por 3 camadas dispostas perpendicularmente entre si. O delineamento experimental envolveu 10 tratamentos, com 3 repetições cada, onde comparou-se painéis de *Eucalyptus*, painéis de *Pinus*, com camadas de espécies distintas e painéis com partículas de ambas as espécies misturadas. Os painéis foram produzidos com densidade de 0,65 g/cm<sup>3</sup>, 6% de resina fenol-formaldeído, 1% de emulsão de parafina e ciclo de prensagem de 180°C, 40 kgf/cm<sup>2</sup> por 8 minutos. Os ensaios foram realizados de acordo com a ASTM D1037 (1993) e a DIN 52362 (1982). Na análise dos resultados foi aplicada a Análise de Variância e Teste de Scott-Knott a 95% de probabilidade, além da comparação com os parâmetros da norma CSA 0437 (1993). Os resultados demonstraram que os painéis compostos exclusivamente por *Eucalyptus* apresentaram os melhores resultados para absorção de água, inchamento em espessura e taxa de não retorno em espessura, porém os valores não foram satisfatórios quando comparados com a norma de referência. Para propriedades mecânicas, em geral, os melhores resultados foram obtidos no tratamento composto somente por partículas de *Pinus*. Alguns

tratamentos não atingiram o mínimo exigido pela norma para os ensaios de MOE e MOR, além do que, os maiores resultados para o sentido paralelo foram obtidos na proporção 30:40:30 e para o perpendicular foram encontrados na proporção 20:60:20. Já para ligação interna, todos os tratamentos atingiram os valores mínimos das duas classificações. Assim, os resultados deste trabalho indicam que a madeira de *E. benthamii* pode ser uma alternativa para a produção de painéis de partículas orientadas (OSB).

**Palavras-chave:** *Eucalyptus Benthamii*. Espécie alternativa. OSB. Colchão de partículas. Propriedades tecnológicas.

## ABSTRACT

GORSKI, L. Oriented strand board (OSB) with wood of *Pinus spp.* and *Eucalyptus benthamii*. 2014. 146 f. Dissertation (Master of Forestry Engineering - Area: Wood Technology) – Santa Catarina State University. Post Graduate Program in Forestry Engineering, Lages, 2014.

The objective was to produce and evaluate oriented strand board (OSB) of *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage and *Pinus spp.* by the physical and mechanical properties. The particles of *Eucalyptus* were obtained from logs reforestation with 13 years old already particles of *Pinus spp.* came from industrial process, being composed of the mix of particles of *Pinus taeda* and *Pinus elliottii*. The proportions of face:core:face adopted were 20:60:20 and 30:40:30, where the mattress particles was composed of 3 layers arranged perpendicular to each other. The experimental plan involved 10 treatments with 3 repetitions, where we compared *Eucalyptus*, *Pinus*, and panels with layers of different species and panels with mixed particles of both species. The panels were produced with a density of 0.65 g/cm<sup>3</sup>, 6% phenol formaldehyde resin, 1% paraffin emulsion and pressing cycle with 180°C, 40 kgf/cm<sup>2</sup> for 8 minutes. The assays were performed according to ASTM D1037 (1993) and DIN 52362 (1982). In statistics analysis was applied to analysis of variance and the Scott- Knott test at 95% probability, beyond comparison with those of the standard CSA 0437 (1993). The results showed that panels composed solely of *Eucalyptus* showed the best results for water absorption, thickness swelling and spring back, but the results were not satisfactory when compared with the reference standard. For mechanical properties, in general, the best results were obtained in the treatment of particles composed solely of *Pinus*. Some treatments have not reached the minimum required by the standard for the testing of MOE and MOR, and besides, the greatest results for the parallel direction were obtained in the ratio 30:40:30 and perpendicular to the ratio 20:60:20 were found. As for internal bond, all treatments reached the minimum

values of the two ratings. Thus, the results of this study indicate that *E. benthamii* can be an alternative for the production of oriented strand board (OSB).

**Keywords:** *Eucalyptus benthamii*. Alternative species. OSB. Mattress particles. Technological properties.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Mercado de produtos florestais no Brasil, ano base 2012.....	28
Figura 2 -	Esquema representativo dos produtos compostos de madeira.....	29
Figura 3 -	Disposição das camadas dos painéis OSB e <i>Waferboard</i> .....	33
Figura 4 -	Processo industrial de produção de painéis OSB.....	33
Figura 5 -	Exemplos de aplicações do OSB.....	35
Figura 6 -	Aplicação doméstica do OSB.....	35
Figura 7 -	Composição química da madeira.....	44
Figura 8 -	Método de desdobro aplicado às toras de <i>E. benthamii</i> .....	60
Figura 9 -	Sequência de obtenção das partículas <i>strand</i> .....	61
Figura 10 -	Geração das partículas.....	61
Figura 11 -	Detalhe das dimensões das partículas <i>strand</i> ..	63
Figura 12 -	Análises químicas realizadas no estudo.....	64
Figura 13 -	Aplicação da resina e da emulsão de parafina sobre as partículas.....	68
Figura 14 -	Formação do colchão de partículas.....	69
Figura 15 -	Prensagem do colchão de partículas.....	70
Figura 16 -	Obtenção dos corpos de prova para os ensaios tecnológicos.....	71
Figura 17 -	Corpos de prova armazenados na sala de climatização.....	72
Figura 18 -	Ensaio físicos e mecânicos.....	73
Figura 19 -	Influência do fator proporção das camadas para as variáveis densidade e espessura.....	83
Figura 20 -	Influência do fator proporção das camadas para a variável razão de compactação.....	86
Figura 21 -	Influência do fator proporção das camadas para a variável teor de umidade.....	89
Figura 22 -	Absorção de água (2 e 24h) e inchamento em espessura (2 e 24h).....	94

Figura 23 -	Influência do fator proporção das camadas para a variável absorção de água.....	96
Figura 24 -	Influência do fator proporção das camadas para a variável inchamento em espessura.....	97
Figura 25 -	Influência do fator proporção das camadas para a variável taxa de não retorno em espessura.....	98
Figura 26 -	Influência do fator proporção das camadas para as variáveis módulo de ruptura e módulo de elasticidade.....	104
Figura 27 -	Influência do fator proporção das camadas para a variável ligação interna.....	109

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Classificação dos painéis de madeira.....	30
Tabela 2 -	Análises químicas realizadas no estudo.....	64
Tabela 3 -	Delineamento experimental do estudo.....	66
Tabela 4 -	Resultados da análise química das partículas.....	75
Tabela 5 -	Valores médios de densidades básicas.....	78
Tabela 6 -	Valores médios de densidade e espessura dos painéis OSB.....	80
Tabela 7 -	Influência do fator composição de espécies para as variáveis densidade e espessura dos painéis.....	84
Tabela 8 -	Valores médios da razão de compactação dos painéis OSB.....	85
Tabela 9 -	Influência do fator composição de espécies para a variável razão de compactação.....	87
Tabela 10 -	Valores médios do teor de umidade dos painéis OSB.....	88
Tabela 11 -	Influência do fator composição de espécies para a variável teor de umidade.....	90
Tabela 12 -	Valores médios dos ensaios físicos de absorção de água, inchamento em espessura e da taxa de não retorno em espessura dos painéis OSB.....	91
Tabela 13 -	Influência do fator composição de espécies para as variáveis absorção de água, inchamento em espessura e taxa de não retorno em espessura.....	99
Tabela 14 -	Valores médios do ensaio de flexão estática (MOR e MOE / paralelo e perpendicular) dos painéis OSB.....	100
Tabela 15 -	Influência do fator composição de espécies para as variáveis módulo de ruptura e módulo de elasticidade.....	106
Tabela 16 -	Valores médios do ensaio de ligação interna dos painéis OSB .....	107

Tabela 17 -	Influência do fator composição de espécies para a variável ligação interna.....	110
Tabela 18 -	Classificação dos tratamentos conforme norma CSA 0437.0 (1993).....	113

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

<b>AA</b>	Absorção de Água
<b>ABIMCI</b>	Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente
<b>ABIPA</b>	Associação Brasileira de Indústrias de Painéis de Madeira
<b>ABRAF</b>	Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas
<b>ANSI</b>	American National Standards Institute
<b>ASTM</b>	American Society for Testing and Materials
<b>CSA</b>	Canadian Standards Association
<b>DAP</b>	Diâmetro à Altura do Peito
<b>DIN</b>	Normen Für Holzfaserplatten Spanplatten Sperrholz
<b>EN</b>	European Standard
<b>FAO</b>	Food and Agriculture Organization
<b>FF</b>	Fenol Formaldeído
<b>FPL</b>	Forest Products Laboratory
<b>HDF</b>	High Density Fiberboard
<b>IE</b>	Inchamento em Espessura
<b>JAS</b>	Japanese Agricultural Standard
<b>LI</b>	Ligaçāo Interna
<b>LP</b>	Louisiana Pacific
<b>LVL</b>	Laminated Veneer Lumber
<b>MDF</b>	Medium Density Fiberboard
<b>MDI</b>	Difenilmetano Diisocianato
<b>MDP</b>	Medium Density Particleboard
<b>MF</b>	Melamina Formaldeído
<b>MOE</b>	Módulo de Elasticidade
<b>MOR</b>	Módulo de Ruptura
<b>MPA</b>	Mega Pascal
<b>NBR</b>	Normas Brasileiras

<b>NSW</b>	New South Wales
<b>PCL</b>	Painel de Madeira Colada Lateralmente
<b>PMUF</b>	Fenol-Melamina-Ureia-Formaldeído
<b>PS</b>	Performance Standard
<b>PSP</b>	Peso Seco das Partículas
<b>RC</b>	Razão de Compactação
<b>REMADE</b>	Revista da Madeira
<b>SBA</b>	Structural Board Association
<b>SFB</b>	Serviço Florestal Brasileiro
<b>TAPPI</b>	Technical Association of the Pulp and Paper Industry
<b>TNRE</b>	Taxa de Não Retorno em Espessura
<b>TU</b>	Teor de Umidade
<b>UF</b>	Ureia Formaldeído

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	23
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	27
2.1 MERCADO DE PRODUTOS FLORESTAIS NO BRASIL	27
2.2 PAINÉIS DE MADEIRA.....	29
2.3 OSB - Oriented Strand Board.....	32
<b>2.3.1 Conceito, processo industrial, vantagens e usos.....</b>	<b>32</b>
<b>2.3.2 Aspectos mercadológicos do OSB.....</b>	<b>36</b>
<b>2.3.3 Fatores que afetam as propriedades dos painéis OSB.....</b>	<b>36</b>
<b>2.3.3.1 Fatores relacionados à madeira.....</b>	<b>37</b>
<b>2.3.3.1.1 Espécie.....</b>	<b>37</b>
<b>2.3.3.1.2 Densidade da madeira.....</b>	<b>42</b>
<b>2.3.3.1.3 Teor de umidade da madeira.....</b>	<b>43</b>
<b>2.3.3.1.4 Composição química da madeira.....</b>	<b>44</b>
<b>2.3.3.2 Fatores relacionados ao processo.....</b>	<b>46</b>
<b>2.3.3.2.1 Densidade dos painéis.....</b>	<b>46</b>
<b>2.3.3.2.2 Razão de Compactação.....</b>	<b>47</b>
<b>2.3.3.2.3 Teor de umidade das partículas.....</b>	<b>48</b>
<b>2.3.3.2.4 Geometria e orientação das partículas.....</b>	<b>49</b>
<b>2.3.3.2.5 Composição do painel.....</b>	<b>50</b>
<b>2.3.3.2.6 Adesivo.....</b>	<b>51</b>
<b>2.3.3.2.7 Parafina e outros aditivos.....</b>	<b>53</b>
<b>2.3.3.2.8 Ciclo de prensagem.....</b>	<b>54</b>
<b>2.3.4 Propriedades dos painéis OSB.....</b>	<b>56</b>
<b>2.3.4.1 Absorção de água e inchamento em espessura.....</b>	<b>56</b>
<b>2.3.4.2 Taxa de não retorno em espessura.....</b>	<b>57</b>
<b>2.3.4.3 Módulo de elasticidade e módulo de ruptura a flexão estática.....</b>	<b>57</b>
<b>2.3.4.4 Ligação interna.....</b>	<b>58</b>
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	59
3.1 MATÉRIA-PRIMA.....	59
3.2 PREPARO DO MATERIAL E GERAÇÃO DAS PARTÍCULAS.....	59
3.3 CARACTERIZAÇÃO DIMENSIONAL DAS PARTÍCULAS.....	62
3.4 ANÁLISE QUÍMICA DA MADEIRA.....	63

3.5 DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA.....	65
3.6 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	66
3.7 PRODUÇÃO DOS PAINÉIS.....	67
<b>3.7.1 Aplicação do adesivo (resina + emulsão de parafina) nas partículas.....</b>	<b>67</b>
<b>3.7.2 Formação do colchão.....</b>	<b>68</b>
<b>3.7.3 Prensagem e acondicionamento dos painéis.....</b>	<b>70</b>
3.8 ENSAIOS TECNOLÓGICOS.....	70
<b>3.8.1 Determinação da razão de compactação dos painéis.....</b>	<b>73</b>
3.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	74
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>75</b>
4.1 ANÁLISE QUÍMICA DA MADEIRA.....	75
4.2 DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA.....	78
4.3 DENSIDADE E ESPESSURA DOS PAINÉIS.....	80
<b>4.3.1 Influência do fator proporção das camadas .....</b>	<b>83</b>
<b>4.3.2 Influência do fator composição de espécies .....</b>	<b>83</b>
4.4 RAZÃO DE COMPACTAÇÃO DOS PAINÉIS OSB.....	85
<b>4.4.1 Influência do fator proporção das camadas .....</b>	<b>86</b>
<b>4.4.2 Influência do fator composição de espécies .....</b>	<b>87</b>
4.5 TEOR DE UMIDADE.....	88
<b>4.5.1 Influência do fator proporção das camadas .....</b>	<b>89</b>
<b>4.5.2 Influência do fator composição de espécies .....</b>	<b>90</b>
4.6 ABSORÇÃO DE ÁGUA, INCHAMENTO EM ESPESSURA E TAXA DE NÃO RETORNO EM ESPESSURA.....	91
<b>4.6.1 Influência do fator proporção das camadas .....</b>	<b>96</b>
<b>4.6.2 Influência do fator composição de espécies .....</b>	<b>98</b>
4.7 FLEXÃO ESTÁTICA.....	100
<b>4.7.1 Influência do fator proporção das camadas .....</b>	<b>104</b>
<b>4.7.2 Influência do fator composição de espécies .....</b>	<b>106</b>
4.8 LIGAÇÃO INTERNA.....	107
<b>4.8.1 Influência do fator proporção das camadas .....</b>	<b>109</b>
<b>4.8.2 Influência do fator composição de espécies .....</b>	<b>110</b>
4.9 PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS X NORMAS DE QUALIDADE.....	112
<b>4.9.1 Propriedades físicas.....</b>	<b>112</b>
<b>4.9.2 Propriedades mecânicas.....</b>	<b>113</b>
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>115</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>117</b>
<b>7. ANEXOS.....</b>	<b>139</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O setor de produtos florestais é basicamente composto pelos segmentos de madeira em tora, madeira serrada, pasta de madeira, papel e painéis de madeira. Dentro desta última classe, de acordo com Del Menezzi (2004) são produzidos compensados, painéis de partículas tipo *sliver* (*Medium Density Particleboard - MDP*), painéis de fibra de média (*Medium Density Fiberboard - MDF*) e alta densidade (*High Density Fiberboard - HDF*), painéis isolantes e painéis de partículas tipo *strand* (*Oriented Strand Board - OSB*).

O OSB está no mercado mundial desde o início da década de 80, sendo considerado como a segunda geração dos painéis *waferboard* (MENDES, 2010). Os painéis OSB são produzidos a partir de partículas finas e longas, denominadas “*strands*”, as quais são unidas umas às outras pela ação da resina, pressão e altas temperaturas. Suas partículas são orientadas em número ímpar de camadas, geralmente três, sendo a camada interna posicionada perpendicularmente às externas (MALONEY, 1993).

Essa estrutura em camadas cruzadas formadas por partículas orientadas faz com que as propriedades mecânicas dos painéis OSB sejam bastante elevadas resultando nas mais variadas aplicações, podendo-se destacar: aplicações estruturais, componentes de vigas em “I”, suportes de piso e forro, paredes isolantes, estrutura de móveis, embalagens, tapumes, caixotaria, entre outros.

A utilização de painéis OSB tem competido com mercados antes exclusivos dos compensados, em razão de fatores como a redução da disponibilidade de toras de boa qualidade para laminação. O OSB pode ser produzido partindo de toras de qualidade inferior, tortuosas ou com defeitos, de desbastes e de espécies de baixo valor comercial. A largura e o comprimento desses painéis são determinados pela tecnologia de produção e não em função do comprimento das toras como no caso de compensados, o que proporciona a obtenção de painéis com medidas superiores, segundo Cloutier (1998).

Durante o processo de produção de painéis de madeira, o OSB tem um aproveitamento de 96% da madeira, contra 56% do compensado, o que permite minimizar o custo do produto e

tornar o processo produtivo mais eficiente devido ao melhor aproveitamento das toras de madeira em comparação ao seu concorrente direto (REMADE, 2007).

A produção nacional atual de OSB utiliza predominantemente madeira de *Pinus*. No entanto, com a crescente demanda desta matéria-prima para diversas finalidades, seu estoque pode não ser suficiente, sendo necessária a busca de novas espécies que possam se adequar ao processo (CASTRO *et al.*, 2012).

Várias pesquisas estão sendo feitas no sentido de otimizar o processo industrial de painéis de madeira com o uso de outros adesivos, novas tecnologias ou ainda, diferentes matérias-primas. Neste contexto, a madeira do gênero *Eucalyptus* pode ser uma opção viável para a composição de painéis de partículas orientadas (OSB) pelo fato de apresentar grande incidência de tensões de crescimento que resultam em rachaduras e empenamentos, o que prejudica o rendimento para serraria. Isto agregaria valor, aproveitaria madeiras de baixa qualidade (com rachaduras, nós, diâmetros menores) e poderia inserir no mercado brasileiro um produto com qualidades tecnológicas adequadas para os setores da construção civil e de móveis.

Dentre as espécies de *Eucalyptus*, uma que vem se destacando na região Sul do Brasil, especialmente nos Estados de Santa Catarina e Paraná é o *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage, devido a sua resistência a baixas temperaturas e tolerância à geadas, assim, alcançando boa adaptação aos plantios do sul do Brasil. Desta forma, estas regiões com invernos rigorosos teriam mais uma opção de espécie florestal de rápido crescimento para abastecer o segmento de mercado, haja vista que é principalmente no Paraná que se encontra o maior número de indústrias de painéis laminados e particulados de madeira, de acordo com Eisfeld e Berger (2012).

Assim, acredita-se na potencialidade do *E. benthamii* como espécie alternativa para tal segmento, desde que haja a definição dos parâmetros de processo, como, combinação com outras espécies, proporção de camadas, teor de resina, entre outros fatores determinantes para a produção de painéis de boa qualidade.

O objetivo do estudo foi avaliar a produção de painéis de partículas orientadas (OSB) a partir da madeira de *Pinus spp.* e *E. benthamii* em diferentes combinações de espécies entre as camadas.

Os objetivos específicos foram os seguintes:

- a) Analisar quimicamente a madeira das espécies florestais envolvidas no estudo e as suas influências nas propriedades dos painéis;
- b) Determinar a melhor composição entre as duas espécies;
- c) Determinar a melhor proporção entre as camadas, 20:60:20 ou 30:40:30;
- d) Comparar os resultados encontrados para as propriedades físicas e mecânicas dos painéis com os parâmetros da norma CSA 0437.0 (1993).



## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 MERCADO DE PRODUTOS FLORESTAIS NO BRASIL

O Brasil é um país com 456 milhões de hectares de florestas nativas, o que equivale a 53% do seu território, representando desta forma a segunda maior área de florestas no mundo, atrás apenas da Rússia. A sua área é dividida em 6 biomas, Mata Atlântica, Cerrado, Caatinga, Pantanal, Pampa, e o maior deles, a Amazônia, com mais de 325 milhões de hectares, SFB (2013).

Com o intuito de diminuir e regulamentar a exploração descomedida das florestas nativas e solucionar o problema de falta de matéria prima homogênea para a indústria de base florestal surgiu a possibilidade de implantação de grandes maciços florestais com espécies exóticas de rápido crescimento. Os primeiros plantios foram iniciados no começo do século XX, porém, a atividade se intensificou na década de 60, mais precisamente no ano de 1966 com os incentivos fiscais oferecidos pelo governo federal, conforme relata Matos (1997).

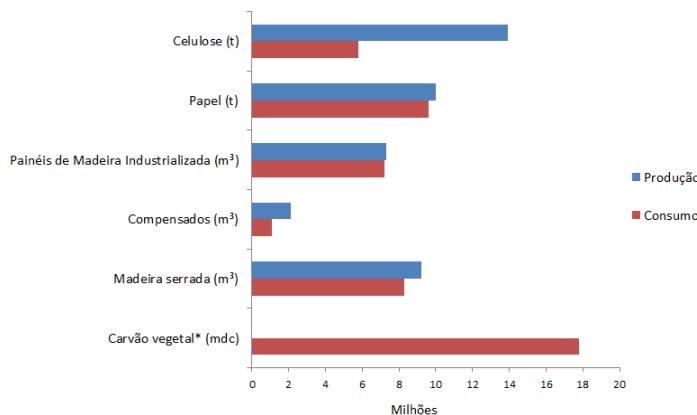
Nos dias atuais, o Brasil possui cerca de 6,66 milhões de hectares de florestas plantadas com as espécies dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*, que representam 76,6% e 23,4% da área total, respectivamente. Os Estados de Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Bahia, Santa Catarina, Mato Grosso do Sul e Rio Grande do Sul se destacam no cenário nacional como os estados detentores de 87,1% da área total de plantios florestais. Os reflorestamentos com as espécies do gênero *Eucalyptus* estão concentrados na região Sudeste (53%), já a região Sul detém os plantios com as espécies do gênero *Pinus* (84,7%) devido às condições edafoclimáticas e à localização dos principais polos processadores desse tipo de madeira, segundo a ABRAF (2013).

Ainda, em 2012, a ABRAF (2013) contabiliza que 35,2% de toda a madeira de florestas plantadas produzida no país foi aplicada na produção de celulose, ao passo que a produção de painéis de madeira reconstituída, serrados e compensados consumiram, respectivamente, 7,1%, 16,4% e 2,7% do total de madeira produzida. O restante (38,7%) foi destinado à produção

de carvão vegetal, lenha e outros produtos florestais. E ainda, em menor escala, a produção de cavaco, maravalha, serragem, briquetes, palanques, postes e mourões continua presente no mercado de produtos florestais.

A Figura 1 mostra a produção e o consumo dos principais produtos que fazem parte do mercado florestal no Brasil.

Figura 1 – Mercado de produtos florestais no Brasil, ano base 2012.



Fonte: Adaptado de ABRAF (2013).

Legenda: \* Valor de produção não informado.

Nos últimos anos, a produção e o consumo da indústria de painéis de madeira reconstituída apresentaram o maior crescimento médio anual dentre os produtos florestais do Brasil. Segundo a ABIPA (2014b), esse aumento foi devido ao incremento do consumo doméstico e aos investimentos expressivos realizados pelas indústrias do setor, as quais dobraram a capacidade nominal instalada na última década.

O setor de painéis de madeira reconstituída contribui de forma significativa na economia do país através da oferta de produtos para várias aplicações, geração de empregos e receitas. Segundo o SFB (2013), em 2011 havia cerca de 41.600 empregos formais no segmento de produção de lâminas e painéis de madeira no Brasil. A sua importância se destaca também em termos de melhor aproveitamento de madeiras, do

uso de florestas plantadas e de resíduos de exploração florestal e de outras indústrias de processamento da madeira, contribuindo para reduzir a pressão ambiental sobre o uso de florestas nativas (REMADE, 2002).

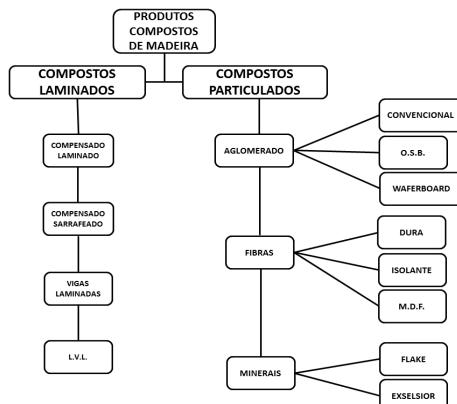
## 2.2 PAINÉIS DE MADEIRA

Os painéis de madeira surgiram da necessidade de diminuir a anisotropia e a instabilidade dimensional da madeira maciça, diminuir seu custo e melhorar as propriedades de isolamento térmico e acústico. Adicionalmente, preenchem uma necessidade reconhecida no uso da madeira serrada que é ampliar a sua superfície útil, através da expansão de uma de suas dimensões (a largura), para, assim, aumentar o campo de aplicação (REMADE, 2004).

Complementando, Mattos *et al.* (2008) explica que os painéis de madeira são estruturas fabricadas com madeiras em lâminas ou em diferentes estágios de desagregação, que quando aglutinadas pela ação de pressão, de temperatura e da utilização de resinas são novamente agregadas visando a manufatura.

De modo geral, os compostos de madeira podem ser divididos em dois grupos, conforme apresentado na Figura 2.

Figura 2 – Esquema representativo dos produtos compostos de madeira.



Fonte: Adaptado de Mendes, (2001).

Ainda, outra classificação pode ser adotada para os painéis de partículas (ver Tabela 1), a qual é baseada nas características dos painéis.

Tabela 1 – Classificação dos painéis de madeira.

Densidade	Tipos de partículas	Distribuição das partículas no painel	Método de prensagem	Tipo de adesivo
Baixa até 0,59 g/cm <sup>3</sup>	Aglomerado convencional	Homogênea	Prensagem perpendicular ao plano do painel (convencional)	Painéis para uso interior (UF – Ureia Formaldeído)
Média 0,60 a 0,79 g/cm <sup>3</sup>	Partículas “flake” <i>flakeboard</i>	Múltiplas camadas	Prensagem paralela ao plano do painel	Painéis para uso externo (FF – Fenol Formaldeído)
Alta maior que 0,80g/cm <sup>3</sup>	Partículas “wafer” <i>waferboard</i> Partículas “strand” <i>strand board</i>	Camadas graduadas Partículas orientadas	(extrusada)	

Fonte: Adaptado de Iwakiri (2014).

Assim, o processo produtivo, as características tecnológicas e as finalidades de uso são individualizados para cada tipo de painel. Brevemente, a ABIMCI (2014) define os principais painéis de madeira da seguinte forma:

a) Compensado: são painéis compostos por um número ímpar de lâminas de madeira, que são colados entre si utilizando resinas sintéticas (resinas a base de ureia-formaldeído para uso interno e a base de fenol-formaldeído para uso externo). As lâminas são cruzadas de tal forma que as grãs de cada lâmina são sempre perpendiculares à camada adjacente, conferindo assim maior resistência ao painel.

Vieira *et al.* (2012) afirma que até meados do início do ano de 1997, a produção de compensado tropical predominava sobre a de compensado de *Pinus*. A partir desse ano, o compensado de *Pinus* passou a assumir posição de destaque e atualmente participa com dois terços da produção nacional,

sendo que em 2005, a produção deste foi de 2,4 milhões de m<sup>3</sup>, enquanto a de compensado tropical alcançou 1,3 milhão de m<sup>3</sup>.

b) Aglomerado: são painéis compostos de partículas de madeira ligadas entre si por resinas sintéticas (geralmente ureia-formaldeído) pela ação de pressão e temperatura. As partículas mais finas são depositadas na superfície, enquanto que aquelas de maiores dimensões são depositadas nas camadas internas. De acordo com a ABIPA (2014a), o aglomerado é um painel de boa estabilidade dimensional e alta resistência ao arranque de parafusos e à flexão.

c) MDF: são painéis formados a partir da redução da madeira a dimensões básicas (fibras). Essa redução ocorre através de processo termomecânico, procedendo-se, posteriormente, o reagrupamento dessas fibras através da incorporação de adesivo (resinas sintéticas) e prensagem a quente, formado, assim os painéis. A ABIPA (2014a) complementa que o MDF é um painel homogêneo, com excelente estabilidade dimensional (isotropia), de superfície uniforme e lisa o que proporciona ótimas condições de usinagem.

d) Chapa dura (HDF): são painéis reconstituídos através do desfibramento da madeira que, mediante o processamento úmido ou seco, assumem disposição plana.

De acordo com Iwakiri *et al.* (2010), em relação à matéria-prima dos painéis de madeira, os gêneros mais utilizados são *Pinus* e *Eucalyptus*. A REMADE (2002) indica que a madeira de *Pinus* representa quase 40% do total consumido para produção de compensados e quase 100% para produção de particulados, incluindo, neste último, os painéis OSB. Quanto às chapas duras e isolantes, o uso de *Eucalyptus* é predominante, no entanto, para chapas de fibras – MDF, o *Pinus* é a madeira mais utilizada.

As utilizações dos painéis de madeira estão diretamente associadas às suas propriedades físicas e mecânicas. As restrições técnicas para o uso e a aplicação de diferentes tipos de painéis de madeira envolvem características como resistência, uso interior ou exterior, uniformidade da superfície, tolerância à usinagem, resistência à fixação de parafusos, entre outros (ABIMCI, 2009).

A ABIPA (2014b) explica que 89% da produção de MDP é utilizada pela indústria de móveis, 5% são destinados para as

revendas e 4% são empregados na construção civil, seguido pelo setor de pisos (2%). Já no caso do MDF, a aplicação doméstica dos painéis atende a indústria de móveis (55%), revenda (33%), construção civil (8%) e o setor de piso (4%). Em relação à chapa dura, a indústria moveleira concentra aproximadamente 44% do consumo. Por fim, os compensados são utilizados principalmente na construção civil e na fabricação de móveis.

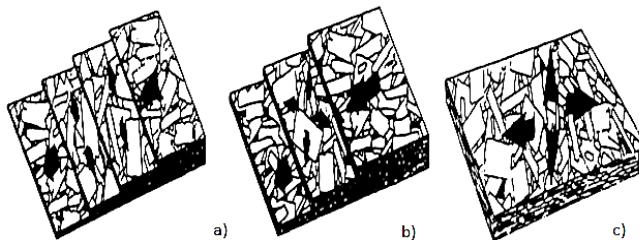
## 2.3 OSB - *Oriented Strand Board*

### 2.3.1 Conceito, processo industrial, vantagens e usos

Os painéis denominados OSB, sigla do termo *Oriented Strand Board*, começaram a ser fabricados nos EUA a partir de meados da década de 70 (MALONEY, 1993). Com o aumento da demanda, a partir dos anos 1996 e 1997 surgiram indústrias de painéis OSB na Europa, Ásia e Chile (REMADE, 2003).

Os painéis OSB são a segunda geração do painel estrutural denominado "waferboard". A principal diferença entre painéis "waferboard" e OSB consiste na dimensão das partículas utilizadas, onde as "wafers" são mais curtas do que as utilizadas no OSB. Outra diferença está na orientação e formação do colchão, onde nos painéis "waferboard" as partículas são distribuídas de forma aleatória em uma camada homogênea (ver Figura 3). Por outro lado, nos painéis OSB ocorre a formação de camadas de partículas "strands", onde as camadas internas possuem alinhamento perpendicular à direção de formação das camadas externas. Diferenças estas, que proporcionaram uma melhora significativa na estabilidade dimensional e resistência mecânica dos painéis OSB (JANSSENS, 1998; SALDANHA, 2004).

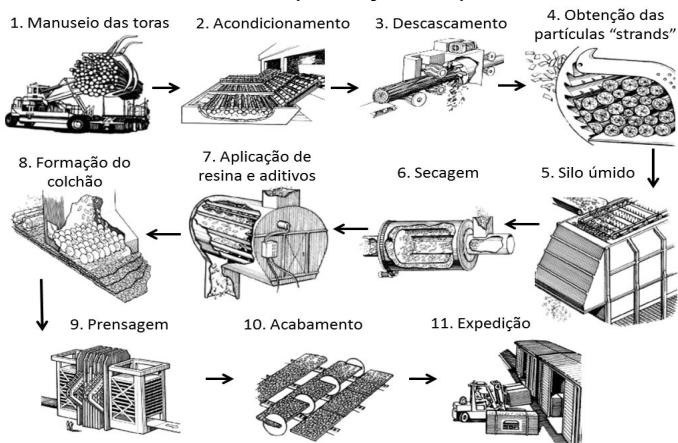
Figura 3 – Disposição das camadas dos painéis OSB e *Waferboard*. a) painel OSB com as partículas da face e do centro orientadas. b) painel OSB com as partículas da face orientadas e do centro aleatórias. c) painel *Waferboard* com as partícululas distribuídas de forma aleatória.



Fonte: SBA, (2014b)

Cloutier (1998) descreve que o processo industrial dos painéis OSB é composto por onze etapas (ver Figura 4), onde podem ser destacadas as etapas de obtenção das partículas “strand” e a formação do colchão que são diferenciadas dos demais painéis de partículas.

Figura 4 – Processo industrial de produção de painéis OSB.



Fonte: Saldanha (2004).

As vantagens da utilização dos painéis OSB em relação à madeira sólida são muitas e se explica, especialmente, nos aspectos de rendimento em relação ao volume das toras, diminuição da anisotropia, utilização de madeiras de reflorestamento de rápido crescimento e madeiras de densidade média que, na produção do painel, conferem rigidez satisfatória para a aplicação estrutural (MENDES, 2000; CÉSAR, 2011).

Os painéis OSB podem ser obtidos a partir de madeiras provenientes de desbastes e de troncos finos e tortuosos, bem como de espécies de menor valor comercial. Competem com os compensados, que demandam toras de alta qualidade para a sua manufatura e, por isso, são de custo relativamente superior (WALKER, 1993; CÉSAR, 2011).

Del Menezzi (2004), explica que essa disputa de mercado entre os painéis compensados e OSB acontece devido ao uso similar à que são atribuídos, enquanto compostos de madeira. Em ambos está embutido o princípio da laminação cruzada, que melhora a estabilidade dimensional da superfície do painel e reduz, em parte, a anisotropia, relativa à umidade e aos esforços mecânicos, que são comuns na madeira sólida. As similaridades não vão além, e as matérias-primas (tipo e origem), o modo de produção e as propriedades são muito distintos.

A substituição direta do compensado por OSB não é recomendável porque embora esses painéis possam apresentar propriedades físicas similares, as propriedades mecânicas se diferenciam, indicando que para a substituição entre esses dois tipos de material deve se considerar a magnitude das propriedades requerida pelos produtos em uso (BORTOLETTO JÚNIOR e GARCIA, 2004).

O OSB pode ser utilizado (ver Figura 5) praticamente em quase todos os usos tradicionais de painéis de partículas e compensados. Atualmente, os principais usos do OSB são: forro para telhados, base para paredes e pisos em construções residenciais, empacotamento e engradamento, *pallets* para estocagem a seco, estandes para exibição, armações para móveis, painéis de paredes decorativas, miolo para composto destinado a piso de madeira nobre, piso acabado, tapumes e divisórias, formas descartáveis para concreto, *decks* e plataformas, paredes de carroceria de caminhões, chalés rústicos, cercas e janelas, painéis de apoio estrutural, painéis

estruturais isolantes (miolo de espuma), alma para vigas em “I”, entre outros (JANSSENS, 1998; MENDES; 2001; SALDANHA, 2004; SBA, 2014b).

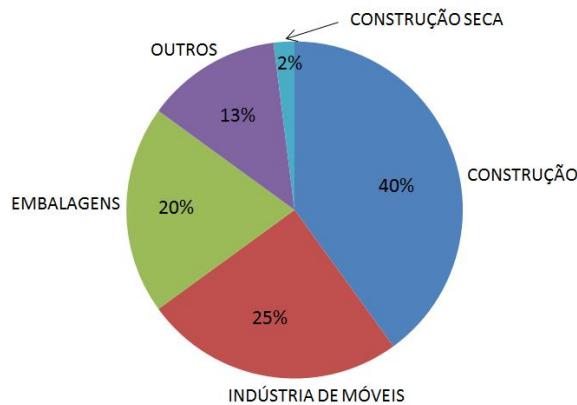
Figura 5 – Exemplos de aplicações do OSB. a) Construção civil  
b) Embalagens c) Móveis.



Fonte: LP Brasil, (2014b).

Os painéis OSB vêm conquistando grande parte do mercado, como mostra a Figura 6, isto, por apresentarem boas propriedades mecânicas aliadas às características da matéria-prima exigidas no processo de fabricação, segundo Gouveia (2001).

Figura 6 – Aplicação doméstica do OSB.



Fonte: Adaptado de ABIPA, (2014a).

### **2.3.2 Aspectos mercadológicos do OSB**

O Brasil é muito incipiente na produção de OSB, começou a produzir painéis somente no ano de 2002. Em contrapartida, as fábricas de outros compostos de madeira já estão bastante consolidadas, como os compensados que iniciaram em 1940, seguindo em 1966 com as chapas aglomeradas, em 1995 com as chapas de fibra e em 1997 com o MDF (MENDES, 2003; DEL MENEZZI, 2004).

O mercado de OSB teve início no Brasil em 2002, passou por mudanças administrativas em novembro de 2008 e hoje, o parque fabril situado em Ponta Grossa-PR possui uma capacidade produtiva de 350.000 m<sup>3</sup>. Os produtos fabricados no Brasil possuem aplicação em diversas áreas, como construção civil, embalagens, movelearia e indústrias em geral, de acordo com LP Brasil (2014a).

O mercado de OSB no Brasil utiliza predominantemente madeira de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*, entretanto, outras espécies vêm sendo pesquisadas para se tornarem alternativas na produção de OSB. Isto se deve à importância de aumentar o volume de matéria-prima para uso industrial e fornecer opções de mercado para espécies já implantadas.

### **2.3.3 Fatores que afetam as propriedades dos painéis OSB**

As propriedades e a qualidade dos painéis OSB são influenciadas por diversos fatores, merecendo destaque os inerentes à madeira, tais como espécie, densidade, fatores químicos; e os inerentes ao processo como densidade dos painéis, razão de compactação, composição dos painéis, adesivo, parafina, geometria e orientação das partículas, teor de umidade das partículas e ciclo de prensagem (MOSLEMI, 1974; MALONEY, 1977; MENDES, 2001; SURDI, 2012).

Além disso, segundo Maloney (1993) e Mendes (2001), quase todos os parâmetros citados interagem entre si, consequentemente, a mudança de um desses fatores resultará na alteração de vários outros relacionados ao processo de formação do painel. Assim, um parâmetro não pode ser considerado isoladamente, o que mostra a importância do

controle do processo para a obtenção de painéis de forma adequada.

### **2.3.3.1 Fatores relacionados à madeira**

#### **2.3.3.1.1 Espécie**

A espécie botânica é uma das mais importantes variáveis presentes no processo de produção de painéis porque interage com todas as outras variáveis no processo. Além de determinar a densidade do painel, a espécie também influencia na formulação do adesivo utilizado, devido a relação com a presença de extrativos e variação do pH (MENDES, 2001).

Um fato importante que deve ser considerado quando se trata da escolha da espécie é em relação aos aspectos anatômicos. Surdi (2012) afirma que para a manufatura de painéis OSB é preciso observar características referentes à proporção do lenho inicial e tardio, largura dos anéis de crescimento, proporção de cerne e alburno, porcentagem de extrativos e porosidade. Ainda, César (2011) complementa que o processo de colagem é muito influenciado por estas variações nas características anatômicas ao longo da madeira, influenciando na movimentação do adesivo, ou seja, na capacidade de penetração.

A produção comercial de OSB no Canadá, segundo Gouveia et al. (2003), iniciou com a espécie *Populus spp.* FPL (1999) afirma que nos EUA, o Aspen (*Populus spp.*) é uma das espécies preferidas para a confecção desse tipo de painel. SBA (2014c) cita que no Canadá e no Norte dos EUA, basicamente, as espécies utilizadas para a produção de OSB são aspen, *balsam poplar*, *birch* and *red maple*. Na região Sul dos EUA o *yellow pine* é a mais comumente utilizada e na Europa, predominam as espécies de pinheiros. No Brasil, a única empresa produtora de OSB utiliza madeira de *Pinus spp.*

De acordo com Gouveia et al. (2003), a utilização de diferentes espécies e misturas na fabricação de painéis é descrita em diversas pesquisas. Isto, porque, basicamente, os painéis de partículas orientadas podem ser produzidos com

diversas espécies, misturas de espécies ou diferentes estruturas de camadas.

Podem-se citar algumas pesquisas recentes com painéis formados por diferentes espécies de rápido crescimento: seis espécies de *Eucalyptus* foram estudadas por Iwakiri *et al.* (2004), sendo elas: *E. maculata*, *E. dunnii*, *E. grandis*, *E. citriodora*, *E. tereticornis* e *E. saligna*; Cabral *et al.* (2006) utilizou *E. grandis*, *E. urophylla*, *E. cloeziana* e *Pinus elliottii*; Iwakiri *et al.* (2008) utilizou *E. grandis* e *E. dunnii*; *Pinus oocarpa* e *E. grandis* foram estudados por Castro *et al.* (2012).

a) *Pinus spp.*

O gênero *Pinus* é o que possui maior potencial para a produção de painéis de madeira reconstituída, como o OSB no Brasil. As principais espécies que podem ser utilizadas na produção nacional de OSB são os *Pinus taeda* e *Pinus elliottii* e alguns *Pinus* tropicais disponíveis (MENDES, 2001). Saldanha (2004) afirma que um aspecto positivo da madeira de *Pinus* é a flexibilidade e planicidade das partículas geradas, principalmente nas de maiores dimensões, como é o caso do tipo "wafer" e "strand" favorecendo o processo de aplicação da resina, formação do colchão e área de contato entre as partículas.

No Brasil, o gênero *Pinus* foi introduzido no ano de 1936, embora o reflorestamento tenha sido intensificado apenas em 1966 com os incentivos fiscais. Abriram-se boas perspectivas para o reflorestamento devido ao comportamento bastante promissor apresentado pelas espécies subtropicais do gênero, assim, grandes áreas foram reflorestadas (HIGA *et al.*, 2008).

Higa *et al.* (2008) diz que a região Sul do Brasil agrupa as melhores condições edafoclimáticas para plantações de *Pinus*, haja vista que o clima é determinante na produtividade desta cultura.

Trianoski (2012) cita que as principais espécies utilizadas nestes plantios se resumiam em *P. taeda* e *P. elliottii*, principalmente nos estados do Paraná e Santa Catarina, as quais apresentaram rápido crescimento, intensa reprodução e facilidade de aplicação de práticas silviculturais e de manejo.

Bassa (2006) descreve que plantios de *Pinus spp.* no Brasil apresentam crescimento volumétrico de 20 a 30 m<sup>3</sup>/ha/ano

e sua rotação é de aproximadamente 20 anos, sendo que desbastes são realizados nos plantios aos 8 e 14 anos de idade.

A espécie *P. taeda*, naturalmente encontrada nos Estados Unidos (BARRICHELO *et al.*, 1977), pode ser plantada em regiões tropicais e subtropicais com altitudes entre 0 e 900 m; precipitação média anual entre 900 mm e 2200 mm e estação seca de até 6 meses; temperatura média anual entre 14°C e 24°C e temperatura média do mês mais quente entre 20°C e 35°C, temperatura média do mês mais frio entre 1°C e 18°C. É tolerante à geadas e pode suportar períodos de alagamento do solo e também déficit hídrico. Embora cresça em uma grande variedade de solos, de diferentes texturas, capacidades de retenção de umidade e acidez, pode apresentar diminuição na produtividade em solos de baixa fertilidade.

De acordo com Aguiar *et al.* (2011), a espécie *P. elliottii* var. *elliottii* ocorre naturalmente no sul e sudeste dos Estados Unidos. O clima predominante na região de ocorrência natural caracteriza-se pelos verões chuvosos, com precipitação pluviométrica média anual em torno de 1270 mm e temperatura média anual de 17°C, ocorrendo, casualmente, temperaturas extremas de 18°C até 41°C. No Brasil, esta variedade requer clima com inverno frio e exige disponibilidade de umidade durante todo o ano.

Conforme Klock (2000), o alburno da madeira de *P. taeda* é amarelado claro, enquanto que o cerne é de coloração marrom avermelhada. A madeira de *P. taeda* possui grã reta, textura média e valores de massa específica média aos 30 anos de idade entre 0,46 e 0,57 g/cm<sup>3</sup> (MUÑIZ, 1993). Já a madeira de *P. elliottii* var. *elliottii*, de acordo com Carpanezzi *et al.* (1986), em idades mais avançadas, possui densidade básica que varia de 0,50 a 0,56 g/cm<sup>3</sup>.

A diversidade de utilização do *P. taeda* faz desta uma espécie importante para o setor florestal, pois sua madeira pode ser destinada para diversas finalidades. Como, a fabricação de compensados e painéis de madeira reconstituída, indústria de serrados, que a transforma em madeira beneficiada ou é convertida em móveis, produção de papel e celulose, além do aproveitamento de resíduos como biomassa para geração de vapor e energia (SURDI, 2012).

Já o *P. elliottii* é plantado em menor escala do que o *P. taeda* em função da sua madeira não ser usada pelas indústrias de celulose e papel, e sim na produção de madeira para processamento mecânico, haja vista que possui melhor qualidade física e mecânica, além de produzir madeira adulta mais cedo, e ser consagrado, principalmente, na extração de resina (AGUIAR *et al.*, 2011).

b) *Eucalyptus benthamii*

O *E. benthamii* é originário da Austrália, região de Nova Gales do Sul. Árvore alta, variando de 30 a 45 m de altura, tem sua distribuição natural restrita ao oeste da cidade de Sydney, em planícies ao longo do rio Nepean e seus afluentes (FAO, 2004). Ocorre normalmente em solos férteis nas partes planas das deposições dos rios, em regiões de altitude inferior a 100 m, com temperaturas entre 26°C e 4°C e precipitação média anual de 1100 mm, com ocorrência de geadas leves (HIGA, 1999; HIGA e PEREIRA, 2003).

Com a construção de represas e a formação de pastagens durante a colonização pelos europeus, a maior parte da população nativa de *E. benthamii* foi cortada ou inundada. Além disso, três incêndios ocorridos em 1957, 1979 e 1981 afetaram a população original da espécie, assim, se tornou bastante fragmentada e foi até considerada extinta (PRYOR, 1981; BENSON, 1985; HIGA e PEREIRA, 2003; MARTINS, 2011).

Informações mais recentes apontam a espécie como vulnerável na Austrália, para tanto, é protegida e recebe cuidados especiais de órgãos governamentais naquele país, além de estratégias de conservação. Os indivíduos que resistiram às ameaças estão catalogados e fazem parte de duas populações, ambas estão em áreas conservadas, uma na região do Kedumba Valley juntamente ao Blue Mountains National Park e outra ao longo do Rio Nepean, na Bent Basin State Recreation Area, de acordo com FAO (2004).

Mendoza (1983) citado por Silva (2008) e Martins (2011) mencionam a implantação do *E. benthamii* em outros países, como no norte da Argentina, onde a espécie apresentou uma taxa de sobrevivência de 85% e produtividade de 34 m<sup>3</sup>/ha/ano

aos sete anos de idade. Na África do Sul a espécie é considerada potencial para plantios em regiões de ocorrência de geadas (SWAIN, 1997) e na China a espécie também tem mostrado bons resultados (YONQI *et al.*, 1994).

No Brasil, Graça *et al.* (1999) afirmam que uma das primeiras populações experimentais de *E. benthamii* foi plantada há quase 25 anos, em Colombo-PR, pela Embrapa Florestas, com procedência da Austrália (Wentworth Falls, NSW) e, após avaliações de reflorestamentos disseminados pelo país, a espécie tem mostrado elevada resistência à geada, rápido crescimento, boa forma de fuste e alta homogeneidade do talhão.

Na região de Dois Vizinhos, Paraná, Higa e Carvalho (1990) observaram em plantios de *E. benthamii*, com idade de 45 meses, sobrevivência de 70%, altura média de 16 m e DAP médio de 15 cm. Em Colombo, segundo Shimizu citado por Higa e Pereira (2003), também no estado do PR, apresentou, aos 8 anos de idade, altura média de 18 m e DAP médio de 21 cm.

Além do crescimento satisfatório, a resistência à geada é outro fator positivo já que a perda não ultrapassa 4%, enquanto outras espécies do gênero atingem 90% de perda, o que torna essa espécie indicada para o cultivo na região Sul do Brasil, sobretudo no Planalto Catarinense (MARTINS, 2011). Painel Florestal (2013) mostrou que durante o período de frio intenso e neve frequente que ocorreu em julho de 2013, na cidade de Guarapuava-PR, o *E. benthamii* foi mais tolerante que o próprio *E. dunnii*, espécie já consagrada para o frio rigoroso dos estados de clima subtropical no Brasil. Segundo Paludzyszyn Filho *et al.* (2006), é recomendada para regiões com temperaturas mínimas absolutas de até -10°C para evitar atraso no crescimento das plantas.

Nisgoski *et al.* (1998) descreve as características gerais da madeira de *E. benthamii* como: densidade básica de 0,47 g/cm<sup>3</sup>, cerne e alburno distintos, sendo que o cerne é de cor marrom avermelhada e o alburno amarelo rosado textura fina a média, grã irregular, cheiro e gosto imperceptíveis superfície levemente brilhante em luz adequada e anéis de crescimento indistintos.

Alves *et al.* (2011), ao estudarem a madeira da espécie com a finalidade de produção de celulose Kraft verificaram que, embora haja poucos estudos indicando os usos potenciais, a

estrutura anatômica do *E. benthamii* e, ainda, a densidade básica e as dimensões das fibras estão dentro dos parâmetros do gênero *Eucalyptus* utilizados atualmente pela indústria nacional de celulose e papel.

Martins (2011) concluiu que a espécie é adequada para a produção de painel colado lateralmente (PCL).

Para serraria, Higa e Pereira (2003) indicaram que a madeira de *E. benthamii* é dimensionalmente instável, apresenta índices elevados de retratibilidade volumétrica e de coeficiente de anisotropia, o que pode resultar em defeitos na madeira serrada.

Ainda, Pereira *et al.* (2001) diz que a sua qualidade é adequada para a produção de energia mas apresenta problemas para o processamento mecânico, o que implicaria reduzir a intensidade de empenamentos e rachaduras.

Observando o exposto anteriormente, a espécie *E. benthamii* poderia ser considerada como uma alternativa de rápido crescimento para a utilização em painéis de partículas, desta forma, não haveria interferência da elevada instabilidade dimensional que apresenta. De acordo com Mendes (2001), a utilização da madeira de *Eucalyptus* na indústria de OSB e de outros tipos de painéis de madeira dependerá de pesquisas direcionadas para adequar este material principalmente aos fatores inerentes ao processo.

### **2.3.3.1.2 Densidade da madeira**

A densidade da madeira é a quantificação direta do material lenhoso por unidade de volume e, é a propriedade da madeira mais estudada devido ao fato de estar intimamente ligada a muitas características tecnológicas fundamentais para a utilização da madeira, de acordo com a citação de Arantes (2009).

Para a fabricação de painéis de madeira, não existe nenhuma propriedade da madeira que sozinha indique a potencialidade de seu uso. Entretanto, dentre as variáveis relacionadas à espécie da madeira, a sua densidade é considerada uma das mais importantes, por ser um dos componentes da razão de compactação, que é a relação entre a

densidade do painel e densidade da madeira utilizada na sua produção (MOSLEMI, 1974; KELLY, 1977; MALONEY, 1993; SALDANHA, 2004).

Maloney (1993) afirma que as variações na densidade da madeira podem influenciar as operações de processamento, como: geração de partículas, secagem, consumo de resina e prensagem dos painéis. Assim como no processo de produção dos painéis, o uso final destes também é determinado a partir da densidade da madeira.

As espécies de madeira com densidade de até 0,55 g/cm<sup>3</sup> são as mais adequadas para a produção de painéis de partículas (MOSLEMI, 1974; MALONEY, 1993). No entanto, segundo Cloutier (1998), as densidades ideais variam de 0,25 a 0,45 g/cm<sup>3</sup>, porém o autor ressalva que espécies de densidades entre 0,45 e 0,55 g/cm<sup>3</sup> podem ser utilizadas, sendo menos desejadas e mais frequentemente empregadas em mistura com madeira de densidade mais baixa.

Isto se deve ao fato das madeiras leves permitirem maior taxa de compressão e terem área de partículas maior para um mesmo peso, o que resulta em um melhor contato entre elas e, consequentemente em uma melhor colagem. Por outro lado, madeira muito leve pode produzir maior quantidade de finos e de poeira quando transformada em partículas, o que dificulta a colagem (HILLIG, 2000).

### **2.3.3.1.3 Teor de umidade da madeira**

Durante o processo de produção, a variação do teor de umidade da matéria-prima pode acarretar problemas operacionais em quase todas as etapas produtivas, segundo Mendes (2001).

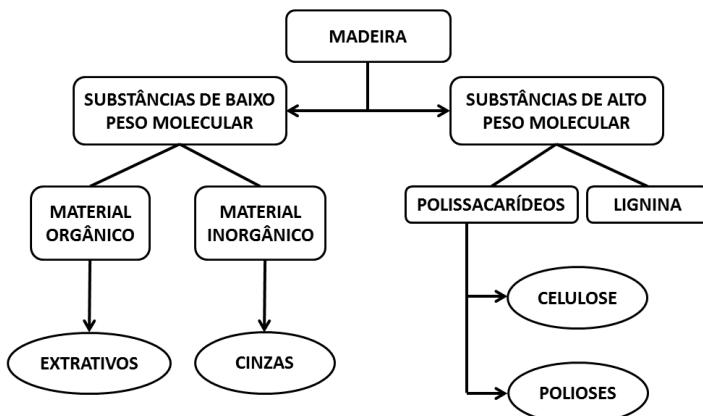
Na produção das partículas, Maloney (1993) esclarece que altos teores de umidade podem dificultar a picagem ou moagem do material, devido à obstrução do equipamento, além de elevar os custos de secagem. No entanto, madeiras com elevado teor de umidade possuem, normalmente, um melhor rendimento em partículas devido à reduzida quantidade de finos produzida, pois, nessa condição, a quebra de fibras é menor durante a geração de partículas.

Ainda, altos teores de umidade vão exigir maiores custos de energia para secagem do material e, influenciarão até o momento da prensagem dos painéis, onde podem provocar variações na cura do adesivo.

#### 2.3.3.1.4 Composição química da madeira

Latorraca (2000) explica, a partir da Figura 7, algumas substâncias que compõem quimicamente a madeira.

Figura 7 – Composição química da madeira.



Fonte: Adaptado de LATORRACA (2000); FENGEL e WEGENER (1984).

A madeira é quimicamente constituída por dois grandes componentes: holocelulose e lignina, além do que, em menores quantidades, os chamados extrativos e as cinzas. A celulose, que é constituída por três elementos, carbono, hidrogênio e oxigênio, contribui com a maior parte, representando cerca de 60 a 75% do total dos componentes e, está organizada dentro de cadeias de açúcares que facilitam o transporte no sistema vascular da árvore (MARRA, 1992; LATORRACA, 2000).

As polioses (hemiceluloses) são uma mistura de polímeros polissacarídeos de baixa massa molecular que estão

em estreita associação com a celulose na parede celular. Os principais constituintes das polioses são cinco açúcares neutros, as hexoses: glucoses, manose e galactose; e as pentoses: xilose e arabinose. As folhosas, de maneira geral, contêm maior teor de polioses que as coníferas, e a composição é diferenciada (KLOCK *et al.*, 2005).

A lignina que também apresenta a mesma composição elementar da celulose representa cerca de 20 a 30%. Os extrativos, aproximadamente 1 a 10%, compreendem um grupo misto de polímeros complexos, que se encontram impregnados nas paredes e no lume das células, e por fim, as cinzas que representam os minerais extraídos do solo, aparecem com menos de 1%, de acordo com o mesmo autor.

Para alguns autores (BROWNING, 1975; SJÖSTRÖM, 1993; LIMA, 1996; LATIRRACA, 2000), os extrativos são constituídos por substâncias tais como: taninos, gomas, corantes, amidos, gorduras, resinas e fitosteróis, além de outros. Estes podem ser removidos com água fria ou quente, ou ainda com solventes orgânicos como etanol, tolueno, acetona ou diclorometano. Esses extrativos são responsáveis por determinadas características, como a cor, o desenho, o cheiro, o gosto e a resistência natural ao ataque de organismos destruidores da madeira.

Hillig (2000) afirma que é conhecida a influência da composição química da madeira sobre os painéis de partículas de madeira, mas, muitas vezes, este grau de interferência não é bem definido. Este fato é explicado, em parte, em razão de ser pequena esta influência no processo produtivo. Ao que parece, as propriedades químicas da madeira devem estar relacionadas à colagem, e, em menor grau à higroscopичidade da madeira e do painel.

Assim como as outras propriedades, as características químicas da madeira variam de espécie para espécie. Espécies com baixo conteúdo de extrativos são as mais desejadas para a produção de OSB. Em geral, as espécies de alto teor de extrativos são propensas a estouros no final do ciclo de prensagem. Os extrativos podem também interferir na cura da resina e, ainda resultar numa linha de cola de baixa resistência entre as partículas (CLOUTIER, 1998).

Outra preocupação que está sendo motivo de estudo refere-se à incorporação de lignina às formulações tradicionais de resinas utilizadas na colagem de painéis OSB. Neste sentido, alguns pesquisadores concluíram que uma grande economia pode ser alcançada incorporando até 50% de lignina à resina fenol-formaldeído (FF), sem afetar a qualidade dos painéis produzidos (SURDI, 2012).

### **2.3.3.2 Fatores relacionados ao processo**

#### **2.3.3.2.1 Densidade dos painéis**

Dentre as propriedades dos painéis de partículas, a densidade aparece como sendo a mais importante, pois está relacionada com praticamente todas as outras, exceto a expansão linear (SHULER e KELLY, 1976; HAYGREEN e BOWYER, 1982; GOUVEIA, 2001). Os dois fatores que influenciam a densidade dos painéis são a densidade da matéria-prima e a razão de compactação do colchão (KELLY, 1977).

A densidade dos painéis delimita seu uso final porque influencia as suas propriedades físicas e mecânicas de forma significativa. Painéis com maior densidade apresentam maior resistência mecânica, isto é, maior módulo de elasticidade (MOE) e de ruptura (MOR), além da maior ligação interna. No entanto, a estabilidade dimensional pode ficar prejudicada (ZHANG *et al.* 1998; WU; 1999; SALDANHA, 2004).

Muitos pesquisadores têm encontrado uma relação linear positiva entre a densidade do painel e as propriedades de resistência à flexão (HILLIG, 2000).

Saldanha (2004) observou que em relação às propriedades físicas, o aumento da densidade dos painéis resultou em redução da absorção de água, além do aumento do inchamento em espessura e também da taxa de não retorno em espessura.

O inchamento em espessura é maior para painéis de maior densidade, devido à maior quantidade de material lenhoso e maior densificação, o que resultará na maior liberação de

tensões de compressão impostas durante a prensagem (MOSLEMI, 1974; KELLY, 1977).

No Canadá, de acordo com Cloutier (1998), as indústrias produzem painéis OSB com densidade na faixa de 0,63 a 0,67 g/cm<sup>3</sup>. No Brasil, Surdi (2012) afirma que a única indústria de OSB do país, a LP Brasil, produz painéis com densidade entre 0,60 e 0,65 g/cm<sup>3</sup>, variando de acordo com a dimensão do produto.

### **2.3.3.2.2 Razão de Compactação**

De acordo com Mendes (2000), a relação entre a densidade do painel e a densidade da madeira, denominada de razão de compactação, exerce um efeito marcante nas propriedades dos painéis particulados, tendo em vista o processo de densificação do material para consolidação do painel até a espessura final.

Densidades mais baixas da madeira proporcionam uma razão de compactação mais elevada e, por conseguinte, uma maior superfície de contato entre as partículas em comparação a uma madeira de densidade mais alta. Portanto, o colchão produz um produto mais uniforme com uma capacidade maior de transmitir esforços entre as partículas. O resultado disso são as propriedades de flexão e ligação interna mais elevada para painéis confeccionados com madeira de baixa densidade (SALDANHA, 2004). No entanto, tendem a apresentar maior inchamento em espessura, prejudicando a estabilidade do produto (IWAKIRI, 2005).

Em outras palavras, partículas geradas de espécies de madeira mais densas, quando compactadas durante a prensagem dos painéis produzem uma baixa razão de compactação e, portanto, para apresentarem propriedades aceitáveis de RC, há necessidade de se aumentar o teor de resina, o que aumenta o custo de produção (MENDES, 2000). Com uma menor densidade da madeira e maior densidade específica do painel simultaneamente, ocorre um maior consumo de adesivo por unidade de volume, estabelecendo-se relação direta com as propriedades mecânicas dos painéis (MARRA, 1992).

Conforme Maloney (1993), as espécies de madeira com densidade de até 0,550 g/cm<sup>3</sup> são as mais adequadas para produção de painéis de partículas, por atingirem a razão de compactação entre 1,3 a 1,6; considerada a faixa ideal para o processo de densificação e consolidação do colchão de partículas até a espessura final.

### **2.3.3.2.3 Teor de umidade das partículas**

O teor de umidade das partículas tem elevada importância no processo, desde a produção das partículas até as etapas de confecção dos painéis.

Hillig (2000) indica que se deve determinar o teor de umidade a partir das especificações do adesivo em questão, a fim de que seja mantido um ponto de equilíbrio entre a plasticidade das partículas e o tempo de prensagem, garantindo uma colagem satisfatória em menor tempo.

Maloney (1989) citado por Hillig (2000) afirma que a umidade das partículas deve situar-se em torno de 5%. Partículas mais secas têm pouca elasticidade e não se unem bem, convergindo para má adesão entre sua superfície e o adesivo. Também, teores de umidade reduzidos podem causar diminuição na resistência do painel, devido à maior absorção de adesivo pelas partículas.

Por outro lado, altos teores de umidade fazem com que haja maior plasticidade das partículas de madeira, assim, a espessura desejada do painel será atingida em um menor tempo devido a menor resistência à compactação do material. Entretanto, elevados teores de umidade requerem mais longos períodos de prensagem até a liberação eficiente do vapor de água, o que implica em maiores custos de produção, além do risco de rompimento das camadas dos painéis (SOUZA, 2012).

O mesmo autor complementa que se deve considerar a umidade como transmissora de calor. Assim, a transferência de calor ocorre mais rapidamente, da superfície em contato com os pratos da prensa para o miolo, pela presença de água facilitando o aquecimento e a cura da resina.

### 2.3.3.2.4 Geometria e orientação das partículas

Segundo Saldanha (2004), os elementos dimensionais das partículas de madeira, considerados como variáveis do processo de produção de OSB são: espessura, largura e comprimento.

Iwakiri *et al.* (2003) afirma que a geometria das partículas “strand”, relacionada ao seu comprimento e largura, é um dos parâmetros que controla o grau de orientação durante a formação dos painéis OSB. As partículas do tipo “strand” proporcionam melhor orientação em comparação às partículas menores e com menor relação comprimento/largura, como a dos tipos “sliver”, “flake” e “wafer”.

Ainda, complementar a isto, a orientação das partículas permite a obtenção de propriedades mecânicas que se assemelham às da madeira maciça, (SHALER, 1991; GOUVEIA *et al.*, 2003). Segundo Mendes (2000), existe diferença entre o sentido perpendicular e paralelo para módulo de ruptura e elasticidade, indicando a eficiência da orientação das partículas.

De acordo com Maloney (1977), a relação entre o comprimento e largura das partículas ‘strand’, deve ser de no mínimo três vezes, para proporcionar uma boa orientação das partículas na formação do painel.

Iwakiri (2005) define as dimensões médias das partículas “strand” como 90 a 150 mm de comprimento, 25 mm de largura e 0,50 a 0,75 mm de espessura.

Outra relação importante é entre o comprimento e a espessura das partículas, denominada de razão de esbeltez, que exerce uma grande influência nas propriedades dos painéis (MOSLEMI, 1974; KELLY, 1977).

Com o aumento na relação comprimento/espessura das partículas, ou seja, maior razão de esbeltez, se obtém painéis com maior resistência à flexão estática. Entretanto, com o aumento na espessura das partículas, mantendo-se o comprimento constante, ocorre o aumento da disponibilidade de resina por área superficial de partículas para um mesmo teor de resina, resultando consequentemente em um aumento das propriedades de ligação interna (MALONEY, 1993).

### 2.3.3.2.5 Composição do painel

As diferenças fundamentais do painel OSB em relação aos outros painéis particulados estão relacionadas ao tamanho e orientação das partículas, além da organização em camadas dispostas em sentidos perpendiculares uma às outras. Esta composição estrutural em camadas cruzadas, melhora a sua resistência mecânica e estabilidade dimensional nos sentidos paralelo e perpendicular ao plano do painel. Surdi (2012) afirma que juntamente com a densidade do painel, a composição estrutural é a que mais influencia as propriedades do painel.

Mendes (2010) cita alguns exemplos de porcentagens utilizados na composição (face/miolo/face) de painéis de OSB experimentais: camada única; 5/90/5; 10/80/10; 15/70/15; 20/60/20; 25/50/25; 30/40/30; 33,3/33,3/33,3, entre outras.

Com relação ao sentido de orientação das partículas nas camadas superficiais e no centro dos painéis “OSB”, Cloutier (1998) afirma que a proporção ideal é na faixa de 20:60:20 a 30:40:30 baseada na porcentagem do peso de partículas.

As propriedades de flexão estática podem ser igualadas nos sentidos paralelo e perpendicular com a relação face:miolo:face de 25:50:25 (SUZUKI e TAKEDA, 2000; MENDES, 2001; IWAKIRI, et al., 2003).

Mendes (2003) concluiu em seu trabalho com composições de painéis 1:1:1 e 1:3:1 que a diminuição da relação face/miolo provocou um aumento no MOE e no MOR na direção perpendicular, e uma diminuição no MOE e no MOR na direção paralela à orientação das partículas das camadas superficiais dos painéis.

Avramidis e Smith (1989) observaram uma significativa melhora nas propriedades dos painéis OSB (MOE e MOR no sentido paralelo à orientação), quando se aumentou a proporção face/miolo, o contrário do que ocorreu para ligação Interna (LI). Os mesmos, não observaram um efeito claro da influência das proporções das camadas nas propriedades de absorção de água (AA) e inchamento em espessura (IE).

### 2.3.3.2.6 Adesivo

De acordo com Marra (1992), adesivo é uma substância com propriedades aderentes, ou seja, que é capaz de manter unidos outros materiais em suas superfícies.

Iwakiri *et al.* (2003) explica que a escolha de um determinado tipo de resina está condicionada às condições de uso do produto e custos. Devido aos preços diferenciados e por ser a resina o componente mais caro na produção, torna-se muito importante a definição do tipo e quantidade de resina a serem utilizadas, no sentido de buscar uma melhor relação custo/benefício.

As resinas utilizadas na produção dos painéis OSB são geralmente para aplicação externa ou interna. As externas são curadas durante o processo de alta pressão e temperatura, sendo insolúveis e à prova d'água. Em contrapartida, as resinas solúveis em água são principalmente utilizadas em painéis de uso interior, como, por exemplo, em paredes, armários e outros móveis (SOUZA, 2012).

Dentre os principais tipos de adesivos utilizados pela indústria de painéis de madeira estão a ureia-formaldeído (UF), melamina-formaldeído (MF), fenol-formaldeído (FF) e isocianato (MDI: difenil-metano di-isocianato), conforme Marra (1992) e Mendes (2010). Sendo que, os dois últimos são os mais utilizados para produção de OSB, principalmente em função da necessidade de alta resistência à umidade devido ao ambiente em que são empregados estes painéis (CLOUTIER, 1998).

A maior parte das indústrias de OSB na América do Norte utiliza o adesivo FF, enquanto que o adesivo MDI é usado para painéis que exigem melhor qualidade. O MDI em comparação ao adesivo FF apresenta cura mais rápida e tolera umidades mais elevadas do colchão, no entanto, apresenta como desvantagens o maior custo e o fato de aderir em metais, o que faz com que ele seja aplicado geralmente na camada interna dos painéis (SURDI, 2012).

Hillig (2000) complementa que as formulações adesivas FF, embora tenham custo mais elevado, são bastante usadas na produção de painéis para uso na construção civil e naval. Também são fornecidas na forma líquida ou em pó e, para colagem a quente exige maior temperatura da prensa e maior

taxa de compressão. Seu processo de cura é semelhante ao das colas à base de UF, no entanto, exigem maiores cuidados na aplicação no que diz respeito às condições de prensagem (temperatura e pressão) e, principalmente teor de umidade da madeira.

Existe também a possibilidade de uso de resina melamina-formaldeído, como fortificante, em mistura com a resina ureia-formaldeído, para reduzir o custo e melhorar a estabilidade dimensional dos painéis. Atualmente, algumas indústrias produzem resinas compostas de melamina-ureia-formaldeído (MUF) e fenolmelamina-ureia-formaldeído (PMUF) como alternativas para produção de painéis com melhor estabilidade dimensional e com custo relativamente inferior (SALDANHA, 2004).

Martins (2011) explica algumas características dos adesivos e a influência que eles possuem sobre o poder de colagem. A viscosidade é a que tem maior importância, no caso, quanto menor a viscosidade maior é a penetração do adesivo e a sua absorção pela madeira. Outra característica importante é o teor de sólidos, que é a quantidade de massa que corresponde à parte não volátil da resina e influencia a tensão de deslocamento. A colagem também é influenciada pelo pH do adesivo, implicando na solidificação do adesivo na linha de cola.

Até um determinado limite, o aumento na quantidade de resina resulta em painéis com melhores propriedades físico-mecânicas. Brito (1984) estudando "waferboard" de *Pinus spp.* encontrou incremento nas propriedades mecânicas e inchamento em espessura com o aumento da porcentagem de resina fenólica de 4% para 8%.

Enquanto que Mendes et al. (2007) avaliando a utilização de diversos tipos de adesivo para a produção de painéis OSB com madeira de *Eucalyptus* concluíram que os valores de absorção de água e inchamento em espessura não foram afetados pelo tipo de adesivo, assim como ligação interna, entretanto MOE e MOR sofreram variação.

Outros compostos alternativos vêm sendo estudados para diminuição do custo da resina e melhora das características de colagem. É o caso citado por Surdi (2012) que relata pesquisas com o uso de taninos extraídos de espécies florestais, afirmando que testes estão sendo feitos para melhorar o

desempenho de resinas à base de tanino retirado de casca de Acácia.

### **2.3.3.2.7 Parafina e outros aditivos**

A parafina é o aditivo mais utilizado, que é adicionada a fim de proporcionar uma melhoria na resistência do painel quanto à absorção de água na forma líquida. Contudo, isto não melhora o desempenho do painel quanto à absorção de vapor de água. Além disso, os efeitos da parafina na absorção de água na forma líquida, e consequente aumento na espessura do painel são significativos somente em curto intervalo de tempo (MENDES, 2001).

Moslemi (1974) destacou que a quantidade de parafina aplicada geralmente é de 1% ou menos e, é de suma importância para a estabilidade dimensional dos painéis. Kelly (1977) analisando as variáveis de processamento nas propriedades dos painéis de partículas adverte que aplicações de parafina maiores que 1% baseado no peso seco do material causam reduções nas propriedades de resistência dos painéis pela influência sobre a reação de cura do adesivo.

Ainda, Hillig (2000) indica que alguns aditivos podem ser adicionados às partículas juntamente com o adesivo, para diversos fins. Os mais comumente usados são inseticidas, fungicidas, retardantes de fogo e retardantes de absorção d'água. O mesmo autor complementa que pentaclororofenol, ou semelhantes, pode ser usado para proteção dos painéis contra o ataque de insetos ou fungos. E ainda, Iwakiri (2014) complementa que se usam produtos à base de boro (fungos) ou à base de piretróides - hexaclorociclohexano (insetos). Já para melhorar a resistência dos painéis a ação do fogo, usa-se produtos com ácido bórico, sulfato de amônia e bromato de amônia.

Outro aditivo químico bastante aplicado na indústria é o catalisador, com a finalidade de curar a resina em menor tempo. Segundo Trianoski (2012) a adição do catalisador irá promover reações de acidificação acelerando a cura da resina e com isso diminuindo os custos de prensagem do painel e aumentando a produtividade. E ainda, os extensores, os quais têm o objetivo de

melhorar as características dos adesivos quanto à distribuição, fluxo e penetração na madeira. Entretanto, estes aditivos são geralmente aplicados quando o adesivo é à base de ureia-formaldeído ou então, a colagem é feita em temperatura ambiente.

### **2.3.3.2.8 Ciclo de prensagem**

A operação de prensagem é uma etapa extremamente crítica na produção de painéis de madeira. É neste momento que muitas das propriedades físicas são definidas, com destaque para aquelas influenciadas pelo gradiente vertical de densidade do painel. As condições de prensagem que mais afetam as propriedades dos painéis de madeira são o teor de umidade do colchão de partículas, a velocidade de fechamento da prensa, o tempo e a temperatura de prensagem (KELLY, 1977).

#### **a) Pressão**

A aplicação de uma pressão mínima é necessária para a densificação do colchão de partículas até a espessura final do painel e, também, para assegurar um contato superficial adequado entre as partículas de madeira (MOSLEMI, 1974; KELLY, 1977; SALDANHA, 2004).

Segundo Saldanha (2004), o nível de pressão irá influenciar também no tempo de fechamento da prensa. Quanto maior a pressão específica aplicada, menor será o tempo de fechamento da prensa e, resultará em painéis com maior densificação das camadas superficiais, ou seja, maior gradiente vertical de densidade. Painéis com maior densificação das camadas superficiais apresentarão maior resistência à flexão estática, no entanto, a ligação interna será menor.

#### **b) Temperatura**

A temperatura e o tempo de prensagem são parâmetros que interagem entre si, devendo ser controlados a fim de assegurarem que a temperatura do miolo do painel atinja o nível requerido para a cura do adesivo.

A temperatura de prensagem é definida de acordo com o tipo de resina utilizada. A sua função é polimerização e cura da resina, além de auxiliar na compactação do colchão de partículas até a espessura final do painel, através do processo de plasticização da madeira, reduzindo a sua resistência à compressão (MATOS, 1997; MARRA, 1992; GARCIA *et al.*, 2001).

Por fim, Hillig (2000) explica que o tempo de prensagem também necessita ser tal que permita evaporar a água existente ocasionando assim a cura mais rápida do adesivo. Para ureia-formaldeído a temperatura máxima é de 170°C, e para outras resinas como fenol-formaldeído e tanino-formaldeído utiliza-se temperaturas de 160°C a 180°C.

Iwakiri (1989) encontrou referências de que, quanto maior a temperatura de prensagem, maior será a transferência de calor, permitindo melhor densificação das camadas internas dos painéis, resultando em maior resistência da ligação interna e melhor resistência à flexão estática.

### c) Tempo

Mendonça (2008) define o tempo de prensagem como o intervalo desprendido a partir do momento em que o colchão é comprimido até a abertura dos pratos da prensa. Iwakiri (1989) complementa que este período deve ser suficiente para permitir que o vapor d'água migre para as bordas do painel e aconteça a sua liberação até o final da prensagem.

Mendes (2001) afirma que nas indústrias canadenses de OSB o tempo de prensagem é de 3 a 6 minutos, dependendo da espessura do painel.

Quando espaçadores são empregados na prensagem de painéis de partículas, o tempo de prensagem refere-se ao intervalo de tempo desde o instante em que os espaçadores são atingidos pelos pratos da prensa até a abertura da prensa, de acordo com Matos (1997). Anteriormente a isto, Mendonça (2008) acrescenta que ocorre o fechamento da prensa, que é determinado como o tempo desde o contato inicial do prato da prensa com a superfície do colchão até atingir a espessura final do painel.

Segundo Kelly (1977), um tempo muito longo de fechamento faz com que a resina nas partículas em contato com os pratos aquecidos da prensa polimerize antes que um contato suficiente entre as partículas tenha ocorrido, resultando na redução da adesão do material e ocasionando a pré-cura nas camadas superficiais, o que posteriormente vai reduzir as propriedades de resistência dos painéis.

Ainda, Silva *et al.* (2006) complementam que reduções no tempo de prensagem dos painéis são mais desejáveis, pois implicam em uma maior produção por unidade de tempo, bem como provocam uma redução no consumo de energia. Entretanto, relata que o principal efeito do decréscimo no tempo de prensagem é a redução nas propriedades de resistência.

### **2.3.4 Propriedades dos painéis OSB**

#### **2.3.4.1 Absorção de água e inchamento em espessura**

Absorção de água é a expressão em porcentagem da quantidade de água absorvida quando os corpos de prova que estão acondicionados sob umidade e temperatura controladas são imersos em água por tempo de 2 e 24 horas.

Del Menezzi (2004) afirma que a estabilidade dimensional de um painel pode ser avaliada em função da absorção de água, do inchamento em espessura e da expansão linear que ocorrem quando é imerso em água líquida.

O mesmo autor explica que o inchamento em espessura acontece devido a dois fatores: natureza higroscópica da madeira e tensões de compressão. O painel está sujeito às variações oriundas da madeira, que é um material naturalmente hidrófilo e como tal absorve e adsorve moléculas de água no estado líquido e gasoso. Assim, quando a madeira é exposta à umidade ocorre aumento de suas dimensões, conhecido como inchamento, e quando a umidade é retirada ocorre redução das dimensões, ou seja, retração. Estas alterações dimensionais ocorrem também, em função da liberação das tensões impostas durante a prensagem, devido aos tratamentos com altas

temperaturas e variações de pressão a que estes compostos são submetidos durante a fabricação.

O inchamento em espessura é maior para os painéis de densidades maiores, devido à maior quantidade de material lenhoso e à maior densificação, resultando na maior liberação das tensões de compressão impostas durante a prensagem (MOSLEMI, 1974; KELLY, 1977; MENDONÇA, 2008).

Silva *et al.* (2006) afirmam que o inchamento em espessura pode ser afetado pela espécie de madeira, geometria das partículas, massa específica dos painéis, teor de resina, teor de parafina, eficiência da aplicação da cola e condições de prensagem.

#### **2.3.4.2 Taxa de não retorno em espessura**

Chamada também de Inchamento em Espessura Não Reversível, a TNRE expressa o inchamento ocorrido em função da liberação das tensões de compressão, que uma vez liberadas pela umidade não voltam (contraem) à situação anterior (DEL MENEZZI, 2004). Este efeito pode ser reduzido ou eliminado por meio de tratamentos especiais como pós-vaporização e pós-aquecimento dos painéis, embora estes métodos tenham aplicações restritas (IWAKIRI, 1989).

#### **2.3.4.3 Módulo de elasticidade e módulo de ruptura a flexão estática**

Para Iwakiri (1989), MOE é um parâmetro que indica a rigidez de um material submetido a um determinado esforço. Já para MOR, o autor relata que é uma propriedade muito importante que determina a aplicabilidade dos painéis de partículas para uso estrutural. Matos (1997) complementa que o MOR é a medida da resistência oferecida pela madeira aos esforços de flexão.

O MOE é afetado pelas diversas variáveis do processo de produção de painéis, dentre as quais, a densidade dos painéis, composição das camadas, teor de resina, razão de compactação, conteúdo de parafina e dimensões das partículas

(VITAL *et al.*, 1974; KELLY, 1977; MATOS, 1997; MENDES, 2001).

A densidade da camada superficial do painel exerce grande influência sobre o MOR, devido à maior resistência à flexão apresentada pelas camadas superficiais, em função da sua maior densificação (IWAKIRI, 1989; MENDONÇA, 2008).

#### **2.3.4.4 Ligação interna**

De acordo com Szabo e Gaudert (1978) citados por Iwakiri (1989), o teste de ligação interna ou tração perpendicular à superfície do painel expressa o grau de adesão entre as partículas e expõe onde está localizada a superfície de maior fragilidade no interior do painel. A ruptura ocorre geralmente na porção mediana de sua espessura, a qual corresponde à região de menor densidade e ligação entre as partículas.

Mendes (2001) verificou aumento nos valores de ligação interna com o aumento na densidade dos painéis OSB de *Pinus*.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Tecnologia da Madeira da Universidade do Estado de Santa Catarina (CAV/UDESC), situado na cidade de Lages, Santa Catarina.

#### 3.1 MATÉRIA-PRIMA

No presente estudo foram utilizadas partículas de *E. benthamii* e mix de *P. taeda* com *P. elliottii*. As partículas de *Pinus spp.* foram fornecidas pela empresa LP Brasil S/A, Unidade de Ponta Grossa – PR. As partículas de *E. benthamii* foram provenientes de árvores de reflorestamentos da empresa Klabin S/A com 13 anos de idade, os quais estavam localizados em Palmeira – SC. O município de Palmeira está localizado na mesorregião Serrana de Santa Catarina a uma latitude de 27°34'58" sul e longitude 50°09'34" oeste, com altitude de 870 metros e clima definido como mesotérmico úmido com temperatura média de 15°C (SEBRAE, 2010).

O adesivo utilizado nos painéis foi resina fenol formaldeído (FF) e emulsão de parafina, sendo a resina fornecida pelo SI Group Crios Resinas S/A, Unidade de Rio Claro – SP e a emulsão de parafina pela Indústria de Compensados Sudati LTDA, Unidade de Otacílio Costa – SC.

#### 3.2 PREPARO DO MATERIAL E GERAÇÃO DAS PARTÍCULAS

O material referente ao mix de *P. taeda* e *P. elliottii* chegou ao laboratório na forma de partículas comerciais tipo "strand", que ao longo do texto, a partir de agora, serão chamadas simplesmente de partículas.

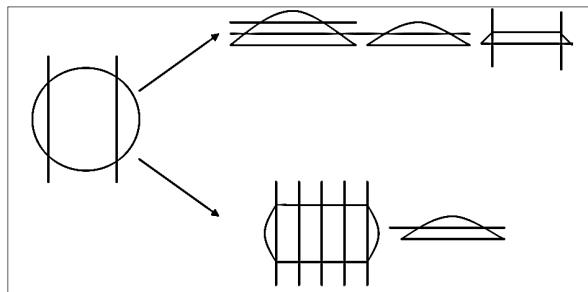
É importante destacar que as partículas não chegaram separadas por espécie, mas misturadas na proporção 80% de *P. taeda* e 20% de *P. elliottii*, sendo, portanto a mistura real do processo da empresa para a fabricação dos painéis OSB. Salienta-se ainda que as partículas utilizadas no estudo eram provenientes de árvores retiradas em operações de desbaste e

quarta tora da operação de corte raso, conforme informações da empresa.

Já o material de *E. benthamii* foi fornecido na forma de toras com comprimento de 2,40 m e diâmetro variando entre 20 e 30 cm. Foram utilizadas no estudo 40 toras, as quais foram desdobradas em peças de madeira serrada com comprimento de 2,40 m, largura de 80 mm e espessura de 25 mm na Madepar Indústria e Comércio de Madeiras LTDA (Lages - SC).

O método de desdobra utilizado para o *E. benthamii* foi o tangencial (ver Figura 8), sendo que as toras passaram inicialmente por uma serra fita para a retirada de um semi bloco central e duas costaneiras. O semi bloco foi resserrado em uma serra circular múltipla de dois eixos e as costaneiras reaproveitadas em uma sequência de duas serras de fita horizontais. As peças obtidas no reaproveitamento foram refiladas em uma serra circular dupla. Obteve-se 280 tábuas com a passagem das 40 toras pelo processo.

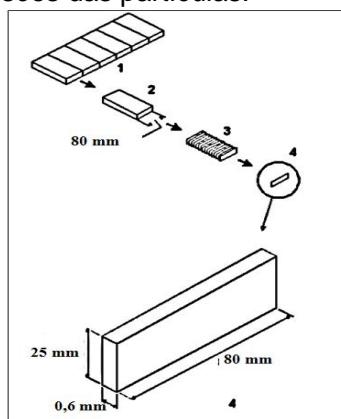
Figura 8 – Método de desdobra aplicado às toras de *E. benthamii*.



Fonte: produção do próprio autor.

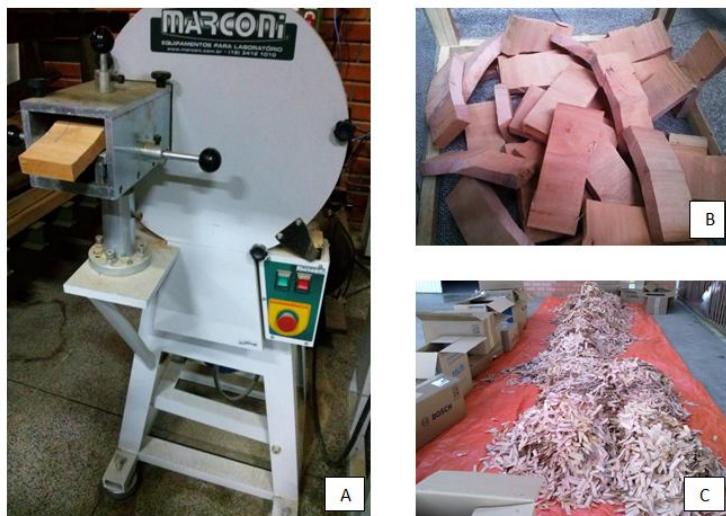
As peças de madeira serrada foram destopadas em peças com 80 mm de comprimento e posteriormente imersas em um tambor com água à temperatura ambiente durante 7 dias para facilitar o processo de geração das partículas, as quais foram produzidas em um gerador de partículas de madeira composto por um disco giratório com 4 facas posicionadas no equipamento de forma a produzir partículas com espessura aproximada de 0,50 mm (ver Figuras 9 e 10).

Figura 9 – Sequência de obtenção das partículas strand. 1) Tábua. 2) Peça destopada. 3) Partículas geradas. 4) Dimensões das partículas.



Fonte: Adaptado de Mendes (2001).

Figura 10 – Geração das partículas. A) Gerador de partículas de madeira. B) Amostra das peças destopadas. C) Partículas geradas.



Fonte: acervo do próprio autor.

As partículas para a produção dos painéis passaram pelo processo de secagem ao ar livre e em estufa a temperatura de 80°C até atingirem teor de umidade de 4±1%, sendo acondicionadas em sacos plásticos lacrados para homogeneizar e manter a umidade, permanecendo assim até o momento da manufatura dos painéis.

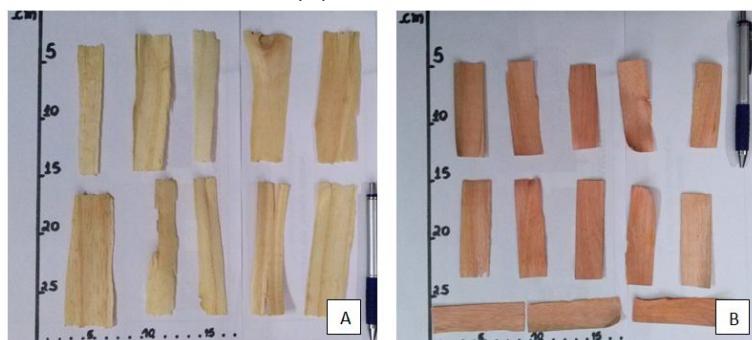
### 3.3 CARACTERIZAÇÃO DIMENSIONAL DAS PARTÍCULAS

Observou-se, a partir da medição de uma amostra contendo 100 partículas do material de *Pinus spp.*, que o comprimento das partículas variou de 82 a 134 mm, a largura de 13 a 50 mm e a espessura de 0,40 a 1,50 mm (ver Figura 11A), resultando nas dimensões médias de 115 x 27 x 0,7 mm. Devido ao fato das partículas do mix apresentarem as dimensões comerciais de fabricação, optou-se em utilizá-las sem classificação.

Em relação ao outro material do estudo, ao final do processo de geração das partículas de *E. benthamii*, observou-se que muitas partículas apresentavam espessura fora do desejado com rachaduras ao longo das faces e dimensões irregulares. Assim, foi necessária a realização de uma classificação manual para a retirada dos finos e das partículas que não atendiam ao padrão adotado no estudo para a espécie.

Por fim, as dimensões médias das partículas, também determinadas por amostragem, de *E. benthamii* (ver Figura 11B) foram de 80 x 25 x 0,50 mm, com comprimentos variando entre 74 e 88 mm, largura entre 23 e 28 e a espessura variou entre 0,40 e 0,80 mm.

Figura 11 – Detalhe das dimensões das partículas strand. Partículas do mix de *Pinus spp.* (A) e de *E. benthamii* (B).



Fonte: acervo do próprio autor.

Apenas o comprimento das partículas de *Eucalyptus* não foi adequado em relação ao definido por Iwakiri (2005), tendo resultado em tamanho menor que 80 mm devido às limitações do equipamento utilizado no processo de produção. Além disso, determinou-se a relação entre o comprimento e a espessura da partícula, denominada de Razão de Esbeltez, a qual exerce influência sobre as propriedades dos painéis.

### 3.4 ANÁLISE QUÍMICA DA MADEIRA

Parte do material das partículas do *E. benthamii* e uma porção do material do mix do *P. taeda* e do *P. elliotti* foram separados para a análise química. O material (ver Figura 12A) de ambos os gêneros foi processado em um moinho tipo Wiley para obtenção de serragem (ver Figura 12B) e posteriormente classificado em peneira granulométrica (ver Figura 12C) onde as frações de interesse passaram na peneira de 40 mesh e ficaram retidas na de 60 mesh.

Figura 12 – Preparação do material para análise química. A) Partículas antes do processamento B) Serragem obtida após processamento em moinho tipo Wiley C) Classificação do material em peneira granulométrica.



Fonte: acervo do próprio autor.

O material peneirado permaneceu em ambiente climatizado, com condições controladas de umidade relativa ( $65\pm3\%$ ) e temperatura ( $20\pm2^{\circ}\text{C}$ ) até a estabilização da massa. No total, foram realizadas 6 análises com 4 repetições, as quais estão apresentadas Tabela 2.

Tabela 2 – Análises químicas realizadas no estudo.

Análise	Norma
Material solúvel em hidróxido de sódio a 1%	NBR 7990 (ABNT, 2010)
Teor de extraíveis com água	NBR 7988 (ABNT, 1984)
Material solúvel em etanol-tolueno	NBR 14853 (ABNT, 2010)
Extrativos totais (etanol-tolueno, etanol e água)	NBR 14660 (ABNT, 2004)
Teor de cinzas	TAPPI T413 om-06 (TAPPI, 1993).
Teor de lignina	TAPPI T222 om-08 (TAPPI, 1993).
Teor de holocelulose	Por diferença de componentes, em relação ao teor de extractivos totais, lignina e cinzas

Fonte: produção do próprio autor.

### 3.5 DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA

A determinação da densidade básica foi realizada para posteriormente ser utilizada no cálculo da razão de compactação e ao mesmo tempo, para verificar a influência da variável nas propriedades físicas e mecânicas dos painéis.

Devido à forma que o material estava disponível, a determinação da densidade básica foi realizada de modo diferenciado para o *E. benthamii* e para o mix entre as espécies de *Pinus*.

Para o *E. benthamii*, a cada 30 peças que eram obtidas no processo de destopo com as dimensões de 800 x 80 x 25 mm, uma peça era retirada para a determinação da densidade básica, totalizando 56 corpos de prova. A densidade básica foi determinada de acordo com os procedimentos da NBR 11941-02 (2003). Com os dados, aplicou-se a equação 1.

$$D_{básica} = \frac{MASSA_{0\%}}{VOLUME_{saturado}} \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

$D_{básica}$  = densidade básica da madeira ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

$MASSA_{0\%}$  = massa dos corpos de prova a 0% de umidade (g)

$VOLUME_{saturado}$  = volume dos corpos de prova saturados em água ( $\text{cm}^3$ )

O material do *mix* formado por *P. taeda* e *P. elliottii* chegou ao laboratório na forma de partículas e sem a distinção entre as espécies. Desta forma, optou-se por determinar a densidade básica tomando-se como referência outros estudos, tendo em vista que não se podiam diferenciar as partículas de cada espécie. Assim, foi calculada a média ponderada conforme a equação 2, haja vista que o *mix* de partículas das duas espécies de *Pinus* era constituído por 80% de *P. taeda* e 20% de *P. elliottii*.

$$D_{básica\ mix} = \frac{(Ppt \times Db\ pt) + (Ppe \times Db\ pe)}{100} \quad \text{Equação (2)}$$

Onde:

$D_{básica\ mix}$  = densidade básica do mix de espécies

$Ppt$  = porcentagem da espécie *Pinus taeda* - 80%

$Db\ pt$  = densidade básica da espécie *Pinus taeda*

$Ppe$  = porcentagem da espécie *Pinus elliottii* - 20%

$Db\ pe$  = densidade básica da espécie *Pinus elliottii*

### 3.6 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento do experimento envolveu a produção de painéis OSB compostos por partículas de *E. benthamii* e mix de partículas de *P. taeda* e *P. elliottii*, combinadas em 3 (três) camadas posicionadas perpendicularmente entre si. Os painéis foram produzidos puros de cada gênero e também combinando *Pinus* e *Eucalyptus* em diferentes camadas do colchão, ora na superfície, ora no miolo, além da diferenciação da proporção entre as camadas externas e a camada interna, conforme apresentado na Tabela 3. Foram produzidos 3 painéis por tratamento, totalizando 30 painéis.

Tabela 3 – Delineamento experimental do estudo.

TRATAMENTO	Espécie	Proporção de partículas (face : miolo : face)
1	P : P : P	20 : 60 : 20
2	P : P : P	30 : 40 : 30
3	E : E : E	20 : 60 : 20
4	E : E : E	30 : 40 : 30
5	P : E : P	20 : 60 : 20
6	P : E : P	30 : 40 : 30
7	E : P : E	20 : 60 : 20
8	E : P : E	30 : 40 : 30
9	P + E : P + E : P + E	20 : 60 : 20
10	P + E : P + E : P + E	30 : 40 : 30

Legenda: P: *Pinus*; E: *Eucalyptus*; P+E: *Pinus* e *Eucalyptus* misturados. Fonte: produção do próprio autor.

Todos os tratamentos foram produzidos utilizando as condições abaixo especificadas:

- Dimensões do painel: 490 x 420 x 16,0 mm
- Resina Fenol Formaldeído (FF), valores apresentados pelo fabricante:
  - Teor de sólidos da resina: 51,16%
  - Gel time: 8,35 minutos para gel time a 121°C
  - Viscosidade: 480 centipoises
- Proporção de resina aplicada nas partículas: 6% com base no peso seco das partículas
  - Emulsão de parafina, valores determinados em laboratório:
    - Teor de sólidos: 48,62%
    - Proporção de emulsão de parafina aplicada nas partículas: 1% com base no peso seco das partículas
      - Teor de umidade das partículas: 4±1%
      - Densidade nominal dos painéis: 0,65 g/cm<sup>3</sup>
      - Pressão específica utilizada na pré-prensagem a frio: 5 kgf/cm<sup>2</sup>
    - Prensagem a quente:
      - Temperatura de prensagem: 180°C
      - Pressão específica: 40 kgf/cm<sup>2</sup>
      - Tempo de prensagem: 8 minutos

### 3.7 PRODUÇÃO DOS PAINÉIS

#### 3.7.1 Aplicação do adesivo (resina + emulsão de parafina) nas partículas

Primeiramente, as quantidades das três matérias-primas foram pesadas individualmente em uma balança analítica de acordo com as quantidades previamente calculadas. Quando o painel era feito somente com partículas de um gênero (painéis puros), a aplicação era feita em todas as partículas necessárias para a produção, separando as proporções no momento da formação do colchão. Porém, quando o painel era composto por

camada de gêneros diferentes (painéis heterogêneos), a aplicação do adesivo era feita separadamente, objetivando não misturar as partículas.

A aplicação da resina Fenol Formaldeído (6%), e posteriormente da emulsão de parafina (1%) foi feita em uma encoladeira do tipo tambor giratório, programada para girar com velocidade constante de 20 rpm. A encoladeira era dotada de uma pistola aspersora ativada por um compressor de ar e acoplada a um recipiente para depósito dos líquidos, no caso, a resina e parafina, de forma a aplicá-los sobre as partículas de madeira (ver Figura 13).

Figura 13 – Aplicação da resina e da emulsão de parafina sobre as partículas. A) Encoladeira. B) Pistola aspersora para aplicação da resina e da parafina.



Fonte: acervo do próprio autor.

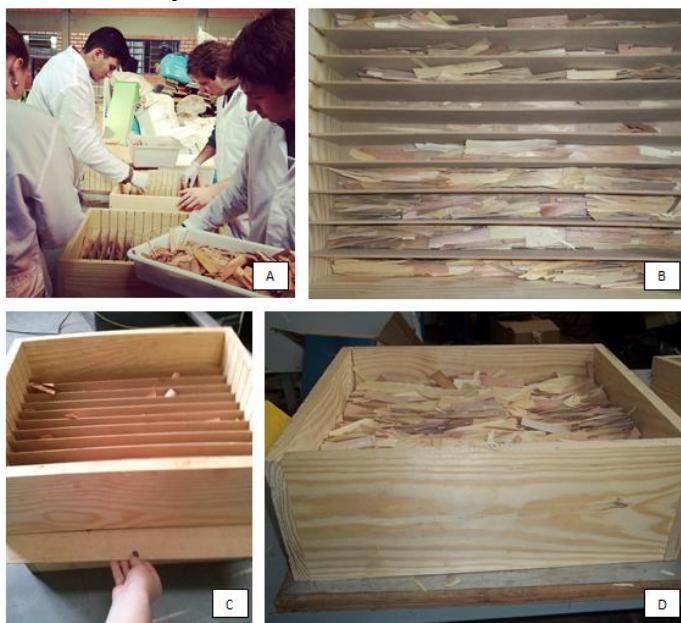
### 3.7.2 Formação do colchão

A orientação das partículas (ver Figura 14) para a formação do colchão nas camadas com as proporções definidas (20:60:20 e 30:40:30) foi feita com o auxílio de caixas formadoras, conforme modelo de Mendes (2001), Saldanha (2004) e Surdi (2012). A caixa orientadora de partículas foi composta por 3 partes, cada uma das partes apresentando

dimensões internas de 490 mm de comprimento, 420 mm de largura e 200 mm de altura.

Sendo uma caixa totalmente vazada, a qual era colocada em cima da placa de Aluzinco para deposição das partículas, e duas outras caixas contendo canaletas internas com divisões de HDF a cada 250 mm com fundo removível para a passagem das partículas. Uma das caixas com canaletas era utilizada para a orientação das partículas no sentido do comprimento e assim, formação das camadas externas, já a outra caixa com canaletas orientadas no sentido da largura formava a camada do miolo do colchão. Resultando, por fim, em painéis com as dimensões de 490 x 420 x 16,0 mm, comprimento, largura e espessura, respectivamente.

Figura 14 – Formação do colchão de partículas. A) Distribuição manual das partículas. B) Partículas orientadas nas canaletas da caixa formadora C) Fundo da caixa sendo puxado para deposição das partículas D) Formação do colchão sobre a base de Aluzinco.



Fonte: acervo do próprio autor.

### 3.7.3 Prensagem e acondicionamento dos painéis

Após a formação, o colchão foi submetido a uma pré-prensagem a frio em prensa manual com pressão específica de aproximadamente  $5 \text{ kgf/cm}^2$  (ver Figura 15A) para acomodação das partículas e, em seguida, a prensagem a quente. A prensagem a quente foi realizada com pressão específica de  $40 \text{ kgf/cm}^2$  durante 8 minutos em prensa hidráulica (ver Figura 15B) com controle automático das variáveis e usando limitadores (*stops*) nos pratos da prensa para definição da espessura do painel.

Figura 15 – Prensagem do colchão de partículas. A) Pré-prensagem B) Prena hidráulica a quente.

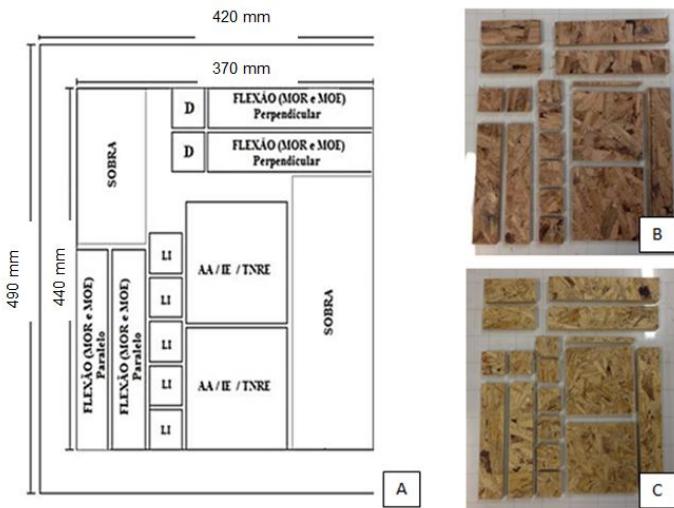


Fonte: acervo do próprio autor.

### 3.8 ENSAIOS TECNOLÓGICOS

A obtenção dos corpos-de-prova, cujo *layout* está apresentado na Figura 16, foi feita com o uso de uma serra circular. Inicialmente, os painéis foram esquadrejados para as dimensões de  $440 \times 370 \text{ mm}$ , com a finalidade de evitar a influência da borda nas propriedades dos painéis.

Figura 16 – Obtenção dos corpos de prova para os ensaios tecnológicos. A) *Layout* de retirada dos corpos de prova do painel. B) Corpos de prova, tratamento puro de *Eucalyptus* C) Corpos de prova, tratamento puro de *Pinus*.



Fonte: A) Adaptado de Mendes (2001). B e C) acervo do próprio autor.

Conforme apresentado no layout acima, foram obtidos, por tratamento, 12 corpos de prova para os ensaios de flexão, 15 para ligação interna, 6 para densidade/teor de umidade e 6 para AA/IE/TNRE. Os corpos de prova foram armazenados em sala de climatização com temperatura constante de  $20\pm2^{\circ}\text{C}$  e umidade relativa de  $65\pm3\%$  onde permaneceram até massa constante, para posterior realização dos ensaios (ver Figura 17).

Figura 17 – Corpos de prova armazenados na sala de climatização.



Fonte: acervo do próprio autor.

As dimensões dos corpos de prova, bem como a execução dos ensaios foram feitas de acordo com os procedimentos da DIN e da ASTM, sendo que para os ensaios mecânicos foi utilizada uma máquina universal de ensaios (EMIC DL-300 kN).

Os seguintes ensaios tecnológicos foram realizados com o intuito de verificar a potencialidade de produção dos painéis:

- Densidade, absorção de água, inchamento em espessura, taxa de não retorno em espessura (propriedades físicas) e ligação interna (propriedade mecânica): de acordo com a norma ASTM D1037 (1993).

- Flexão estática paralela e perpendicular (MOR e MOE – propriedades mecânicas): de acordo com a norma DIN 52362 (1982).

Na Figura 18 estão apresentados os ensaios físicos e mecânicos realizados no presente estudo.

Figura 18 – Ensaios físicos e mecânicos. A e B) Medição e pesagem dos corpos de prova para determinação da Densidade e Teor de Umidade. C e D) Medição e pesagem dos corpos de prova para determinação do Inchamento em Espessura, Absorção de Água e Taxa de Não Retorno em Espessura. E) Ensaio de Ligação Interna. F) Ensaio de Flexão. G) Máquina Universal de Ensaios.



Fonte: acervo do próprio autor.

### 3.8.1 Determinação da razão de compactação dos painéis

A razão de compactação dos painéis, também denominada razão de compressão ou taxa de compressão, foi determinada através da equação 3.

$$Rc = \frac{Dep}{Db} \quad \text{Equação (3)}$$

Onde:

$Rc$  = Razão de compactação

$Dep$  = Densidade nominal ( $0,65 \text{ g/cm}^3$ ) ou densidade efetiva do painel ( $\text{g/cm}^3$ )

$Db$  = densidade básica da madeira ou densidade básica da mistura ( $\text{g/cm}^3$ ).

### 3.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Na avaliação dos resultados, foi aplicado o Teste de Shapiro-Wilk para testar a distribuição normal dos dados. Após comprovada a existência de homogeneidade dos dados, aplicou-se a Análise de Variância. Havendo rejeição da hipótese de igualdade foi aplicado o Teste de Scott-Knott a 95% de probabilidade para comparação de médias. O programa estatístico utilizado para a análise foi o Sisvar (FERREIRA, 2011).

Com a finalidade de inferir sobre a qualidade dos painéis produzidos, os valores médios por tratamento de cada propriedade avaliada foram comparados aos valores mínimos especificados na norma canadense CSA 0437 (1993).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 ANÁLISE QUÍMICA DA MADEIRA

Os resultados da análise química das partículas de *E. benthamii* e do mix de *Pinus spp.* são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Resultados da análise química das partículas.

Teor %	Cinzas	Totais	Extrativos				Lignina	Holocelulose
			Etanol - Tolueno	NaOH	Agua Fria	Aqua Quente		
<i>Eucalyptus benthamii</i>	0,43 b (16,9)	8,23 a (16,5)	3,64 a (15,7)	8,66 a (2,0)	0,24 a (22,0)	1,55 a (8,3)	23,62 b (3,7)	72,87 a (1,4)
Mix de <i>Pinus spp.</i>	0,67 a (12,8)	9,40 a (5,6)	4,22 a (12,2)	5,57 b (10,0)	0,52 b (4,3)	1,28 b (12,5)	32,35 a (3,0)	63,09 b (1,5)

Entre parênteses estão expressos os coeficientes de variação.

Fonte: produção do próprio autor.

Os resultados obtidos para *E. benthamii* são compatíveis com estudos de outros autores que pesquisaram a mesma espécie. Pereira *et al.* (2001) analisou quimicamente a madeira de *E. benthamii* com idade de 7 anos e obteve os seguintes teores: 1,3% de cinzas, 3,2% de extrativos, 25,2% de lignina e 71,6% de holocelulose. Já Lima *et al.* (2011) encontrou teores de 0,96% de cinzas para indivíduos com 6 anos de idade. Assim como, Vieira *et al.* (2013) encontraram 1,2% de cinzas, 10,7% de extrativos totais, 20,5% de lignina e 67,6% de holocelulose.

Comparando com outras espécies do gênero *Eucalyptus* pode-se citar Lobão *et al.* (2011) que analisou os componentes químicos lignina e extrativos totais e encontrou, respectivamente, 27,15% e 4,86% para *E. grandis* e 37,41% e 5,82% para *E. saligna*. O contrário do observado para lignina e extrativos, o *E. benthamii* apresentou porcentagens maiores de holocelulose em relação às espécies *E. grandis* (67,99%) e *E. saligna* (56,76%) do estudo citado.

Outra espécie comparável é a *E. urophylla*, para a qual Barrichelo *et al.* (1977) encontraram o teor de 23,1% de lignina, bastante semelhante quimicamente à espécie em estudo e 0,7% de teor de cinzas.

Latorraca (2000) encontrou o teor de 4,5% de extractivos totais para *E. urophylla*, assim como, 1,9% para *E. citriodora*, 1,5% para *E. robusta* e 3,0% para *E. pellita*. Para solubilidade em NaOH, o autor encontrou valores de 12 a 15,5% para estas 4 espécies, resultados superiores à média 8,66% do *E. benthamii*.

Mendonça (2008) afirma que para a produção de painéis de madeira reconstituída é preferível o uso de madeiras com baixo teor de extractivos totais. Ao contrário, podem ocorrer estouros dos painéis no final da prensagem, interferência no processo de cura e consumo do adesivo, além de proporcionarem baixa resistência na linha de cola. Neste sentido, o gênero *Eucalyptus* possui teores de extractivos menores em comparação à matéria-prima usualmente empregada na produção de painéis que é a madeira de *Pinus*. Apesar disso, a presença de extractivos pode ser desejável no sentido de combater fungos e insetos.

Ainda, Bufalino et al. (2012) complementa que para painéis de madeira reconstituída como MDP e OSB, o teor de extractivos é a propriedade química mais importante, pois sua elevada concentração e migração, que ocorre durante o processo de secagem, podem bloquear o contato do adesivo com a madeira. Além disso, o mesmo autor explica que extractivos em alta concentração podem dificultar a passagem da água e retardar a sua taxa de evaporação, o que aumenta o tempo de prensagem necessário (FRIHART e HUNT, 2010; IWAKIRI, 2005; MENDES e ALBUQUERQUE, 2000; HSU, 1997).

Em relação às propriedades físicas, a influência dos extractivos está relacionada à redução da contração e do inchamento. A redução é proporcional ao espaço ocupado pelos extractivos na parede celular, portanto, removendo-se os extractivos, a contração e o inchamento aumentam (TSOUMIS, 1991; TRIANOSKI, 2012).

Complementando, pode-se dizer que o *E. benthamii*, apresentando 8,23% de extractivos, possui uma boa possibilidade de adaptação ao uso em painéis de madeira haja vista que é um resultado semelhante estatisticamente ao 9,40% expressado pelo mix de *Pinus spp*, principal gênero para produção de OSB.

Pode-se observar que não houve diferença estatística para os ensaios de Solubilidade em Etanol-Tolueno e Determinação do Teor de Extractivos Totais comparando os dois

materiais analisados. Assim, a diferença estatística das substâncias químicas nas outras análises pode ter influência nas propriedades finais dos painéis produzidos, o que será discutido posteriormente em cada assunto.

Em comparação a outras espécies do gênero, o *mix* do estudo apresenta teor de extrativos ligeiramente superior. Hugen (2013) encontrou os seguintes valores para *P. oocarpa*: 6,79% de extrativos, 32,62% de lignina, 60,48% de holocelulose e 0,17% de teor de cinzas. Também com valores elevados de extrativos totais, Trianoski (2012) cita as espécies *P. tecunumanii* com 7,16%, *P. chiapensis* com 8,82% e com menor teor a autora menciona o *P. maximinoi* com 4,76%.

Neste mesmo sentido, com maior presença de extrativos, Mendes *et al.* (2002) tiveram problemas com estouro de painéis OSB produzidos com as seguintes espécies: *P. chiapensis* com 6,19% de extrativos totais e *P. tecunumanii* com 5,54%. Pode-se ressaltar que no presente estudo não foram constatados problemas em relação a isto.

Ao contrário do teor de extrativos, a presença de lignina pode agir no sentido de aprimorar a colagem, atuando como “agente cimentante” entre as fibras, conforme Del Menezzi (2004). Assim sendo, o mix se mostra favorável à produção de painéis no que diz respeito ao alto teor de lignina, com média de 32,35%.

Andrade (2006) confirma o apresentado na Tabela 4, que, de maneira geral, em coníferas há maior teor de lignina do que em folhosas, e existem algumas diferenças estruturais entre a lignina encontrada nas coníferas e nas folhosas. Além do que, a madeira proveniente de espécies de coníferas apresentam valores menores do componente holocelulose quando comparados às folhosas.

Em relação a outros autores que pesquisaram as coníferas mais expressivas em reflorestamentos no Brasil, a análise química do *mix* de partículas de *P. taeda* e *P. elliottii* fornecido pela empresa produtora de painéis OSB apresenta teores compatíveis com os encontrados na literatura.

Andrade (2006) encontrou para árvores de *P. taeda* de 8 anos de idade os teores a seguir: 70,61% de holocelulose, 29,17% de lignina, 2,27% de extrativos e 0,30% de material inorgânico. Já Klock (2000) observou teores de holocelulose de

68,00%, lignina de 28,76%, extractivos totais de 3,03% e de 0,22% para o material inorgânico em árvores de *P. taeda* com 11 anos.

Ainda, Mendes (2001) obteve para *P. taeda* os teores de 3,03% de extractivos totais, 1,8% de extractivos solúveis em água fria, 2,44% em água quente, 8,90% em NaOH, 28,78% de lignina e 0,22% de cinzas.

Para *P. elliottii*, valores semelhantes foram encontrados por Balloni (2009), que obteve os teores de 68,80% para holocelulose e 0,41% de cinzas na análise química da madeira da espécie e para extractivos totais o resultado foi 3%.

## 4.2 DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA

A densidade básica da madeira de *E. benthamii* apresentou 0,531 g/cm<sup>3</sup> e a densidade calculada para o mix de *P. taeda* e *P. elliottii* foi de 0,408 g/cm<sup>3</sup>, desta forma, pode-se classificar as espécies como moderadamente dura e baixa densidade, conforme Melo *et al.* (1990) que considera intervalos abaixo de 0,500 g/cm<sup>3</sup> e entre 0,500 g/cm<sup>3</sup> e 0,700 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente. Entretanto, a classificação de uma dada madeira baseada neste critério deve ser feita com relativa cautela, pois segundo Koch (1972), a densidade varia significativamente entre árvores e dentro de uma mesma árvore, tanto no sentido longitudinal como no sentido radial.

Tabela 5 – Valores médios de densidades básicas utilizadas para cálculo de densidade do mix.

Espécie	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Idade (anos)	Procedência	Autor (ano)
<i>Pinus taeda</i>	0,311	6	Lages/SC	HIGA <i>et al.</i> (1973)
	0,331	7	Lages/SC	HIGA <i>et al.</i> (1973)
	0,436	10	Ventania/PR	IWAKIRI <i>et al.</i> (2001)
	0,400	11	Jaguaraiáva/PR	MENDES (2001)
	0,366	13	Lages/SC	HIGA <i>et al.</i> (1973)
	0,475	30	Pinhais/PR	SALDANHA (2004)
	0,500	35	Jaguaraiáva/PR	SURDI (2012)
<i>Pinus elliottii</i>	0,500 a	Idades avançadas	-	CARPANEZZI <i>et al.</i> (1986)
	0,560			HIGA <i>et al.</i> (1973)
	0,319	7	Lages/SC	HIGA <i>et al.</i> (1973)
	0,326	9	Lages/SC	HIGA <i>et al.</i> (1973)

Fonte: produção do próprio autor.

Outros autores também determinaram a densidade básica da madeira de *E. benthamii*, as quais podem ser utilizadas para comparação. Nisgoski *et al.* (1998) e Pereira *et al.* (2001) encontraram para a madeira de *E. benthamii*, com 7 anos de idade, a densidade básica de 0,470 g/cm<sup>3</sup> e 0,477 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente. Lima *et al.* (2011) encontraram 0,475 g/cm<sup>3</sup> para árvores de 6 anos de idade. Muller (2013) também determinou a densidade da espécie com 6 anos de idade e encontrou valor de 0,520 g/cm<sup>3</sup>. Já Baldin *et al.* (2013) obteve a média de 0,528 g/cm<sup>3</sup> para árvores com 7 anos de idade. E com idade mais avançada, 18 anos, o mesmo cita Thomaz (2007) que determinou a densidade de 0,529 g/cm<sup>3</sup> para árvores de *E. benthamii*.

Assim, considerando as outras pesquisas encontradas na literatura com esta espécie, verifica-se que os valores médios obtidos para o *E. benthamii* nesta propriedade apresentam-se de acordo com os estudos de Baldin *et al.* (2013) e Thomaz (2007) e ligeiramente superiores aos demais. Os maiores valores da densidade básica da madeira em idades mais avançadas, neste caso 13 anos, é uma consequência do aumento da espessura da parede celular e diminuição da largura das células (VITAL *et al.*, 1974), o que acontece da fase juvenil até a maturidade, de acordo com Trugilho *et al.* (1996).

De acordo com Oliveira *et al.* (2005), comparando o *E. benthamii* (0,531 g/cm<sup>3</sup>) com outras espécies do gênero *Eucalyptus*, verifica-se que o valor encontrado para densidade básica foi superior a do *E. grandis* (0,490 g/cm<sup>3</sup>) e inferior ao: *E. citriodora* (0,730 g/cm<sup>3</sup>), *E. paniculata* (0,720 g/cm<sup>3</sup>), *E. cloeziana* (0,720 g/cm<sup>3</sup>), *E. tereticornis* (0,660 g/cm<sup>3</sup>), *E. pilularis* (0,600 g/cm<sup>3</sup>), *E. urophylla* (0,540 g/cm<sup>3</sup>) e ainda menor que o *E. dunnii* (0,770 g/cm<sup>3</sup>), determinado por Rocha (2000).

Além dos autores pesquisados para o cálculo da média ponderada da densidade do mix, conforme Tabela 5, pode-se citar Oliveira *et al.* (2006) que determinou a densidade básica para a espécie *P. taeda* em diferentes idades. Em árvores de 9 anos encontrou 0,430 g/cm<sup>3</sup>, para 13 anos a densidade foi 0,490 g/cm<sup>3</sup> e 0,560 g/cm<sup>3</sup> para 20 anos de idade, corroborando para a afirmativa de que a idade da árvore influencia na densidade de sua madeira ocorrendo geralmente uma correlação positiva entre estes fatores. Já para *P. elliottii*, Iwakiri (1995) determinou a

densidade de 0,420 g/cm<sup>3</sup>. A densidade básica de 0,332 g/cm<sup>3</sup> e 0,364 g/cm<sup>3</sup> foi encontrada por Melo *et al.* (2013) para a madeira de *P. elliottii* com 9 e 14 anos de idade.

Existe uma faixa desejada de densidade da madeira para a produção de painéis OSB, entre 0,250 e 0,450 g/cm<sup>3</sup>, segundo Cloutier (1998). Ainda, o mesmo autor complementa que espécies com densidade de 0,450 g/cm<sup>3</sup> a 0,550 g/cm<sup>3</sup> também podem ser utilizadas, todavia, são menos desejáveis, podendo ser utilizadas em misturas com outras espécies de forma a não reduzir as propriedades mecânicas dos painéis.

#### 4.3 DENSIDADE E ESPESSURA DOS PAINÉIS

Os valores médios encontrados para densidade e espessura dos painéis OSB em cada tratamento estão apresentados na Tabela 6, onde se observa que a variação para densidade foi bastante próxima à densidade nominal de 0,65 g/cm<sup>3</sup> e a espessura variou de 17,00 a 17,86 mm, semelhante à espessura requerida de 16 mm.

Tabela 6 – Valores médios de densidade e espessura dos painéis OSB.

Tratamento	Densidade	Espessura
	(g/cm <sup>3</sup> )	(mm)
T1	0,62 a (10,6)	17,69 a (2,4)
T2	0,62 a (10,6)	17,86 a (1,0)
T3	0,65 a (6,6)	17,00 c (0,9)
T4	0,67 a (6,4)	17,04 c (1,7)
T5	0,65 a (9,5)	17,12 b (1,0)
T6	0,67 a (10,5)	17,17 b (1,0)
T7	0,64 a (4,1)	17,27 b (1,2)
T8	0,63 a (7,0)	17,26 b (1,0)
T9	0,63 a (11,2)	17,30 b (1,2)
T10	0,62 a (7,8)	17,31 b (1,3)
<b>Mínimo</b>	0,49 <sup>T2</sup>	16,61 <sup>T8</sup>
<b>Médio</b>	0,64	17,30
<b>Máximo</b>	0,78 <sup>T6</sup>	18,4 <sup>T1</sup>
<b>CV (%)</b>	8,6	1,4

Médias seguidas por letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si. Entre parênteses está expresso o Coeficiente de Variação. Sobescrito está expresso o tratamento que atingiu os resultados mínimos e máximos. Fonte: produção do próprio autor.

Os valores encontrados para densidade classificam os painéis como de média densidade, conforme estudo realizado por Iwakiri (2005) que estabelece intervalo entre 0,59 a 0,80 g/cm<sup>3</sup> para tal classificação. Zhou (1990) estabelece a faixa ideal de densidade dos painéis OSB entre 0,65 e 0,70 g/cm<sup>3</sup>, na qual se enquadrariam apenas os tratamentos homogêneos de *Eucalyptus* e os formados por camadas P:E:P. Outra classificação que pode ser adotada é a da ANSI A208.1 (1993) citada por Caraschi *et al.* (2009) que classificaria os painéis deste estudo como de baixa (<0,64 g/cm<sup>3</sup>) e média densidade (0,64 - 0,80 g/cm<sup>3</sup>).

Segundo Mendes (2003) e Cloutier (1998), no Canadá, as indústrias produzem painéis OSB com densidade na faixa de 0,63 a 0,67 g/cm<sup>3</sup>, desta forma, numericamente, os tratamentos homogêneos de *Pinus* (T1 e T2) e o T9 não atenderiam aos padrões por terem obtido médias iguais a 0,62 g/cm<sup>3</sup>.

Mendes (2000) diz que a eficiência do orientador de partículas se mostra na pouca variação da densidade dentro dos painéis produzidos e entre os tratamentos, que, neste estudo variou de 0,62 a 0,67 g/cm<sup>3</sup>, indicando que não houve diferença estatística entre os tratamentos e, portanto não ocorreram falhas na deposição das partículas durante a produção dos painéis.

Souza *et al.* (2012) relatou que a densidade de painéis de *Pinus* foi de 0,62 g/cm<sup>3</sup>. Mendes (2010), trabalhando com *P. oocarpa*, obteve uma faixa de densidade que variou de 0,60 a 0,68 g/cm<sup>3</sup>. Del Menezzi (2004) determinou a densidade de 0,64 g/cm<sup>3</sup> para os painéis de *Pinus spp.* Já Mendonça (2008), trabalhando com clones da espécie *E. urophylla*, obteve densidade dos painéis OSB entre 0,62 e 0,65 g/cm<sup>3</sup>. Ainda, Iwakiri *et al.* (2004) observaram valores de 0,68 a 0,71 g/cm<sup>3</sup> para painéis de *Eucalyptus*, sendo que a produção de painéis com a espécie *E. saligna* resultou em densidades mais elevadas.

De acordo com Cloutier (1998), o OSB geralmente é produzido em espessuras que variam de 6,0 a 19,0 mm, mas também pode ser produzido até a espessura de 38,0 mm. No Brasil, são produzidos painéis de 6 até 40 mm de espessura, dependendo do produto, segundo LP Brasil (2014c).

Em relação à espessura dos painéis, observa-se que houve diferença estatística entre os tratamentos. Todos os valores de espessura dos painéis ficaram acima da espessura

dos espaçadores (16 mm) ou *stops*, que são barras de aço posicionadas nas bordas laterais do colchão durante a prensagem para limitar o fechamento da prensa.

Mendes (2010) cita que o aumento da espessura dos painéis pode ser resultado da liberação parcial das tensões de compressão, porém, ocorrida logo após o final da prensagem na fase de produção do painel. O mesmo autor cita que quanto maior a altura do colchão a ser comprimido para uma mesma espessura final, maiores serão as tensões de compressão às quais o painel estará sujeito durante a operação de prensagem.

Este fato foi observado no presente estudo, pois os painéis formados com 100% de partículas de *Pinus*, tratamentos 1 e 2, foram os que apresentaram maior altura do colchão em função da menor densidade da madeira, e consequentemente maiores valores de espessura após a finalização do processo de prensagem. Já os painéis compostos com 100% de partículas de *Eucalyptus*, tratamentos 3 e 4, foram os que apresentaram as menores espessuras finais. Tantos os painéis dos tratamentos compostos por *Pinus*, quanto os compostos por *Eucalyptus* diferenciaram estatisticamente entre si e com os demais tratamentos compostos pela combinação das espécies.

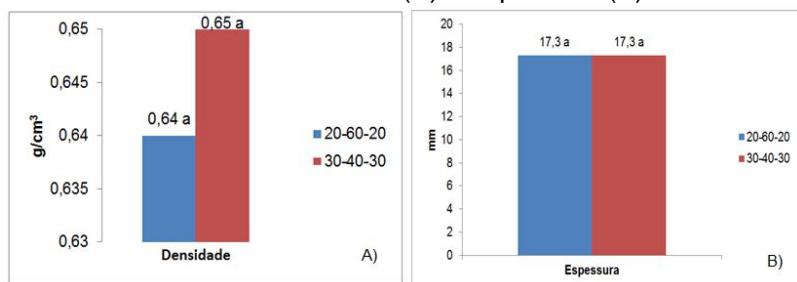
Kelly (1977) relata dois estudos que reportam o aumento da espessura final dos painéis em função do processo de cura incompleto, sendo que o primeiro estudo de Neusser (1967) utiliza a expansão em espessura como uma medida da taxa de cura de vários adesivos, observando que quanto mais completo for à cura da resina durante a prensagem a quente, menor é a expansão imediata da espessura dos painéis. O segundo estudo, de Deppe e Ernst (1965) relaciona a ocorrência da expansão inicial com um tempo de prensagem muito curto do colchão de partículas, com o teor de umidade acima de 10%, o tempo teria sido insuficiente para a cura da resina a um nível adequado.

Acredita-se que, no presente estudo não houve influência do tempo de prensagem no processo de cura, tendo em vista que foi utilizado 8 minutos em todos os tratamentos na produção dos painéis, porém, pode ter ocorrido variação no teor de umidade das partículas, que deveriam estar na faixa de 3 a 6%, no entanto, a verificação da umidade era feita por amostragem.

#### 4.3.1 Influência do fator proporção das camadas

Conforme a Figura 19 pode-se perceber que não houve diferença estatística para proporção das camadas e os valores foram bastante próximos. Sendo assim, esse fator não exerceu influência sobre a densidade e espessura final dos painéis, que também não apresentou diferença estatística.

Figura 19 – Influência do fator proporção das camadas para as variáveis densidade (A) e espessura (B).



Médias seguidas por letras iguais não diferem estatisticamente.

Fonte: produção do próprio autor.

Mendes (2001) afirma que a homogeneidade da densidade dos painéis, dentro dos painéis produzidos e entre os tratamentos é um indicativo de que houve uniformidade no processo de deposição das partículas.

Surdi (2012) em seu estudo também encontrou resultados superiores à espessura dos limitadores (*stops*), com diferentes magnitudes, entretanto, diz que todos os painéis resultaram em espessura próxima.

#### 4.3.2 Influência do fator composição de espécies

Para a propriedade densidade do painel, a composição de espécies formadora das camadas não influenciou, dado que não apresentou diferença estatística para esse fator, conforme Tabela 7. Já para a variável espessura constatou-se diferença estatística entre a composição de espécies, onde a maior

espessura foi verificada para os painéis homogêneos de *Pinus* (17,78 mm).

Tabela 7 – Influência do fator composição de espécies para as variáveis densidade e espessura dos painéis.

Composição do painel	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Espessura (mm)
<b>Pinus</b>	0,62 a	17,78 a
<b>Eucalyptus</b>	0,66 a	17,27 b
<b>PEP</b>	0,66 a	17,14 b
<b>EPE</b>	0,64 a	17,01 b
<b>P+E</b>	0,63 a	17,30 b

Médias seguidas por letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si. Fonte: produção do próprio autor.

Pode-se inferir baseado no conceito de densidade, em que a densidade do painel é dada pela relação entre massa e volume, assim as menores densidades dos painéis dos tratamentos T1 e T2 podem estar relacionadas com a sua espessura final, haja vista que a mesma massa está distribuída em um volume maior.

Gouveia (2001) constatou em seu trabalho que a densidade dos painéis formados por *Eucalyptus* foi inferior à densidade dos demais painéis e ficou abaixo do valor desejado, relacionando isto à perda de material durante a formação do colchão ou devido à taxa de compressão insuficiente. Tal fato não foi observado neste estudo, embora também tenha acontecido a perda de partículas, esta pode não ter sido tão expressiva a ponto de causar interferências nos resultados.

Conforme Trianoski (2010) pode-se justificar a maior espessura dos painéis compostos por *Pinus*, diferente estatisticamente de todos os demais tratamentos, por esta espécie apresentar a menor densidade da madeira e consequentemente maior volume de partículas para formação do colchão, assim, o retorno em espessura após a abertura dos pratos da prensa é maior.

#### 4.4 RAZÃO DE COMPACTAÇÃO DOS PAINÉIS OSB

Os resultados da razão de compactação foram calculados utilizando densidade nominal igual a 0,65 g/cm<sup>3</sup>. Na Tabela 8 pode ser observado que os valores de razão de compactação variaram de 1,22 a 1,52. Deste modo, pode-se dizer que quase todos os tratamentos atingiram a faixa de compactação recomendada por Maloney (1977) para que os painéis apresentem boa resistência mecânica, que é de 1,30 a 1,60, exceção foram os tratamentos 3 e 4 que foram compostos exclusivamente por partículas de *E. benthamii*.

Tabela 8 – Valores médios da razão de compactação efetiva dos painéis OSB.

	Tratamento	Razão de Compactação
T1	P 20:60:20	1,52 a (10,6)
T2	P 30:40:30	1,52 a (10,6)
T3	E 20:60:20	1,22 b (6,6)
T4	E 30:40:30	1,25 b (6,4)
T5	PEP 20:60:20	1,35 b (9,5)
T6	PEP 30:40:30	1,47 a (10,5)
T7	EPE 20:60:20	1,40 a (4,1)
T8	EPE 30:40:30	1,32 b (7,0)
T9	P+E 20:60:20	1,33 b (11,2)
T10	P+E 30:40:30	1,37 b (7,8)
<b>Mínimo</b>		1,11 <sup>T9</sup>
<b>Médio</b>		1,38
<b>Máximo</b>		1,71 <sup>T6</sup>
<b>CV (%)</b>		8,9

Médias seguidas por letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si. Entre parênteses está expresso o Coeficiente de Variação. Sobescrito está expresso o tratamento que atingiu os resultados mínimos e máximos. Fonte: produção do próprio autor.

Os maiores resultados de RC foram obtidos por tratamentos homogêneos de *Pinus*, T1 e T2, sendo estes estatisticamente iguais ao T6 e T7, os quais são compostos por grandes quantidades do mix de *Pinus spp*.

Surdi (2012) observou que os tratamentos com maior valor numérico de espessura dos painéis correspondeu aos tratamentos com maior razão de compactação, a mesma tendência pode ser observada no presente estudo, onde a maior espessura (17,78 mm) e a maior RC (1,42) foram obtidas pelos painéis compostos por *Pinus*.

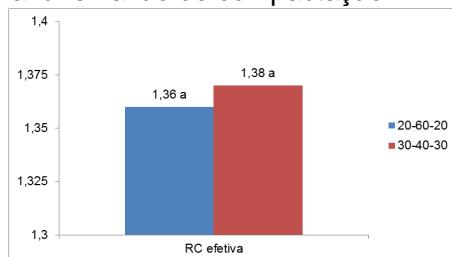
Esta relação entre a densidade do painel e a densidade da madeira se mostra maior em alguns tratamentos devido ao fato destes painéis serem formados principalmente por *Pinus*, madeira de baixa densidade que resulta em painéis de alta razão de compactação e maior área de contato entre as partículas, o que influenciará diretamente nas propriedades de flexão estática e ligação interna dos painéis (MALONEY, 1993; MENDES, 2001; MOSLEMI, 1974;). Segundo Kelly (1977), a influência da maior razão de compactação nas propriedades mecânicas dos painéis está em função da maior quantidade de partículas de madeira e, consequentemente, um aumento dos sítios higroscópicos, no entanto, resulta em maior inchamento do painel e liberação das tensões de compressão geradas durante o processo de prensagem.

Para painéis formados com 6 espécies diferentes de *Eucalyptus*, Iwakiri *et al.* (2004) encontraram resultados inferiores ao desejado para razão de compactação que variaram de 0,85 a 1,13; além dos painéis compostos por *P. taeda*, que serviu de referência por ser a espécie mais empregada comercialmente na produção de OSB, que resultou em RC igual a 1,46.

#### 4.4.1 Influência do fator proporção das camadas

Para a variável razão de compactação não houve influência do fator proporção das camadas para as proporções 20:60:20 e 30:40:30 (ver Figura 20).

Figura 20 – Influência do fator proporção das camadas para a variável razão de compactação.



Médias seguidas por letras iguais não diferem estatisticamente.  
Fonte: produção do próprio autor.

Iwakiri *et al.* (2008) citam que há uma relação diretamente proporcional entre a razão de compactação e as propriedades de resistência de painéis de partículas.

#### 4.4.2 Influência do fator composição de espécies

Analizando a Tabela 9, constatou-se que houve diferença estatística na razão de compactação no que tange a composição de espécies. No caso, a maior razão de compactação foi alcançada pelos painéis homogêneos de *Pinus*, presumindo que é devido à menor densidade apresentada pela madeira da espécie. Já a menor razão de compactação foi observada para os painéis compostos por *Eucalyptus*.

Tabela 9 – Influência do fator composição de espécies para a variável razão de compactação.

Composição do painel	RC efetiva
<i>Pinus</i>	1,52 a
<i>Eucalyptus</i>	1,23 c
PEP	1,41 b
EPE	1,36 c
P+E	1,35 c

Médias seguidas por letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si. Fonte: produção do próprio autor.

Gouveia *et al.* (2003), trabalhando com composições semelhantes de colchão, encontraram valores superiores para razão de compactação, 1,54 para mistura de *P. elliottii* e *E. grandis* (P+E); 1,51 na formação E:P:E e 1,59 na P:E:P.

Kelly (1977) afirma que, painéis de mesma densidade, produzidos com madeira de baixa densidade, terão propriedades mecânicas superiores, entretanto, a estabilidade dimensional será inferior em comparação aos painéis produzidos com madeira de maior densidade. O mesmo autor ainda diz que isto ocorre porque nos painéis com maior razão de compactação, há maior quantidade de partículas de madeira e, consequentemente, ocorre um aumento dos sítios higroscópicos, resultando em maior inchamento do painel e liberação das tensões de compressão geradas durante o processo de prensagem.

#### 4.5 TEOR DE UMIDADE

Os valores médios de teor de umidade estão apresentados na Tabela 10, onde pode ser observado que a variação foi de 9,2 a 11,3%, ou seja, abaixo do valor encontrado para a umidade de equilíbrio (12%) do local onde os painéis ficaram armazenados até obterem massa constante.

Tabela 10 – Valores médios do teor de umidade dos painéis OSB.

Tratamento	TU (%)
T1 P 20:60:20	11,3 d (1,9)
T2 P 30:40:30	10,4 c (1,4)
T3 E 20:60:20	10,4 c (1,6)
T4 E 30:40:30	10,1 d (1,7)
T5 PEP 20:60:20	9,4 a (2,5)
T6 PEP 30:40:30	9,9 d (1,6)
T7 EPE 20:60:20	9,9 d (1,5)
T8 EPE 30:40:30	9,8 d (1,7)
T9 P+E 20:60:20	9,2 a (4,9)
T10 P+E 30:40:30	10,0 d (1,7)
Mínimo	8,8 <sup>T9</sup>
Médio	10,0
Máximo	11,7 <sup>T1</sup>
CV (%)	2,2

Médias seguidas por letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si. Entre parênteses está expresso o Coeficiente de Variação. Sobescrito está expresso o tratamento que atingiu os resultados mínimos e máximos. Fonte: produção do próprio autor.

O teor de umidade médio encontrado foi de 10%, havendo diferença estatística entre os tratamentos, sendo o tratamento composto por 100% de partículas de *Pinus* na proporção 20:60:20 o que apresentou maior valor (11,3%). Os que apresentaram os menores valores foram os tratamentos de proporções 20:60:20 compostos por P+E e P:E:P, resultando em 9,4 e 9,2%, respectivamente.

Resultados de teor de umidade semelhantes foram obtidos em outras pesquisas com painéis OSB de *Pinus sp.*: Del Menezzi (2004) obteve teor de umidade dos painéis igual a 9,27%, Mendes (2010) encontrou a média de teor de umidade de 8% para seus painéis com *P. taeda*, Surdi (2012) em seu estudo encontrou a média de 9,9% e Souza et al. (2012) encontrou 10,3%. Trabalhando com *E. grandis* e *Cupressus glauca*, Okino

(2008) obteve teor de umidade de 8%. Em escala comercial, a empresa produtora de painéis OSB no Brasil adota uma faixa aceitável de 2 a 12% de umidade em seus produtos finais (LP, 2014c).

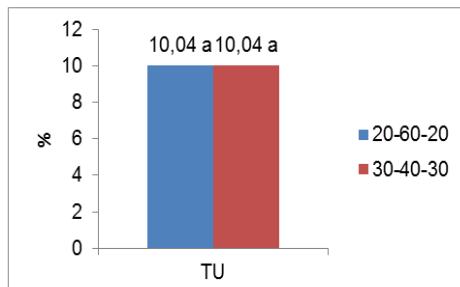
A justificativa para a redução da higroscopicidade é devido à redução da madeira em partículas e a posterior incorporação de resina, parafina e outros aditivos (WU, 1999), e principalmente, às altas temperaturas aplicadas durante a etapa de prensagem, que fazem com que a pressão compacte as camadas externas do painel, tornando os sítios de adsorção menos disponíveis (DEL MENEZZI, 2004), ou ainda, pela simples perda da água de constituição (GALVÃO E JANKOWSKI, 1985).

Em relação à quantificação da redução da higroscopicidade dos painéis, a prensagem a quente promove uma redução de 7% a 27% (TRIANOSKI, 2010). No presente estudo, a redução do teor de umidade, comparado a 12%, variou de 5,83%, para o T1, até 23,33%, para o T9.

#### **4.5.1 Influência do fator proporção das camadas**

Conforme a Figura 21 observa-se que não houve diferença estatística entre os dois grupos observados, ressaltando que os resultados do teor de umidade foram iguais a 10,04% para as duas proporções das camadas.

Figura 21 – Influência do fator proporção das camadas para a variável teor de umidade.



Médias seguidas por letras iguais não diferem estatisticamente.

Fonte: produção do próprio autor.

Um dos principais problemas verificados na produção de painéis é o controle do teor de umidade do colchão. Diversos fatores tornam difícil manter um controle eficaz da umidade, a qual influí diretamente nas propriedades de colagem e na própria densidade do painel (HILLIG, 2000).

#### **4.5.2 Influência do fator composição de espécies**

Nota-se na Tabela 11 que houve diferença significativa para a variável teor de umidade, sendo que os tratamentos compostos por *Pinus* foram os que obtiveram maiores médias, seguidos dos tratamentos compostos por *Eucalyptus*. Já os painéis que testaram camadas compostas por espécies distintas ou mistura de espécies equivaleram-se estatisticamente e obtiveram os menores resultados entre todos os tratamentos.

Tabela 11 – Influência do fator composição de espécies para a variável teor de umidade.

Composição do painel	TU (%)
<i>Pinus</i>	10,88 c
<i>Eucalyptus</i>	10,24 b
PEP	9,63 a
EPE	9,84 a
P+E	9,62 a

Médias seguidas por letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si. Fonte: produção do próprio autor.

César (2011) explica que a penetração da água, e de outras substâncias líquidas como o adesivo é maior em madeiras de baixa densidade quando comparadas com madeiras de alta densidade.

Em analogia ao exposto, pode-se estabelecer uma possível relação com a densidade da madeira, onde há facilidade para penetração de líquidos em espécies com menores densidades, porque em sua composição anatômica estas possuem mais espaços vazios que podem ser ocupados por água quando expostos a ela. Desta forma, explica-se o teor de umidade mais elevado apresentado pelos painéis compostos somente por *Pinus*.

## 4.6 ABSORÇÃO DE ÁGUA, INCHAMENTO EM ESPESSURA E TAXA DE NÃO RETORNO EM ESPESSURA

Assim como muitos outros materiais, os painéis de partículas de madeira, quando expostos a umidade também sofrem alterações. Em alguns casos a magnitude desta propriedade é um fator que limita a utilização deste produto (TRIANOSKI, 2010). Desta forma, a Tabela 12 apresenta os valores médios para absorção em água, inchamento em espessura e taxa de não retorno em espessura para os painéis OSB, onde podem ser observados valores elevados das propriedades, bem como a diferença estatística entre os tratamentos.

**Tabela 12 – Valores médios dos ensaios físicos de absorção de água, inchamento em espessura e da taxa de não retorno em espessura dos painéis OSB.**

Tratamento	AA 2h	AA 24h	IE 2h	IE 24h	TNRE
	(%)				
<b>T1</b> P 20:60:20	53,07 d (34,0)	88,70 d (11,2)	20,61 c (33,7)	34,53 c (17,6)	31,19 b (16,2)
<b>T2</b> P 30:40:30	62,61 d (11,7)	95,19 d (2,2)	24,59 d (10,7)	36,55 c (8,0)	32,82 b (9,4)
<b>T3</b> E 20:60:20	19,34 a (24,9)	60,53 a (13,9)	9,03 a (28,2)	32,07 b (10,2)	26,50 a (7,7)
<b>T4</b> E 30:40:30	18,28 a (38,4)	54,19 a (16,3)	9,13 a (32,2)	26,68 a (13,3)	24,71 a (13,3)
<b>T5</b> PEP 20:60:20	31,75 b (35,5)	74,23 c (10,2)	13,15 b (21,5)	42,47 d (9,3)	40,28 c (17,7)
<b>T6</b> PEP 30:40:30	48,33 c (10,6)	79,40 c (7,9)	18,79 c (10,0)	31,62 b (9,7)	28,66 a (9,8)
<b>T7</b> EPE 20:60:20	33,07 b (33,2)	79,80 c (10,7)	13,90 b (26,5)	34,85 c (7,7)	31,68 b (4,0)
<b>T8</b> EPE 30:40:30	26,70 b (24,8)	68,42 b (6,4)	13,14 b (20,4)	28,98 a (14,1)	28,34 a (14,3)
<b>T9</b> P+E 20:60:20	41,10 c (19,2)	79,46 c (3,2)	15,33 b (24,3)	38,02 c (5,6)	32,54 b (7,4)
<b>T10</b> P+E 30:40:30	26,96 b (30,2)	80,02 c (6,7)	16,95 c (23,9)	36,17 c (9,3)	32,01 b (16,4)
<b>Mínimo</b>	11,69 <sup>T4</sup>	44,08 <sup>T4</sup>	5,51 <sup>T3</sup>	22,01 <sup>T8</sup>	19,43 <sup>T4</sup>
<b>Médio</b>	36,12	75,99	15,46	34,19	30,87
<b>Máximo</b>	75,48 <sup>T1</sup>	97,16 <sup>T1</sup>	28,64 <sup>T1</sup>	48,22 <sup>T5</sup>	50,87 <sup>T5</sup>
<b>CV (%)</b>	26,2	9,1	23,6	10,7	12,8

Médias seguidas por letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si. Entre parênteses está expresso o Coeficiente de Variação. Sobescrito está expresso o tratamento que atingiu os resultados mínimos e máximos. Fonte: produção do próprio autor.

Os valores médios para absorção de água em 2 e 24 h foram de 36,12% e 75,99%, respectivamente, sendo os

tratamentos 1 e 2 compostos por 100% de partículas de *Pinus* os que apresentaram maiores valores de absorção nos dois períodos analisados, diferenciando estatisticamente dos tratamentos compostos por 100% de partículas de *E. benthamii*, que obtiveram os menores valores e os tratamentos compostos por camadas de espécies distintas que apresentaram valores intermediários.

Em relação à normativa para comercialização de painéis OSB, a CSA 0437 (1993) exige que o IE 24 horas não ultrapasse 10%, assim, neste estudo nenhum dos tratamentos foi satisfatório, podendo ser observado que o tratamento que menos inchou (T8) durante o período apresentou o dobro (22,01%) do que seria adequado para estar em conformidade com a norma.

Porcentagens igualmente elevadas foram encontradas por Surdi (2012) para os ensaios realizados com painéis OSB de um híbrido de *Pinus*: 38,7% (AA 2h), 79,6% (AA 24h). Mendes et al. (2010), trabalhando com *P. oocarpa*, 8% de resina FF e 1% de parafina, obtiveram teores superiores, para AA 2h a média foi de 90,04% e 100,92% para AA 24h;

Iwakiri et al. (2004), trabalhando com 6 espécies de *Eucalyptus*, encontraram os valores médios de absorção de água após 2 horas de imersão variando de 11,98% a 49,36% e após 24 horas de imersão de 28,85% a 70,96%. Ainda, comparando com painéis de *P. taeda* afirmaram que os painéis de *E. grandis* apresentaram melhor comportamento tanto para absorção de água quanto para inchamento em espessura.

Com o mesmo gênero, Mendonça (2008) encontrou para painéis de *E. urophylla* valores variando de 29,94% a 41,47% para AA 2h e para 24h os resultados foram no máximo até 68,43%.

Quanto ao inchamento em espessura, a tabela apresenta valores que variaram de 9,03 a 24,59% para inchamento em espessura 2 horas e de 26,68 a 38,02% para inchamento em espessura 24 horas. Este ensaio apresentou tendência semelhante ao de absorção de água para os maiores valores, que foram encontrados nos tratamentos 1 e 2, 100% de partículas de *Pinus*, no entanto, os menores valores de inchamento em espessura foram encontrados nos tratamentos T4 (100% de partículas de *E. benthamii*) e T8 (60% de *E.*

*benthamii* na face externa e 40% de *Pinus spp* na camada interna), ambos na proporção 30:40:30.

Novamente, a explicação para esses resultados está na composição dos painéis, onde os menores valores de inchamento em espessura foram observadas para os tratamentos compostos exclusivamente por *Eucalyptus*, ou ainda, grande parte de partículas desta espécie, ou seja, 60%.

Iwakiri et al. (2004), trabalhando com 6 espécies de *Eucalyptus*, encontrou os valores médios de inchamento em espessura variaram de 8,88% a 48,64% para 2 horas de imersão em água e de 15,71% a 67,05% para 24 horas de imersão. Mendonça (2008) obteve os resultados de 8,36 a 12,24% para IE 2h e de 22,25 a 31,07% para os resultados de IE 24h, para painéis OSB produzidos a partir de madeira de *E. urophylla*.

Ainda, Iwakiri et al. (2008) obteve para painéis de densidade igual a 0,7 g/cm<sup>3</sup> compostos por *Pinus*, a porcentagem de 24,58 para IE 24h. No mesmo trabalho, o autor avaliou espécies de *Eucalyptus*, e para *E. grandis* o resultado foi de 19,21% e, para *E. dunnii* 25,92%.

Em relação aos trabalhos realizados com *Pinus*, Mendes et al. (2010) encontraram para resultados de IE 2h e IE 24h as taxas de 29,69% e 33,06%, respectivamente. Surdi (2012) encontrou 24,28% para IE 2h e 37,95% para IE 24h.

Já para Taxa de Não Retorno em Espessura, a qual expressa o inchamento definitivo do painel, que é justamente aquele oriundo da liberação das tensões internas de compressão (DEL MENEZZI, 2004), os resultados variaram de 24,71 a 40,28%, destacando o T5 com a maior taxa em relação aos demais tratamentos. Sendo que quanto menor este valor, melhor a estabilidade dimensional dos painéis OSB, sobretudo em ambientes que possuem uma grande variação de umidade durante as estações do ano (MENDES, 2001).

Saldanha (2004) afirma que o inchamento residual é altamente influenciado pelo inchamento em espessura, sendo que maiores valores destes geram maiores valores de TNRE. Pode-se constatar o citado pelo autor analisando o tratamento T5 que obteve a maior taxa de inchamento em espessura para 24 horas, 42,47%, comparada a TNRE igual a 40,28%. Assim como, o tratamento T4, que apresentou a menor taxa de inchamento

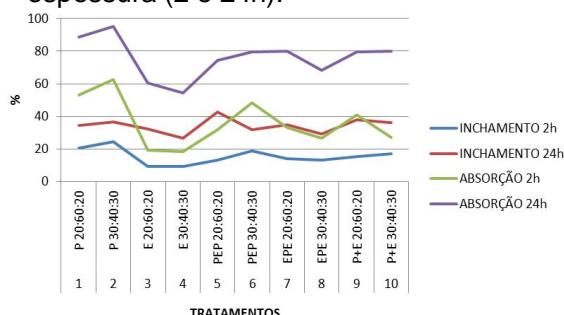
em espessura para 24 horas, 26,68%, relacionada à TNRE de 24,71%.

Comparando com outros autores que avaliaram a TNRE, pode-se mencionar Surdi (2012) trabalhando com híbridos de *Pinus* que encontrou 31,02%; Saldanha (2004) obteve para *P. taeda* a TNRE de 27,55%. Para clones de *Eucalyptus*, Mendes et al. (2007) encontrou valor bastante inferior, igual a 7,27%, entretanto, ressalta-se o alto CV que a variável apresentou. Mendonça (2008) analisando clones de *E. urophylla* encontrou valores de TNRE variando de 14,61% a 20,67%.

Entre o processo industrial e o laboratorial de produção de painéis OSB existem diferenças, desde a homogeneidade do processo que no primeiro é totalmente mecanizado até os tipos de resinas empregadas. Assim, Mendes et al. (2007) indicam que a produção de painéis de partículas em laboratório, apresenta suas propriedades com altos valores de coeficiente de variação, o que proporciona, na maioria das vezes, valores iguais, estatisticamente, porém os valores numéricos apresentam uma amplitude considerada. Este fato pode ser atribuído, entre alguns fatores, principalmente à aplicação heterogênea da resina no laboratório, o que não acontece no processo industrial.

Devido ao fato recém-relatado, os ensaios físicos de absorção de água e inchamento em espessura, para 2 e 24 horas, podem ser melhor visualizados na Figura 22, a qual mostra uma tendência de menor AA e IE pelos tratamentos homogêneos de *Eucalyptus*, ou seja, os tratamentos T3 e T4.

Figura 22 – Absorção de água (2 e 24h) e inchamento em espessura (2 e 24h).



Fonte: produção do próprio autor.

Considerando o exposto na Tabela 12 e na Figura 22, e relacionando estes resultados com a Tabela 8, pode-se dizer que os resultados demonstram claramente que os painéis com menor razão de compactação apresentam menores percentagens de absorção de água e inchamento em espessura em relação aos painéis com densidades menores. No caso, os tratamentos 3 e 4 são os que apresentaram painéis menos compactados e resultaram em menores valores de AA e IE tanto para imersão durante 2 horas quanto para 24 horas.

Mendonça (2008) afirma que isto se deve à maior concentração de material lenhoso dos painéis com maior RC que, consequentemente, resultam em maior absorção de água e inchamento em espessura.

A redução em absorção de água pode ser explicada pelo fato de que o acesso da água em painéis mais densos é menor em função da maior quantidade de massa lenhosa compactada para uma mesma espessura, produzindo uma barreira física impedindo a absorção de água capilar (AVRAMIDIS e SMITH, 1989; MENDES, 2001; ZHOW, 1990). No entanto, pode ocorrer o inverso devido à influência de outros fatores.

Para melhorar a estabilidade dimensional, Del Menezzi (2004) aplicou tratamentos térmicos para reduzir o nível das tensões de compressão, proporcionando melhoria no IE dos painéis e confirmou que quanto maior a temperatura do tratamento térmico, menor é o inchamento definitivo do painel. Macedo *et al.* (2013) citam a possibilidade de impermeabilização dos painéis com adesivo poliuretano à base de óleo de mamona, igualmente para a melhoria destas propriedades.

Também neste sentido, há a possibilidade de aperfeiçoar as qualidades do painel pela escolha do tipo de adesivo. Mendes (2010) citando Brochmann *et al.* (2004) diz que os painéis quando produzidos com isocianato no miolo e fenol-formaldeído nas faces resulta em menores valores de inchamento em espessura e absorção de água, devido à cura mais rápida do adesivo isocianato em relação a fenol-formaldeído. Entretanto, Mendes *et al.* (2007), observaram que os valores de absorção de água e inchamento em espessura, depois de 2 horas de imersão em água, não são afetados pelo tipo de resina.

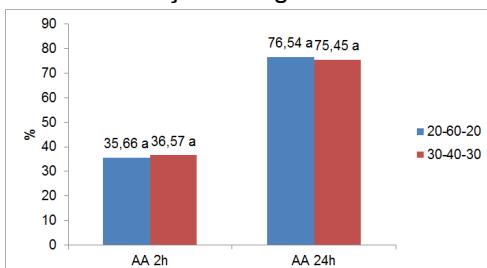
Iwakiri *et al.* (2003) observaram que com o aumento na quantidade de resina, houve uma redução estatisticamente

significativa na absorção de água e no inchamento em espessura, tanto para 2 quanto para 24 horas de imersão em água. Assim como a quantidade de resina com a finalidade de diminuição da AA e IE poderia ser incorporada mais parafina na confecção dos painéis, entretanto essas quantidades devem ser viáveis economicamente e os seus teores devem ser controlados para não afetar outras propriedades do OSB.

#### 4.6.1 Influência do fator proporção das camadas

Conforme as Figuras 23, 24 e 25 que seguem, as médias de absorção de água para 2h e 24h não apresentaram diferença significativa entre si. Porém, para inchamento em espessura para 24h e também para TNRE, as médias apresentaram diferença estatística e os melhores resultados, isto é, os menores valores, foram obtidos pela proporção 30:40:30.

Figura 23 – Influência do fator proporção das camadas para a variável absorção de água.



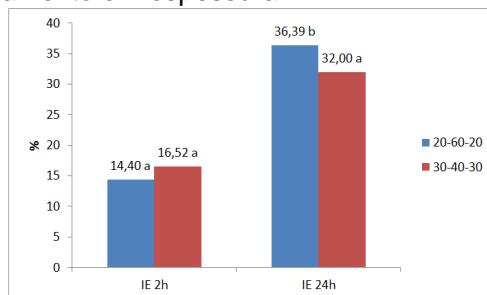
Médias seguidas por letras iguais não diferem estatisticamente.

Fonte: produção do próprio autor.

A absorção de água, diferentemente de teor de umidade de equilíbrio, é um fenômeno muito mais físico que químico e está relacionado à porosidade (espaços vazios) dos painéis e da madeira propriamente dita. Quando o painel está submerso a água líquida ocupa os espaços vazios formados entre as partículas e o interior das células da madeira, onde permanece pela ação de forças capilares, conforme Del Menezzi (2004).

Mendes (2001) afirma que com diminuição da relação face/miolo dos painéis de 1:1:1 para 1:3:1, houve uma redução estatisticamente significativa na absorção de água, tanto para 2, como para 24 horas de imersão em água. Ainda, cita Avramidis e Smith (1989) que dizem não haver uma explicação clara da influência da relação face/miolo sobre esta propriedade.

Figura 24 – Influência do fator proporção das camadas para a variável inchamento em espessura.



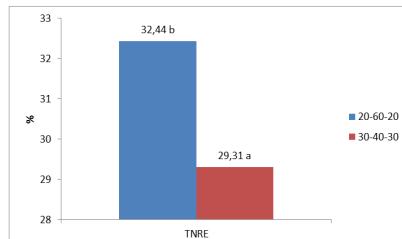
Médias seguidas por letras iguais não diferem estatisticamente.

Fonte: produção do próprio autor.

Para inchamento em espessura após 2h não houve influência do fator proporção das camadas. Após 24h o aumento da relação face/miolo de 40:60 para 60:40 ocasionou diminuição do inchamento em espessura, no caso, de aproximadamente 4%.

Outra relação foi estudada por Mendes (2001), que afirmou que a diminuição da relação face/miolo dos painéis resultou numa redução estatisticamente significativa nos valores médios de inchamento em espessura, apenas para imersão em água após 2 horas. Para imersão em água após 24 horas houve redução, mas a diferença não foi estatisticamente significativa. Este resultado está de acordo com os valores encontrados por Avramidis e Smith (1989), os quais demonstraram que não existe uma tendência lógica nestes fatores.

Figura 25 – Influência do fator proporção das camadas para a variável taxa de não retorno em espessura.



Médias seguidas por letras iguais não diferem estatisticamente.

Fonte: produção do próprio autor.

Pode-se observar que o aumento da relação face/miolo resultou em diminuição da TNRE em mais de 3%, ocasionando na diferença estatística entre as proporções 20:60:20 e 30:40:30.

Já Mendes (2001) indica que a diminuição da relação face/miolo dos painéis de 1:1:1 para 1:3:1 não afetou significativamente a taxa de não retorno em espessura. Como discutido anteriormente, com exceção da expansão linear, não existe uma relação definida entre esta variável e as propriedades físicas dos painéis.

Para melhorar esta propriedade, segundo Del Menezzi (2004), em seu estudo, o tratamento térmico significou uma melhoria destas propriedades de estabilidade. A hipótese é de que o tratamento térmico proposto liberou as tensões internas de compressão geradas durante a prensagem do painel.

#### 4.6.2 Influência do fator composição de espécies

A Tabela 13 expressa os resultados das variáveis absorção de água, inchamento em espessura e taxa de não retorno em espessura conforme a composição de espécies formadora das camadas do painel.

Tabela 13 – Influência do fator composição de espécies para as variáveis absorção de água, inchamento em espessura e taxa de não retorno em espessura.

Composição do painel	AA 2h	AA 24h	IE 2h (%)	IE 24h	TNRE
<b>Pinus</b>	57,84 c	91,94 c	22,60 c	35,54 b	32,01 b
<b>Eucalyptus</b>	18,81 a	57,36 a	9,08 a	29,38 a	25,60 a
<b>PEP</b>	40,04 b	76,82 b	15,97 b	37,04 b	34,47 b
<b>EPE</b>	29,88 b	74,11 b	13,52 b	31,91 a	30,01 b
<b>P+E</b>	34,03 b	79,74 b	16,14 b	37,10 b	32,27 b

Médias seguidas por letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si. Fonte: produção do próprio autor.

No estudo de Gouveia *et al.* (2003), para absorção de água em 24 horas, os melhores resultados foram obtidos pelos tratamentos P:E:P e MIS (mistura de *P. elliottii* e *E. grandis*), e ainda, afirma que painéis feitos com madeira de *Eucalyptus* nas camadas superficiais absorvem mais água do que aqueles fabricados com madeira de *Pinus* ou a mistura destas duas espécies. Ainda, diz que as demais propriedades físicas não sofreram influência da estrutura do colchão.

Comparativamente, no presente estudo foi observado o contrário do supracitado, conforme Tabela 13, onde a proporção constituída 100% por *Eucalyptus* foi mais eficiente, pois apresentou menor absorção de água para 2 e 24 horas de imersão, juntamente com E:P:E. Além disso, as maiores médias de AA foram apresentadas pelos painéis compostos por 100% *Pinus*, e, as outras composições de camadas foram equivalentes entre si na análise estatística.

Cabe destacar que os tratamentos que apresentaram os maiores valores de absorção de água foram os compostos pela madeira de menor densidade ( $0,408 \text{ g/cm}^3$ ) e que atingiram maiores valores de razão de compactação (1,52) e as maiores espessuras depois da homogeneização do teor de umidade na câmara de climatização (17,69 e 17,86 mm).

Kelly (1977) citado por Surdi (2012) diz que quanto maior a RC maior será o inchamento residual. Neste estudo isto também foi observado, já que os painéis compostos por *Eucalyptus* diferiram estatisticamente dos demais obtendo as menores médias de TNRE (25,60%) e possuem as menores razões de compactação, 1,32, conforme Tabela de RC.

## 4.7 FLEXÃO ESTÁTICA

As variáveis determinadas nos ensaios de flexão estática, MOR e MOE, juntamente com o ensaio de ligação interna, permitem verificar se um produto apresenta os requisitos mínimos estabelecidos pelas normas internacionais de qualidade e consequentemente aptidão às mais diversas aplicações. A Tabela 14 apresenta os valores médios de MOR e MOE paralelos e perpendiculares.

Tabela 14 – Valores médios do ensaio de flexão estática dos painéis.

Tratamento	MOR		MOE	
	Paralelo Mpa	Perpendicular Mpa	Paralelo MPa	Perpendicular MPa
<b>T1</b>	P 20:60:20	46 a (18,1)	50 a (36,2)	4960 c (18,9)
<b>T2</b>	P 30:40:30	43 a (19,0)	30 c (13,9)	4532 c (20,1)
<b>T3</b>	E 20:60:20	28 b (26,7)	22 d (12,9)	5608 b (14,9)
<b>T4</b>	E 30:40:30	26 b (22,7)	15 d (21,6)	4368 c (40,9)
<b>T5</b>	PEP 20:60:20	20 b (30,6)	16 d (39,5)	2997 d (33,2)
<b>T6</b>	PEP 30:40:30	42 a (36,7)	30 c (17,0)	4690 c (20,4)
<b>T7</b>	EPE 20:60:20	34 a (20,0)	38 b (11,7)	6568 b (12,0)
<b>T8</b>	EPE 30:40:30	51 a (32,4)	27 c (41,2)	7917 a (16,7)
<b>T9</b>	P+E 20:60:20	38 a (25,6)	27 c (22,8)	4775 c (18,8)
<b>T10</b>	P+E 30:40:30	39 a (26,0)	20 d (15,4)	5825 b (19,8)
<b>Mínimo</b>		15 <sup>T5</sup>	7 <sup>T5</sup>	1372 <sup>T4</sup>
<b>Médio</b>		37	28	5224
<b>Máximo</b>		77 <sup>T8</sup>	73 <sup>T1</sup>	9736 <sup>T8</sup>
<b>CV (%)</b>		27,5	28,4	21,0
				25,8

Médias seguidas por letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si. Entre parênteses está expresso o Coeficiente de Variação. Sobescrito está expresso o tratamento que atingiu os resultados mínimos e máximos. Fonte: produção do próprio autor.

Nota-se a partir dos resultados de módulo de ruptura que houve diferença estatística entre os tratamentos tanto no sentido paralelo, quanto no perpendicular. Para o primeiro (paralelo) verifica-se que a maior média (51 MPa) foi encontrada no tratamento 8, composto por *Eucalyptus* nas faces e *Pinus* no miolo na proporção 30:40:30, porém não diferenciou estatisticamente dos tratamentos 1, 2, 6, 7, 9 e 10. Já para o outro sentido (perpendicular), observa-se que a maior média foi encontrada no tratamento 1 (50 MPa), a qual foi estatisticamente superior aos demais tratamentos.

Para os resultados de módulo de elasticidade no sentido paralelo o tratamento 8 foi estatisticamente maior que os outros, obtendo a média de 7917 MPa. No sentido perpendicular, o melhor resultado foi apresentado pelo tratamento 1, composto por 100% de partículas de *Pinus*, na proporção 20:60:20, com rigidez de 3136 MPa.

Os maiores resultados de MOE e MOR não foram obtidos pelos tratamentos de maior densidade, como algumas literaturas relatam, entretanto, houve relação direta entre essas propriedades e a razão de compactação dos painéis. Para MOR paralelo e perpendicular pode-se observar que os tratamentos que apresentaram os menores valores médios (T3, T4 e T5) foram os que tiveram maiores valores de densidade e menores valores de espessura (Tabela 6). Entretanto, as razões de compactação destes tratamentos citados foram baixas (1,22; 1,25; 1,35). Já o tratamento que apresentou o maior valor de MOR, o T1, foi o que apresentou menor valor de densidade, maior espessura e maior valor de razão de compactação (1,52).

Quanto ao sentido de aplicação da carga em relação à distribuição das partículas durante o ensaio de flexão estática, observa-se que média da resistência à ruptura (MOR) no sentido paralelo (37 MPa) foi maior que no sentido perpendicular (28 MPa). Este fato também é encontrado para a rigidez, onde o MOE paralelo médio entre os tratamentos foi de 5224 MPa e o perpendicular 2016 MPa. Isto se dá em função da camada interna se encontrar com as fibras das partículas paralelas à força aplicada, sendo que, no sentido paralelo às fibras, a situação é inversa.

Saldanha (2004) afirma que os valores obtidos para MOE e MOR no sentido paralelo são superiores em relação ao sentido perpendicular, fato este influenciado principalmente pela composição do painel em camadas cruzadas (face/miolo/face).

Mendes *et al.* (2000) concluíram que existe diferença entre o sentido perpendicular e paralelo para MOR e MOE, indicando a eficiência da orientação das partículas.

Assim como no presente estudo, Surdi (2012) também relata que os resultados dos ensaios realizados com os corpos de prova orientados paralelamente foram superiores aos dos ensaios realizados com aqueles orientados perpendicularmente.

Mendes *et al.* (2010) encontraram os valores médios de MOE perpendicular às fibras variando de 1079 a 1772 MPa, enquanto que o MOR variou de 10 a 23 MPa. Já os valores de MOE paralelo às fibras variaram de 4782 a 6333 MPa e o MOR paralelo variou de 41 a 63 MPa. Estes resultados são inferiores aos obtidos no presente estudo para o sentido perpendicular e superiores para o sentido paralelo. Nota-se ainda, que os resultados obtidos pelo autor no sentido paralelo foram maiores que no sentido perpendicular, assim como, o encontrado pelos autores citados a seguir.

Valores inferiores em relação a este estudo forma obtidos por Mendes *et al.* (2007), trabalhando com OSB de clones de *Eucalyptus* e resina fenólica, que encontraram valores médios de MOE paralelo igual a 3108 MPa e 958 MPa para MOE perpendicular. Para MOR paralelo o resultado foi de 25 MPa e 12 MPa para o perpendicular.

Também com valores abaixo dos encontrados neste trabalho, Bortoletto Júnior e Garcia (2004) obtiveram para o MOR paralelo e perpendicular 25 e 16 MPa, respectivamente; para MOE paralelo e perpendicular os resultados foram 3987 e 1756 MPa, respectivamente, trabalhando com painéis OSB comerciais de 15 mm de espessura.

O resultado prático dessas constatações é que peças de OSB, cujos comprimentos forem perpendiculares à orientação das partículas das camadas externas, encontrarão aplicações mais limitadas em virtude da redução da sua resistência, e isso pode interferir no percentual de aproveitamento do painel (BORTOLETTO JÚNIOR E GARCIA, 2004).

Em relação ao estipulado pela norma CSA 0437 (1993) que regula a comercialização dos painéis OSB, a maioria dos tratamentos foi considerada adequada tanto para MOE quanto para MOR, nos dois sentidos, com exceção dos tratamentos T4 e T5 que não atingiram as exigências mínimas em alguns ensaios de flexão realizados.

O módulo de elasticidade e de ruptura são afetados de forma similar pelas diversas variáveis de processamento. O aumento da densidade dos painéis, orientação das partículas e conteúdo de resina geralmente afetam ambas as propriedades simultaneamente (KELLY, 1977).

Há uma relação entre densidade dos painéis e propriedades mecânicas, a qual de acordo com os resultados encontrados na literatura indica que se aumentando a densidade dos painéis ocorre um aumento no MOE e MOR, no sentido perpendicular e paralelo à orientação das partículas (MENDES *et al.*, 2003; SOBRAL FILHO, 1981; ZHANG *et al.*, 1998; ZHOW, 1990). Entretanto, esta relação não foi encontrada para os tratamentos avaliados devido à interação de outras variáveis.

A relação que exerce grande influência nas propriedades dos painéis é entre o comprimento e a espessura das partículas, chamada de razão de esbeltez (MOSLEMI, 1974; KELLY, 1977). O aumento na relação comprimento/espessura das partículas, ou seja, maior razão de esbeltez resulta em painéis com maior resistência à flexão estática, conforme Maloney (1993). As influências deste fator não puderam ser avaliadas claramente devido a pouca diferença da razão de esbeltez entre as duas espécies, 156 para *E. benthamii* e 164 para *Pinus spp.*

O tipo de resina afeta as propriedades dos painéis, conforme constatado por Saldanha e Iwakiri (2009) que obtiveram desempenho inferior dos painéis produzidos com resina MUF nos ensaios de MOE e MOR no sentido paralelo, comparada com resina FF e PMUF, o mesmo foi verificado na pesquisa realizada por Murakami *et al.* (1999).

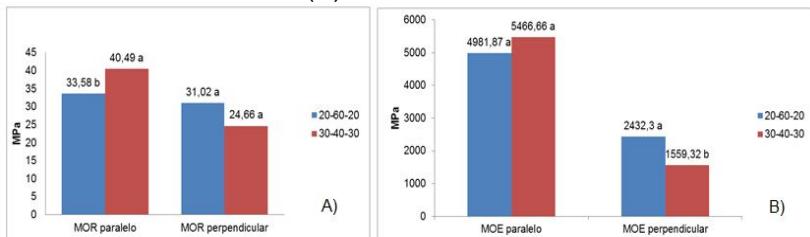
Outro fator de influência é a variação na porcentagem de resina, que não foi avaliada neste trabalho. Iwakiri *et al.* (2003) dizem que com o aumento na quantidade de resina há uma tendência de incremento no MOE no sentido paralelo, conforme observaram trabalhando com quantidades de resina de 3, 4,5 e 6,%. Já a incorporação da parafina, em diferentes quantidades, não afetou significativamente os valores médios de MOR, tanto no sentido paralelo como no perpendicular.

Além desses, outro fato que interfere nas propriedades mecânicas dos painéis OSB foi comprovado por Del Menezzi (2004) que afirmou haver redução de até 23% no módulo de ruptura e na força máxima da ruptura, em ambos os sentidos, quando são submetidos a tratamentos térmicos. Cabral *et al.* (2006) diz que tanto na direção paralela quanto na direção perpendicular à orientação das partículas, observou-se que a acetilação ocasionou redução significativa no módulo de ruptura dos painéis fabricados com partículas de *E. grandis*.

#### 4.7.1 Influência do fator proporção das camadas

Pode-se afirmar, observando a Figura 26, que houve diferença estatística para o fator proporção das camadas em MOR paralelo e MOE perpendicular.

Figura 26 – Influência do fator proporção das camadas para as variáveis módulo de ruptura (A) e módulo de elasticidade (B).



Médias seguidas por letras iguais não diferem estatisticamente.

Fonte: produção do próprio autor.

As maiores médias para MOR paralelo foram obtidas na proporção 30:40:30, diferindo estatisticamente da proporção 20:60:20. Já para MOR perpendicular, as camadas não apresentaram diferença significativa. Em relação ao MOE, apenas o sentido perpendicular apresentou diferença estatística, sendo que a proporção 20:60:20 foi mais eficiente.

Iwakiri *et al.* (2003) encontraram a mesma tendência, e afirmaram que a composição dos painéis com a relação 20-60-20 apresentou melhor balanço das propriedades de flexão estática entre os sentidos de ensaios paralelo e perpendicular.

Suzuki e Takeda (2000) citados por Mendes (2003), também, relatam que as propriedades de flexão estática são altamente afetadas pela proporção das camadas e que estas propriedades podem ser igualadas no sentido paralelo e perpendicular com 25% de camada externa (25:50:25). Com relação à direção de orientação das partículas nas camadas superficiais e no centro do painel, Cloutier (1998) afirma que a proporção ideal (face/miolo) é na faixa de 40:60 a 60:40 baseado na percentagem de massa seca de partículas encoladas. Estas

proporções são as mais utilizadas pelas indústrias canadenses e americanas de OSB.

No sentido paralelo as maiores médias foram encontradas para a proporção 30:40:30 e para o sentido perpendicular a proporção 20:60:20 foi mais vantajosa. Mendes (2003) afirma que o MOE e MOR paralelo dos painéis com maior relação face/miolo (1:1:1) foi estatisticamente superior quando comparado aos painéis com menor relação face/miolo (1:3:1). Já o MOE e MOR perpendicular dos painéis com menor relação face/miolo foi significativo e superior quando comparado aos painéis com maior relação face/miolo. O autor explica que este fato ocorre porque o aumento da espessura do miolo favorece o comportamento do MOE perpendicular em função das fibras das partículas do miolo estarem também nesta direção. A adesão entre as camadas é favorecida com uma maior quantidade de resina, porque ocorre um aumento de sua disponibilidade por área superficial de partículas, consequentemente aumentando a resistência da linha de cola, e por sua vez transmitindo esta para valores maiores de MOE e MOR.

No mesmo sentido, Iwakiri *et al.* (2003) constataram que a inclusão de 40 e 60% de camada cruzada no miolo do painel não afetou estatisticamente o MOE no sentido paralelo à orientação das partículas do plano da painel. Por outro lado, no sentido perpendicular, houve um incremento significativo do MOE, com o aumento da proporção de camadas cruzadas de 0% para 40 e 60% respectivamente. Esse aumento nos valores médios de MOE, no sentido perpendicular, pode ser atribuído à influência da camada interna cujas partículas estão orientadas no mesmo sentido de flexionamento do painel. Também, a diferença entre o MOR nos sentidos paralelo e perpendicular passa a ser menor, com a inclusão de uma camada cruzada no miolo do painel, aumentando o equilíbrio estrutural do painel. Tanto para o MOE, quanto para o MOR, houve uma redução na diferença entre os sentidos paralelo e perpendicular, com o aumento da proporção da camada interna de 0 para 40 e 60 partes.

#### 4.7.2 Influência do fator composição de espécies

Conforme Tabela 15, o fator composição de espécies exerceu influência significativa sobre as propriedades mecânicas MOR e MOE. Os melhores resultados para MOR, paralelo e perpendicular, foram obtidos pelos painéis formados por *Pinus*, seguidos da composição E:P:E. Já para MOE paralelo, o melhor resultado e destacado dos outros foi E:P:E, e para MOE perpendicular todos as composições de espécies foram estatisticamente iguais.

Tabela 15 – Influência do fator composição de espécies para as variáveis módulo de ruptura e módulo de elasticidade.

Composição do painel	MOR paralelo	MOR perpendicular	MOE paralelo	MOE perpendicular
	(MPa)			
<b>Pinus</b>	44 a	40 a	4746 b	2449 a
<b>Eucalyptus</b>	27 b	19 b	4988 b	1894 a
<b>PEP</b>	31 b	23 b	3844 c	1685 a
<b>EPE</b>	43 a	33 a	7242 a	2185 a
<b>P+E</b>	38 a	24 b	5300 b	1864 a

Médias seguidas por letras iguais não diferem estatisticamente.

Fonte: produção do próprio autor.

Resultados semelhantes podem ser observados no trabalho de Gouveia *et al.* (2003) que encontrou, respectivamente, para MIS, E:P:E e P:E:P os seguintes resultados, em MPa, para MOR paralelo: 41, 37 e 44. Para MOR perpendicular os resultados obtidos foram: 37, 40 e 39. Para MOE paralelo: 5501, 6159 e 6536. E para MOE perpendicular: 4546, 5316 e 5125.

Mendes (2001) não encontrou diferença estatística entre os valores médios para as propriedades de MOR e MOE, paralelo e perpendicular, para o fator espécie, entretanto, ressalta-se que o autor utilizou espécies diferentes embora de mesmo gênero, *Pinus*.

Contudo, Gouveia (2001) afirma que as proporções entre as espécies tiveram influência significativa nos valores de módulo de ruptura e elasticidade, tanto no sentido paralelo quanto no

sentido perpendicular. O mesmo, diz que os melhores resultados de módulo de ruptura e módulo de elasticidade foram observados nos painéis fabricados com 100% de *Pinus*, seguidas pelos painéis com 100% de *Eucalyptus* e por aqueles com 50% de cada espécie.

#### 4.8 LIGAÇÃO INTERNA

Os resultados obtidos nos ensaios de ligação interna estão apresentados na Tabela 16, onde se nota que os valores de resistência foram bastante elevados para todos os tratamentos e atingiram assim, as exigências mínimas da norma comercial canadense CSA 0437 (1993). O valor médio encontrado para todos os tratamentos foi de 0,56 MPa, já o intervalo variou entre 0,48 MPa (T5) e 0,68 MPa (T1), havendo desta forma, diferença estatística entre os tratamentos.

Tabela 16 – Valores médios do ensaio de ligação interna dos painéis.

Tratamento	LI (MPa)
T1 P 20:60:20	0,68 a (18,2)
T2 P 30:40:30	0,67 a (14,6)
T3 E 20:60:20	0,52 b (5,2)
T4 E 30:40:30	0,50 b (5,5)
T5 PEP 20:60:20	0,48 b (6,8)
T6 PEP 30:40:30	0,50 b (7,2)
T7 EPE 20:60:20	0,54 b (6,6)
T8 EPE 30:40:30	0,63 a (18,4)
T9 P+E 20:60:20	0,58 a (5,8)
T10 P+E 30:40:30	0,52 b (6,5)
Minimo	0,44 <sup>T5</sup>
Médio	0,56
Máximo	0,83 <sup>T1</sup>
CV (%)	12,1

Médias seguidas por letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si. Entre parênteses está expresso o Coeficiente de Variação. Sobescrito está expresso o tratamento que atingiu os resultados mínimos e máximos. Fonte: produção do próprio autor.

A diferença estatística é vista com a superioridade dos tratamentos T1, T2, T8 e T9 em relação aos demais. Dentre estes, os maiores valores foram encontrados nos tratamentos T1 e T2, os quais eram caracterizados pela utilização de 100% de

partículas de *Pinus*, seguidos do T8 com *Pinus* no miolo e *Eucalyptus* nas faces (EPE 30:40:30) e do T9 com a mistura de *Pinus* e *Eucalyptus* (P+E 20:60:20).

O melhor desempenho da ligação interna dos painéis formados por partículas de *Pinus spp.* pode estar relacionado à maior porosidade da madeira da espécie em relação ao *Eucalyptus*, que favorece o espalhamento e a penetração da resina. Iwakiri (2005) afirma que o desempenho da colagem da madeira está intrinsecamente vinculada à porosidade e à permeabilidade.

Iwakiri *et al.* (2003) encontrou a mesma resistência, 0,52 MPa, para painéis de *E. grandis* com composição face:miolo:face de 20:60:20. Mendes *et al.* (2007) encontrou valor inferior, 0,39 MPa, para a resistência a ligação interna de painéis com partículas de clones de *Eucalyptus spp.*

Iwakiri *et al.* (2004) obteve resultados semelhantes para painéis com *E. grandis* a média foi de 0,57 MPa e para *E. saligna* de 0,42 MPa nos ensaios de ligação interna. Também no mesmo estudo, definiram a resistência de 0,60 MPa para *P. taeda*, um pouco inferior ao exposto na Tabela 16.

Saldanha e Iwakiri (2009) comprovaram que a ligação interna dos painéis produzidos com *P. taeda* e densidade nominal de 0,90 g/cm<sup>3</sup> (0,57 MPa) foi estatisticamente superior em comparação aos painéis produzidos com densidade nominal de 0,65 g/cm<sup>3</sup> (0,40 MPa), a mesma tendência foi observada por Zhang *et al.* (1998), Wu (1999) e Marin (2001). Este fato não foi constatado no presente estudo, haja vista que as maiores médias de LI foram obtidas nos tratamentos 1 e 2, compostos por *Pinus spp.*, os quais apresentaram as menores densidades numéricas de painéis, embora não tenham diferido estatisticamente.

Para a espécie *P. elliotti*, Gouveia (2001) encontrou a média de 0,77 MPa, além de ter sido possível constatar que quanto maior o teor de adesivo aplicado (testes com 4%, 6% e 8%) maior a resistência de ligação interna.

Assim, as taxas de ligação interna são influenciadas por diversos fatores como a densidade dos painéis, o teor de resina e também o tempo de prensagem. Gündüz *et al.* (2011) diz que quando se aumenta o tempo de prensagem e os teores de adesivo, os resultados dos ensaios da ligação interna também aumentam. O tempo de prensagem provavelmente está

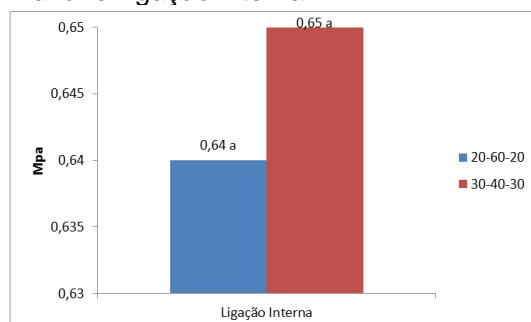
relacionado à cura do adesivo que se realizado de forma adequada proporcionará melhor colagema.

Winistorfer *et al.* (1992) citado por Mendes *et al.* (2003) concluiu que, para qualquer tipo e nível de parafina aplicados aos painéis, ocorre uma redução na ligação interna, causada possivelmente pela interferência negativa sobre a polimerização da resina.

#### 4.8.1 Influência do fator proporção das camadas

Neste estudo a influência do fator proporção das camadas não foi visualizada. Conforme mostra a Figura 27, não houve diferença significativa para o fator proporção das camadas, haja vista que os valores de ambas as composições, 20:60:20 e 30:40:30, resultaram em valores muito próximos.

Figura 27 – Influência do fator proporção das camadas para a variável ligação interna.



Médias seguidas por letras iguais não diferem estatisticamente.

Fonte: produção do próprio autor.

Segundo Mendes *et al.* (2003) a diminuição da relação face/miolo de 1:1:1 para 1:3:1, resultou em valores estatisticamente superiores de ligação interna, de 0,57 para 0,81 MPa. Esta tendência está de acordo com a encontrada por Avramidis & Smith (1989) e Zhang *et al.* (1998); e contradiz

Murakami *et al.* (1999), que concluíram que a ligação interna não é afetada pela relação face/miolo.

#### 4.8.2 Influência do fator composição de espécies

O fator composição de espécies mostrou influência sobre a variável ligação interna, onde, os melhores resultados de ligação interna foram observados para os painéis produzidos com partículas de *Pinus*, diferindo estatisticamente das outras composições de espécies com média elevada, 0,68 MPa, (ver Tabela 17).

Tabela 17 – Influência do fator composição de espécies para a variável ligação interna.

Composição do painel	Ligação Interna (MPa)
<i>Pinus</i>	0,68 a
<i>Eucalyptus</i>	0,51 c
EPE	0,58 b
PEP	0,49 c
P+E	0,55 b

Médias seguidas por letras iguais não diferem estatisticamente.

Fonte: produção do próprio autor.

No que diz respeito à influência da composição química no desempenho da colagem de painéis, Trianoski (2010) destaca que as reações de polimerização do adesivo e as reações entre adesivos e extrativos dependem não só da quantidade, mas também do tipo de extrativo. Assim, não se pode afirmar que houve interferência do teor de extrativos totais na produção dos painéis devido ao fato da igualdade estatística na análise do *Pinus spp.* (9,40%) e *E. benthamii* (8,23%).

Já em relação ao teor de lignina, este sim, pode ter influenciado positivamente a ligação interna, resultando em melhores taxas de colagem para os painéis compostos por *Pinus*, os quais apresentaram maior teor de lignina (32,35%) comparado com o *Eucalyptus* (23,62%). Bufalino *et al.* (2012) afirma que maiores teores de lignina são desejáveis para a produção de painéis de madeira reconstituída por se tratar de um adesivo natural, contribuindo para melhorar a adesão entre as

partículas e resultando assim, em boa colagem e maior estabilidade dimensional.

Gouveia *et al.* (2003), comparando composições de camadas parecidas com as deste estudo, encontraram valores superiores para ligação interna no seu estudo, embora a tendência tenha sido igual, adotando as espécies *E. grandis* e *P. elliottii*: 0,55 MPa para MIS (mistura de ambas as espécies), 0,57 MPa para P:E:P e 0,70 MPa para E:P:E.

Assim como no presente estudo, Gouveia (2001) observou a melhor resistência para os painéis fabricados exclusivamente com partículas de *Pinus*, avaliando tratamentos com composições de camadas com *P. elliottii* e *E. grandis*. Diz ainda, que esta propriedade é influenciada tanto pela proporção entre as espécies quanto pela taxa de adesivo aplicada.

Pode-se observar que as maiores médias de LI foram obtidas pelos painéis compostos por *Pinus* que também apresentaram as maiores razões de compactação. Saldanha (2004), Wu (1999) e Mendes (2001) afirmam que o aumento da razão de compactação provoca um maior volume de partículas na composição do painel, propiciando uma melhora na propriedade ligação interna.

Embora os resultados tenham sido satisfatórios, observou-se que o rompimento dos corpos de prova durante os testes de ligação interna não foi homogêneo. A maioria dos corpos de prova dos tratamentos T5, T6, T7 e T8, os quais eram formados por camadas de espécies distintas, romperam-se na transição das camadas e não na parte central como é o desejável.

Este fato também foi observado por Gouveia *et al.* (2003) para tratamentos com camadas PEP e EPE. O mesmo autor explica este comportamento pela diferença entre as espécies, pois como a madeira de *Eucalyptus* é mais densa que a de *Pinus* o volume de material é menor e, consequentemente, o contato entre as partículas também o é, daí a fragilidade das camadas onde se encontra a madeira de *Eucalyptus*. Outra possibilidade é a menor interatividade entre a madeira desta e o adesivo.

No mesmo sentido, César (2011) que explica que a penetração do adesivo é maior em madeiras de baixa densidade quando comparadas com madeiras de alta densidade, isto, porque quanto maior a densidade, mais espessas as paredes

das células e, por consequência, menor a quantidade de espaços vazios na madeira.

#### 4.9 PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS X NORMAS DE QUALIDADE

No Canadá, para controle de qualidade dos painéis são utilizadas duas normas da *Canadian Standards Association*, a CSA O437.0 e a CSA O325.0 (MENDES, 2001). Saldanha (2004) complementa que no mercado norte-americano os painéis são manufaturadas para atenderem aos padrões físico-mecânicos normativos do *U. S. Department of Commerce Voluntary Performance Standard* (norma PS 2-92) ou então, às normas CSA O325.0 e CSA O437.0. Na Europa, os painéis OSB são manufaturados nos padrões *European Standard* (norma EN-300) e certificados por agências nacionais de certificação. No Japão, os painéis devem atender as exigências da *JAS (Japanese Agricultural Standard)* e podem ser certificados por agências norte-americanas.

##### 4.9.1 Propriedades físicas

A propriedade física utilizada para a verificação ao atendimento a norma foi o inchamento em espessura por meio da CSA 0437 (1993) que estipula apenas o valor de inchamento depois de 24 horas de imersão, que deve ser no máximo de 15% para painéis de 12,7 mm de espessura ou menores e 10% para painéis superiores a 12,7 mm de espessura, (SBA, 2006).

Conforme Tabela 12, os resultados para imersão durante 24 horas variaram de 26,68% a 42,47%, valores bastante acima do exigido pela norma, embora tenha sido aplicada a parafina para tentar melhorar este parâmetro.

A norma é bastante exigente quanto ao IE 24h o que torna difícil o seu atendimento em pesquisas laboratoriais devido às variações durante o processo. Isto pode ser observado em alguns dos trabalhos pesquisados, como: Surdi (2012), Gouveia (2001), Mendes *et al.* (2002), Gouveia *et al.* (2003), Mendonça (2008), Iwakiri *et al.* (2008), Saldanha *et al.* (2009), Souza *et al.* (2012).

#### 4.9.2 Propriedades mecânicas

De acordo com SBA (2006), para as variáveis MOR e MOR no ensaio de flexão estática a norma CSA 0437.0 (1993) estabelece duas classes de painéis OSB, sendo O-1 e O-2. Para o OSB ser enquadrado na classe O-1, os valores mínimos de resistência e rigidez são: MOR paralelo e perpendicular de 23,4 e 9,6 MPa, respectivamente; e MOE paralelo e perpendicular de 4500 e 1300 MPa, respectivamente. Para o OSB ser enquadrado na classe O-2, os valores mínimos de resistência e rigidez exigidos são: MOR paralelo e perpendicular de 29,0 e 12,4 MPa, respectivamente; e MOE paralelo e perpendicular de 5500 e 1500 MPa.

Para ligação interna, o mínimo determinado pela norma é 0,345 MPa, sendo a exigência igual para O-2 e O-1, assim, todos os tratamentos atenderam a norma.

A Tabela 18 apresenta o quadro geral dos tratamentos utilizados no presente estudo com a respectiva classificação segundo a CSA 0437.0 (1993), onde para flexão estática pode ser observado, de forma geral, que somente os tratamentos 6 e 7 podem ser enquadrados na classe O-2 da norma, enquanto os tratamentos 1, 2, 3, 8, 9 e 10 apresentam classificação O-1 e os tratamentos 4 e 5 não atingiram os valores mínimos de MOR e MOE em alguns ensaios.

Tabela 18 – Classificação dos tratamentos conforme norma CSA 0437.0 (1993).

Tratamento	MOR		MOE		LI
	Paralelo	Perpendicular	Paralelo	Perpendicular	
T1	P 20:60:20	O-2	O-2	O-1	O-2
T2	P 30:40:30	O-2	O-2	O-1	O-2
T3	E 20:60:20	O-1	O-2	O-2	O-2
T4	E 30:40:30	O-1	O-2	X	O-2
T5	PEP 20:60:20	X	O-2	X	O-2
T6	PEP 30:40:30	O-2	O-2	O-1	O-2
T7	EPE 20:60:20	O-2	O-2	O-2	O-2
T8	EPE 30:40:30	O-2	O-2	O-2	O-2
T9	P+E 20:60:20	O-2	O-2	O-1	O-2
T10	P+E 30:40:30	O-2	O-2	O-2	O-2

Legenda: X: não atendimento da norma. O-1: primeira classe de painéis de partículas. O-2: segunda classe de painéis de partículas orientadas. Fonte: produção do próprio autor.

Com fins comparativos, pode-se citar Mendonça (2008) que trabalhando com clones de *E. urophylla*, obteve resultados muito abaixo da norma para os ensaios de MOR paralelo e perpendicular e MOE paralelo, apresentando apenas um valor satisfatório para MOE perpendicular (1703 MPa), e justificou o problema como sendo influência da calibração da pressão no equipamento durante a prensagem.

Já para ligação interna, pode-se mencionar como exemplo a pesquisa de Iwakiri *et al.* (2004) que testaram diversas espécies de *Eucalyptus* na produção de painéis OSB comparativamente aos com *P. taeda*. Nos ensaios de ligação interna obtiveram resultados que não atenderam à norma CSA (1993), foi o caso dos painéis formados por *E. tereticornis*, *E. citriodora*, *E. maculata* e *E. dunni* que obtiveram resistência de 0,11; 0,12; 0,16 e 0,27 MPa, respectivamente. Já as outras espécies do estudo, *E. grandis*, *E. saligna* e *P. taeda*, resultaram em valores superiores à norma.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Baseando-se na metodologia utilizada e nos resultados obtidos, pode-se concluir em relação à matéria-prima e à produção dos painéis que:

- As dimensões das partículas de *E. benthamii* foram adequadas para a produção de painéis OSB, embora tenham alcançado comprimento inferior ao esperado devido ao tipo de equipamento disponível em laboratório.
- A utilização da caixa formadora foi eficiente para a orientação das partículas.
- Os resultados da análise química foram compatíveis com resultados encontrados na literatura para as espécies *E. benthamii*, *P. taeda* e *P. elliottii*. Além disso, a presença superior de lignina no mix pode ter favorecido a colagem dos painéis formados por tal material.

Em relação aos resultados das propriedades físicas podem-se chegar as seguintes conclusões:

- Os painéis produzidos foram classificados como de média densidade.
- Em relação à razão de compactação, apenas os tratamentos compostos exclusivamente por *E. benthamii* não atingiram o mínimo recomendado de 1,30.
- Nenhum tratamento foi satisfatório no que diz respeito às propriedades de absorção de água e inchamento em espessura, além da taxa de não retorno em espessura, apresentando valores bastante elevados. Entretanto, ressalta-se o melhor desempenho obtido pelos painéis compostos por *Eucalyptus*. Ainda, a proporção 30:40:30 proporcionou melhores propriedades físicas.

A respeito das propriedades tecnológicas, notaram-se os seguintes comportamentos:

- A maioria dos tratamentos analisados atingiram as exigências mínimas da norma CSA 0437 (1993) para os ensaios de flexão, exceto os tratamentos T4 e T5.
- Para os ensaios de flexão no sentido paralelo as melhores médias foram obtidas na proporção 30:40:30 e

no sentido perpendicular a proporção 20:60:20 de destacou.

- De maneira geral, em relação à composição do painel, os melhores resultados de MOE e MOR foram alcançados pelos painéis de *Pinus* e E:P:E.
- Para ligação interna todos os tratamentos atingiram o mínimo exigido pela norma CSA 0437 (1993) sendo que as melhores médias foram obtidas pelos tratamentos compostos exclusivamente por *Pinus*. Não houve diferença estatística significativa para o fator proporção das camadas nesse ensaio.

Os resultados deste trabalho indicam que a madeira de *Eucalyptus benthamii* possui potencial para a produção, principalmente em mistura com *Pinus spp.*, de painéis de partículas orientadas (OSB).

Com base nas conclusões obtidas recomendam-se para trabalhos futuros algumas variações dos fatores relacionados à madeira e também ao processo de produção dos painéis.

- Estudar o efeito do tamanho das partículas strand assim como, da classificação das partículas de acordo com suas características dimensionais.
- Testar diferentes tipos de adesivos, aumentar o teor de adesivo aplicado e também realizar alterações na aplicação da emulsão de parafina com a finalidade de melhoria das propriedades físicas.
- Observar outros tipos de prensagem, aplicando diferentes parâmetros de tempo, temperatura e pressão.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIMCI. Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente. **Estudo setorial 2009, ano base 2008.** 48 p. Curitiba: ABIMCI, 2009.

ABIMCI. Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente. **Painéis de madeira fabricados no Brasil e suas particularidades.** Art. Téc. n. 1 Fórum Nacional das Atividades de Base Florestal. Disponível em: <http://w3.ufsm.br/florestal/index.php/component/jdownloads/viewdownload/3-artigo-tecnico/50-01-paineis-de-madeira-fabricados-no-brasil-e-suas-particularidades.html>. Acesso em 03/02/2014.

ABIPA. Associação Brasileira de Indústrias de Painéis de Madeira. **OSB: Oriented Strand Board.** 2014 (a). Disponível em: <http://www.abipa.org.br/produtosOSB.php> Acesso em: 03/02/2014.

ABIPA. Associação Brasileira de Indústrias de Painéis de Madeira. **OSB: Oriented Strand Board.** 2014 (b) Disponível em: <http://www.abipa.org.br/deOlhoNoMercado.php> Acesso em: 03/02/2014.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7988:** Madeira - determinação do teor de extraíveis com água: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Normas técnicas **NBR 11941:** Madeira - determinação da densidade básica: Rio de Janeiro, 2003.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Normas técnicas **NBR 14660**: Madeira - Amostragem e preparação para análise. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Normas técnicas NBR 7990**: Madeira - Determinação do material solúvel em hidróxido de sódio a 1%. Brasília, 2010.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Normas técnicas NBR 14853**: Madeira - Determinação do material solúvel em etanol-tolueno e em diclorometano e em acetona. Brasília, 2010.

ABRAF. Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. **Anuário estatístico 2013 / ano base 2012**. 148 p. Brasília: ABRAF. 2013.

AGUIAR, A. V. de; SOUSA, V. A. de; SHIMIZU, J. Y. **Cultivo de Pinus: Espécies de Pinus mais plantadas no Brasil**. Embrapa Florestas - Sistemas de Produção. Mai. 2011. Disponível em: [http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Pinus/CultivodoPinus\\_2ed/Especies\\_Pinus\\_elliottii.html](http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Pinus/CultivodoPinus_2ed/Especies_Pinus_elliottii.html). Acesso em: 03/02/2014.

ALVES, I. C. N.; GOMIDE, J. L.; COLODETTE, J. L.; SILVA, H. D. Caracterização tecnológica da madeira de *Eucalyptus benthamii* para produção de celulose Kraft. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 1, p. 167-174, 2011.

ANDRANDE, A. S. de. **Qualidade da madeira, celulose e papel em *Pinus taeda* L.: influência da idade e classe de produtividade**. 2006. 107p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

ANSI. American National Standards Institute - "Mat-formed wood particleboard: Specification; National Particleboard Association; ANSI A208.1-1993", Gaithersburg (1993).

ARANTES, M. D. C. **Variação nas características da madeira e do carvão de um clone de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden X *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake.** 2009. 149 p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade de Lavras, Lavras, MG, 2009.

ASTM. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. **Standard methods of evaluating the properties of wood-base fiber and particle materials.** In: Annual Book of ASTM standards, ASTM D-1037-78B. Philadelphia. 1993.

AVRAMIDIS, S.; SMITH, L. A. The effect of resin content and face-to-core ratio on some properties of oriented strand board. **Holzforschung**, Berlin, v. 43, n. 2, p. 131-133, 1989.

BALDIN, T.; SOUZA, J. T. de; MENEZES, W. M. de; HASELEIN, C. R. Determinação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden Et Cambage. In: I Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira e III Simpósio Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira. **Anais de Congresso**, Petrópolis, RJ, p. 210-211, 2013.

BALLONI, C. J. V. **Caracterização física e química da madeira de *Pinus elliottii*.** 2009. 41p. Monografia (Graduação em Engenharia Industrial Madeireira) - UNESP, Itapeva, SP, 2009.

BARRICHELO, L. E. G.; KAGEYAMA, P. Y.; SPELTZ, R. M.; BONISH, H. S.; BRITO, J. O.; FERREIRA, M. Estudos de procedências de *Pinus taeda* visando aproveitamento industrial. **IPEF**, Piracicaba, n.15, p. 1-14, 1977.

BASSA, A. G. M. C. **Misturas de madeiras de *Eucalyptus globulus* e *Pinus taeda* para produção de celulose Kraft através do processo Lo-Solids®.** 2006. 168 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, USP, Piracicaba, 2006.

BENSON, D. H. Aspects of the cology of rare tree species *Eucalyptus bethamii* at Bents Basin, Wallacia. Cunninghamia, 1:371-383, 1985.

BORTOLETTO JÚNIOR, G.; GARCIA, J. N. R. Propriedades de resistência e rigidez à flexão estática de painéis OSB e compensados. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.28, n.4, p.563-570, 2004.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. Correlações entre características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão vegetal: i. densidade e teor de lignina da madeira de Eucalipto. **IPEF**, n.14, p.9-20, 1977.

BRITO, E. O. **Viabilidade de utilização de espécies de *Pinus* para a produção de chapas de composição estruturais waferboards.** 1984. 104 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1984.

BUFALINO, L., PROTÁSIO, T. de P.; COUTO, A. M.; NASSUR, O. A. C.; SÁ, V. A de; TRUGILHO, P. F.; MENDES, L. M. Caracterização química e energética para aproveitamento da madeira de costaneira e desbaste de cedro australiano. **Pesq. flor. bras.**, Colombo, v. 32, n. 70, p. 129-137, abr./jun. 2012.

CABRAL, C. P. T.; VITAL, B. R.; LUCIA, R. M. D.; PIMENTA, A. S.; SOARES, C. P. B.; CARVALHO, A. M. M. L. Propriedades de chapas tipo OSB, fabricadas com partículas acetiladas de

madeiras de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus cloeziana* e *Pinus elliottii*. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.30, n.4, p.659-668, 2006.

CARASCHI, J. C.; LEÃO, A. L.; CHAMMA, P. V. C. Avaliação de painéis produzidos a partir de resíduos sólidos para aplicação na arquitetura. Artigo técnico científico. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, vol. 19, nº 1, p. 47-53, 2009.

CARPANEZZI, A. A.; FERREIRA, C. A.; ROTTA, E.; NAMIKAWA, I. S.; STURION, J. A.; PEREIRA, J. C. D.; MONTAGNER, L. H.; RAUEN, M. de J.; CARVALHO, P. E. R.; SILVEIRA, R. A.; ALVES, S. T. **Zoneamento ecológico para plantios florestais no estado do Paraná**. (Documentos, 17). Embrapa: CNPF. 1986.

CASTRO, M. B.; CÉSAR, A. A. da S.; BUFALINO, L.; MENDES, L. M.; MENDES, R. F. Resistência mecânica de painéis OSB de pinus e eucalipto. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA. **Anais de Congresso...** UFES, Vitória, julho de 2012.

CÉSAR, A. A. da S. Estudo da interação adesivo-partículas em painéis OSB (Oriented Strand Board). 2011. 88p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – UFLA, Lavras, 2011.

CLOUTIER, A. Oriented strandboard (OSB): raw material, manufacturing process, properties of wood-base fiber and particle materials. In: Isl International Seminar on Solid Wood Products of High Technology. **Anais...** Belo Horizonte, MG, p. 173-185, 1998.

CSA. CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION. OSB and Waferboard. CSA: 0437.0 – 93. Ontario: 1993. 18p.

DEL MENEZZI, C. H. S. **Estabilização dimensional por meio do tratamento térmico e seus efeitos sobre as propriedades de painéis de partículas orientadas (OSB)**. 2004. 242 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

DIN. NORMEN FÜR HOLZFASERPLATEN SPANPLATTEN SPERRHOLZ. **Testing of wood chipboards bending test, determination of bending strength**: DIN 52362. Berlin, 40p. 1982.

EISFELD, C. de L.; BERGER, R. Análise das estruturas de mercado das indústrias de painéis de madeira (compensado, MDF e OSB) no estado do Paraná. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 42, n. 1, p. 21-34, jan./mar. 2012.

FAO, FLD, IPGRI. **Forest genetic resources conservation and management**. Vol. 1: Overview, concepts and some systematics approaches. International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy, 2004.

FENGEL, W. A. & WEGENER, G. **WOOD: Chemistry, Ultrastructure, Reaction**. Walter de Gruyter. New York. 1984.  
FERREIRA, D. F. **Sisvar: a computer statistical analysis system**. Ciência e Agrotecnologia (UFLA), v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.

FPL, Forest Products Laboratory. **Wood handbook - Wood as an engineering material**. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-113. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 463 p. 1999.

GALVÃO, A. P. M.; JANKOWSKY, I. P. **Secagem racional da madeira**. Nobel: São Paulo, 1985. 111 p.

GOUVEIA, F. N. **Produção de chapas de partículas orientadas (OSB) a partir das espécies *Eucalyptus grandis* W. HILL EX MAIDEN e *Pinus elliottii* ENGELM.** 2001. 81p. Tese (Pós-Graduação em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2001.

GOUVEIA, F. N.; VITAL, B. R.; SANTANA, M. A. E. Avaliação de três tipos de estrutura de colchão e três níveis de resina fenólica na produção de chapas de partículas orientadas – OSB. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.27, n.3, p.365-370, 2003.

GRAÇA, M. E. C.; CARAMORI, P. H.; BOOTSMA, A.; OLIVEIRA, D.; GOMES, J. **Capacidade de rebrota e de enraizamento de *Eucalyptus benthamii*.** Boletim de Pesquisa Florestal, Colombo, n. 39, p.135-138, jul./dez. 1999.

GÜNDÜZ, G.; YAPICI, F.; OZÇIFÇI, A.; KALAYCIOGLU, H. OSB adhesive ratio and pressure: The effects of adhesive ratio and pressure time on some properties of oriented strand board. **BioResources**. 6 (2), 2128-2124. 2011.

HASELEIN, C. R.; CALEGARI, L.; BARROS, M. V.; HACK, C.; HILLIG, E.; PAULESKI, D. T.; POZZERA, F. Resistência mecânica e à umidade de painéis aglomerados com partículas de madeira de diferentes dimensões. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 127-134. 2002.

HIGA, A. R.; KAGEYAMA, P. Y.; FERREIRA, M. Variação da densidade básica da madeira de *P. elliottii* var. *elliottii* e *P. taeda*. **IPEF**, n.7, p.79-91, 1973.

HIGA, A. R.; CARVALHO, P. E. R. de. Sobrevida e crescimento de doze espécies de eucalipto em Dois Vizinhos, Paraná. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO 6, 1990, CAMPOS DO JORDÃO. **Anais**. São Paulo: SBS, 1990. p.459-461. Publicado em Silvicultura, v.3, n.42, 1990.

HIGA, R. C. V. Aspectos ecológicos e silviculturais do *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 38, p. 121-123, 1999.

HIGA, R. C. V.; PEREIRA, J. C. D. Usos potenciais do *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage. (**Comunicado Técnico n. 100**). Colombo: Embrapa Florestas. 4p. 2003.

HIGA, R. C. V.; WREGE, M. S.; RADIN, B.; BRAGA, H.; CAVIGLIONE, J. H.; BOGNOLA, I.; ROSOT, M. A. D.; GARRASTAZU, M. C.; CARAMORI, P. H.; OLIVEIRA, Y. M. M. de. Zoneamento climático: *Pinus taeda* no sul do Brasil. (**Documentos, n. 175**). Colombo: Embrapa Florestas. 17 p. 2008.

HILLIG, E. **Qualidade de chapas aglomeradas estruturais fabricadas com madeira de Pinus, Eucalipto e Acácia-negra, puras ou misturadas, coladas com tanino-formaldeído**. 2000. 112p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2000.

HUGEN, L. N. **Efeito do tratamento hidrotérmico em partículas strand para painéis OSB**. 2013. 70p. Relatório final de Estágio Curricular Supervisionado (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2013.

IWAKIRI, S. A influência de variáveis de processamento sobre propriedades de chapas de partículas de diferentes espécies de *Pinus*. Curitiba, 1989. 129p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1989.

IWAKIRI, S.; OLANDOSKI, D. P.; LEONHARDT, G.; BRAND, M. A. Produção de chapas de madeira compensada de cinco espécies de pinus tropicais. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 2, p. 71-77, 2001.

IWAKIRI, S.; MENDES, L. M.; SALDANHA, L. K. Produção de chapas de partículas orientadas “OSB” de *Eucalyptus grandis* com diferentes teores de resina, parafina e composição em camadas. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.13, n.1, 2003.

IWAKIRI, S.; MENDES, L. M.; SALDANHA, L. K.; SANTOS, J. C. dos. Utilização da madeira de eucalipto na produção de chapas de partículas orientadas – OSB. **Cerne**, Lavras, v. 10, n.1, p. 46-52, jan./jun. 2004.

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF. Cap. 4, p.123-160, 2005.

IWAKIRI, S.; MENDES, S. A.; IWAKIRI, S.; CHAVES, M. D.; MORI, F. A.; MENDES, R. F. Utilização de madeiras de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii* para produção de painéis de partículas orientadas – OSB. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 18, n. 2, p. 265-270, abr./jun., 2008.

IWAKIRI, S.; ZELLER, F.; PINTO. J. A.; RAMIREZ, M. G. L.; SOUZA, M. M.; SEIXAS, R. Avaliação do potencial de utilização da madeira de *Schizolobium amazonicum* "Paricá" e *Cecropia*

*hololeuca "Embaúba" para produção de painéis aglomerados.*  
**Acta Amazonica**, v.40, n.2, Manaus, 2010.

IWAKIRI, S. **Painéis de Madeira Aglomerada**. UFPR/DETF, 2014. Disponível em:  
<http://www.madeira.ufpr.br/disciplinassetsuo/setsuo-pma.pdf>.  
Acesso em: 20/02/2014.

JANSSENS, D. P. The increasing recognition of Oriented Strandboard (OSB) as preferred structural panel. In: 1st International Seminar on Solid Wood Products of High Technology. **Anais...** Belo Horizonte - MG, p. 169-172, 1998.

KELLY, M. W. **A critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboards**. U.S. For. Prod. Lab. General Technical Report FPL-10, Madison, 1977. 66p.

KLOCK, U. **Qualidade da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* H. E. Moore**. 2000. 324p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

KLOCK, U.; MUÑIZ, G. I. B. de; HERNANDEZ, J. A.; ANDRADE, A. S. de. **Química da Madeira**. 3<sup>a</sup> Ed. Rev. Curitiba, 2005.

KOCH, P. Utilization of the Southern Pines. Vol. I. The Raw Material. USDA Agric. **Handbook**. n. 420. U.S. Govt. Print. Off. Washington, DC. 1972.

LATORRACA, J. V, de F. **Eucalyptus spp., na produção de painéis de cimento-madeira**. 2000. 208p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) -Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

LIMA, E. A. de; SILVA, H. D. da; LAVORANTI, O. J. Caracterização dendroenergética de árvores de *Eucalyptus benthamii*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31. n. 65, p. 09-17, jan./mar.2011.

LOBÃO, M. S.; CASTRO, V. R. de; RANGEL, A.; SARTO, C.; FILHO, M. T.; JÚNIOR, F. G. da S.; NETO, L. de C.; BERMUDEZ, M. A. R. C. Agrupamento de espécies florestais por análises univariadas e multivariadas das características anatômica, física e química das suas madeiras. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 92, p. 469-477, dez. 2011.

LP Building Products. **LP Brasil: Indústria de Painéis OSB**. 2014 (a). Disponível em: <<http://www.lpbrasil.com.br/>>. Acesso em: 14/01/2014.

LP Building Products. **LP Brasil: Aplicações OSB**. 2014 (b). Disponível em: <<http://www.lpbrasil.com.br/aplicacoes/outros-usos.asp>>. Acesso em: 15/03/2014.

LP Building Products. **LP Brasil: Produtos**. 2014 (c). Disponível em: <<http://www.lpbrasil.com.br/produtos/>>. Acesso em: 15/03/2014.

MACEDO, L. B. de.; ALMEIDA, D. H., FERRO, F. S., CÉSAR, A. A. S., ROCCO LAHR, F. A. Avaliação de painéis OSB de *Eucalyptus sp.* impermeabilizados. In: I Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira e III Simpósio Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira. **Anais de Congresso**, Petrópolis, RJ, p. 416-417, 2013.

MALONEY, T.M. **Modern Particleboard & Dry Process Fiberboard manufacturing.** San Francisco: Miller Freeman Publication, 1977, 672p.

MALONEY, T. M. **Modern particleboard e dry-process fiberboard manufacturing.** 2nd ed. São Francisco: Miller Freeman Publication, 1993. 689p.

MARRA, A.A. **Technology of Wood Bonding: Principles in Practice.** New York: Van Nostrand Reinhold, 453p. 1992.

MARTINS, S. A. **Adequação tecnológica da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage para a produção de painéis colados lateramente (PCL).** 2011. 96p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2011.

MATOS, J. L. M. **Estudos sobre a produção de painéis estruturais de lâminas paralelas de *Pinus taeda* L.** 1997. 117 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1997.

MATTOS, R. L. G.; GONÇALVES, R. M.; CHAGAS, F. B. das. **Painéis de madeira no BRASIL: panorama e perspectivas.** Produtos Florestais. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 27, p. 121-156, mar. 2008.

MELO, J. E.; CORADIN, V. R.; MENDES, J. C. Classes de densidade para madeiras da Amazônia brasileira. In: Congresso Florestal Brasileiro. 6., Campos do Jordão. **Anais...** Campos do Jordão, v. 3, p. 695-705. 1990.

MELO, R. R.; SILVESTRE, R.; OLIVEIRA, T. M.; PEDROSA, T. D. Variação radial e longitudinal da densidade básica da madeira de *Pinus elliottii* ENGELM. com diferentes idades. **Ciência da Madeira** (*Braz. J. Wood Sci.*), Pelotas, v. 04, n. 01, p. 83-92, Mai. 2013.

MENDES, L. M.; IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M. de; KEINERT JR., S.; SALDANHA, L. K. Avaliação do sistema de orientação de partículas na produção de painéis OSB (Oriented Strand Board). **Cerne**, v.6, n.1, p.001-008, 2000.

MENDES, L. M. ***Pinus spp. na produção de painéis de partículas orientadas (OSB)***. 2001. 103p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

MENDES, L. M.; IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M. de; KEINERT JR, S.; SALDANHA, L. K. *Pinus spp. na produção de painéis de partículas orientadas (OSB)*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 135-145. 2002.

MENDES, L. M.; IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M. de; KEINERT JR, S.; SALDANHA, L. K. Efeitos da densidade, composição dos painéis e teor de resina nas propriedades de painéis OSB. **Floresta e Ambiente**, v. 10, n.1, p.01-17, jan./jul. 2003.

MENDES, S. A.; MENDES, L. M.; CHAVES, M. D.; MORI, F. A.; SILVA, J. R. M.; TRUGILHO, P. F. Utilização de resinas alternativas na produção de painéis OSB de clones de *Eucalyptus spp.* **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 3, p. 257-263, jul./set. 2007.

MENDES, R. F.; MENDES, L. M.; BUFALINO, L.; SILVA, A. F. A. Influência do tipo de adesivo e da inclusão laminar nas propriedades físicas de painéis OSB. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE

MADEIRA - XII EBRAMEM, 2010, Lavras-MG. **Anais...** Lavras: IBRAMEM, 2010. p.7-15.

MENDES, R. F. **Efeito do tratamento térmico sobre as propriedades de painéis OSB.** 2010. 115p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, USP, Piracicaba, 2010.

MENDONÇA, L. L. Produção de painéis de madeira com clones de *Eucalyptus urophylla*: estudo de caso para uso na indústria de móveis e construção civil. 2008. 129p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - REDEMAT (UFOP – CETEC – UEMG), 2008.

MENDOZA, L. Notes on *Eucalyptus benthamii* in Argentina. In: COLLOQUES INTERNATIONAL SUR LES EUCALYPTUS RESISTANTS AU FROID, 1983, Bordeaux. **Annales...** Bordeaux: IUFRO, p.480. 1983.

MOSLEMI, A. A. **Particleboard: technology.** London: Southern Illinois University, 1974. v. 2, 245p.

MULLER, B. V. **Caracterização tecnológica da qualidade da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage em sistemas de desdobro primário.** 2013. 115p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

MUÑIZ, G. I. B. **Caracterização e desenvolvimento de modelos para estimar as propriedades e o comportamento na secagem da madeira de *Pinus elliottii* Engelm e *Pinus taeda* L.** 1993. 235p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1993.

MURAKAMI, K.; UEDA, M.; MATSUDA, H.; ZHANG, M.; KAWASAKI, T.; KAWAI, S. Manufacture and properties of three-layered particleboards with oriented face strands of veneers I. **Japan Wood Science**, Tokyo, v. 45, n.5, p. 395-402, 1999.

NISGOSKI, S.; MUNIZ, G. I. B.; KLOCK, U. Caracterização anatômica da madeira de *Eucalyptus benthamii* Mainden et Cambage. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.8, n.1, p. 67-76, 1998.

OKINO, E. Y. A., Propriedades de chapas OSB de *Eucalyptus grandis* e de *Cupressus glauca*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 36, n. 78, p. 123-131, 2008.

OLIVEIRA, J. T. S.; HELLMEISTER, J. C.; FILHO, M. T. Variação do teor de umidade e da densidade básica na madeira de sete espécies de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.29, n.1, p.115-127, 2005.

OLIVEIRA, F. L. de; LIMA, I. L. de; GARCIA, J. N.; FLORSHEIM, S. M. B. Propriedades da madeira de *Pinus taeda* L. em função da idade e da posição radial na tora. **Rev. Inst. Flor.**, São Paulo, v. 18, n. único, p. 59-70, dez. 2006.

PAINEL FLORESTAL, Eucalipto benthamii resiste ao frio no Paraná. Exibida em: 10 de Agosto de 2013. Disponível em: <http://www.painelflorestal.com.br/painel-florestal-tv/eucalipto-benthamii-resiste-ao-frio-no-parana>. Acesso em: 14/02/2014.

PALUDZYSZYN FILHO, E.; SANTOS, P. E. T.; FERREIRA, C. A. Eucaliptos indicados para plantio no Estado do Paraná. (**Documentos, 129**). Colombo: Embrapa Florestas. 114p. 2006.

PEREIRA, J. C. D.; SCHAITZA, E. G.; SHIMIZU, J.  
Características físicas, químicas e rendimentos da destilação  
seca da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage.  
**(Circular Técnica, n. 50).** Colombo: Embrapa Florestas. 4p.  
2001.

PRYOR, L. D. **Australian endangered species: Eucalyptus.**  
Canberra: Commonwealth of Australia, 139p, 1981.

REMADE. Painéis. **Revista da Madeira**, Curitiba – PR, Edição nº  
68, Dez. 2002. Disponível em:  
[http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira\\_materia.php?num=268&subject=Pain%C3%A9is&title=Pain%C3%A9is](http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=268&subject=Pain%C3%A9is&title=Pain%C3%A9is). Acesso  
em: 03/02/2014.

REMADE. OSB opção de mercado. **Revista da Madeira**, Curitiba  
- PR. Edição n. 71, Mai. 2003. Disponível em:  
[http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira\\_materia.php?num=333&subject=OSB&title=OSB - opção no mercado](http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=333&subject=OSB&title=OSB - opção no mercado) . Acesso em:  
03/02/2014.

REMADE. Mercado estimula produtos de madeira com valor  
agregado. **Revista da Madeira**, Curitiba – PR, Edição n. 84, Out.  
2004. Disponível em:  
[http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira\\_materia.php?num=630&subject=Valor%20Agregado&title=Mercado%20estimula%20produtos%20de%20madeira%20com%20valor%20agregado](http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=630&subject=Valor%20Agregado&title=Mercado%20estimula%20produtos%20de%20madeira%20com%20valor%20agregado). Acesso: 03/02/2014.

REMADE, Painel de OSB oferece maior resistência para uso em  
estruturas. **Revista da Madeira**. Curitiba – PR. Edição nº 108.  
Outubro, 2007. Disponível em:  
[http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira\\_materia.php?num=1157&subject=M%C3%B3ltiplos%20Usos&title=Painel%20de%20OSB%20oferece](http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1157&subject=M%C3%B3ltiplos%20Usos&title=Painel%20de%20OSB%20oferece)

maior resistência para uso em estruturas. Acesso em:  
03/02/2014.

REMADE. Painéis: Painéis de madeira MDP e MDF - mercado e competitividade. **Revista da Madeira**. Curitiba – PR. Edição nº 136, Jul. 2013. Disponível em:  
[http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira\\_materia.php?num=1683&subject=Painéis&title=Painéis de Madeira MDP e MDF – Mercado e Competitividade](http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1683&subject=Painéis&title=Painéis%20de%20Madeira%20MDP%20e%20MDF%20-%20Mercado%20e%20Competitividade) Acesso em: 03/02/2014.

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

SALDANHA, L. K. Alternativas tecnológicas para a produção de chapas de partículas orientadas “OSB”. 2004. 97p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

SALDANHA, L. K.; IWAKIRI, S. Influência da densidade e do tipo de resina nas propriedades tecnológicas de painéis OSB de *Pinus taeda* L. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 39, n. 3, p. 571-576, jul./set. 2009.

SBA, Structural Board Association. **OSB Guide: Visual Tour of the OSB Manufacturing Process**. 2014 (a). Disponível em: <<http://osbguide.tecotedested.com/osbtour>>. Acesso em: 20/02/2014.

SBA, Structural Board Association. **Technical Bulletin: Oriented Strand Board and Waferboard**. 2014 (b). Disponível em: <<http://osbguide.tecotedested.com/pdfs/en/tb103.pdf>>. Acesso em: 15/03/2014.

SBA, Structural Board Association. **Technical Bulletin: OSB and the environment.** 2014 (c). Disponível em:  
<http://osbguide.tecotested.com/pdfs/en/tb118.pdf>. Acesso em: 15/03/2014.

SBA, Structural Board Association. **Tableros OSB en la construcción con armazones de madera.** OSB Rendimientos preconcebidos. Canadá, versión em español: 2006.

SEBRAE, Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. **Santa Catarina em Números: Florianópolis/ Sebrae/SC.** Florianópolis: Sebrae/SC, 2010. 113p. Disponível em: <http://www.sebrae-sc.com.br/scemnumero/arquivo/palmeira.pdf> Acesso em: 15/03/2014.

SFB. Serviço Florestal Brasileiro. Brasília. SBF: **Florestas do Brasil em resumo - 2013: dados de 2007-2012.** 188p. 2013.

SHALER, S. M. Comparing two measures of flake alignment. **Wood Science and Technology**, v. 26. p. 53-61, 1991.

SILVA, G. A.; MENDES, L. M.; TRUGILHO, P. F.; MORI, F.A.; SANTOS, I. F. dos SANTOS; PÁDUA, F. A. de. Efeito de algumas variáveis de processamento nas propriedades físicas de painéis de madeira de partículas alongadas. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 1, p. 51-60, 2006.

SILVA, L. D. **Melhoramento genético de *Eucalyptus benthamii Maiden et Cambage visando a produção de madeira serrada em áreas de ocorrência de geadas severas.*** 2008. 275 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

SOBRAL FILHO, M. Influence of wood furnish type on properties of oriented strand panels. **Forest Products Journal**, Madison, v.31, n. 9, p. 43-52. 1981.

SOUZA, A. M. de. **Produção e avaliação do desempenho de painéis de partículas orientadas (OSB) de Pinus sp. com inclusão de telas metálicas**. 2012. 118p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade de São Paulo, SP, 2012.

SOUZA, K. B.; ALMEIDA, K. N. S.; GUIMARÃES JÚNIOR, J. B.; GUIMARÃES NETO, R. M. Comparação das propriedades físicas de painéis aglomerados de Pinus de origem industrial e laboratorial. **Scientia Plena**, v. 8, n. 4, 2012.

SURDI, P. G. **Produção de painéis de partículas orientadas (OSB) a partir da madeira de um híbrido de *Pinus elliottii* var. *elliottii* X *Pinus caribaea* var. *hondurensis***. 2012. 98p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – ESALQ, Piracicaba, 2012.

SUZUKI, S.; TAKEDA, K. Production and properties of Japanese oriented strand board I: effect of strand length and orientation on strength properties of sugi oriented strand board. **Japan Wood Science**, Tokyo, v. 46, p. 289-295. 2000.

SWAIN, T. An overview of the status of cold tolerant eucalypt trials in South Africa. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT EUCALYPTS=CONFERÊNCIA IUFRO SOBRE SILVICULTURA E MELHORAMENTO DE EUCALIPTOS, 1997, Salvador. **Proceedings... Anais...** Colombo: EMBRAPA-CNPF, v. 1, p. 69-76. 1997.

SZABO, T.; GAUDERT, P. C. L.; Fast internal bond test for waferboard. **Forest Production Journal**, Madison, v. 28, p. 388-440, 1978.

TAPPI. TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI T 222 om-98**: Acid - insoluble lignin in wood and pulp. In: TAPPI Standard Method. Atlanta, USA. TAPPI PRESS, Cd-Rom, 2000.

TAPPI. TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **T 413 om-93**. Ash in wood, pulp, paper and paperboard: combustion at 900°C. 1993, 4 p.

THOMAZ, D. T. **Avaliação da madeira e do carvão de *Eucalyptus badjensis* e *Eucalyptus benthamii* para uso energético**. 26 p. 2007. Monografia (Graduação) – PUC, Paraná. 2007.

TRIANOSKI, R. **Avaliação da qualidade da madeira de espécies de pinus tropicais por meio de métodos convencionais e não destrutivos**. 2012. 554p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M. Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Cerne**, Lavras, 1996.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MORI, F. A.; Correlação canônica das características químicas e físicas da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*. **Cerne**, v.9, n.1, p.066-080, 2003.

VIEIRA, M. C.; BRITO, E. O.; GONÇALVES, F. G. Evolução econômica do painel compensado no Brasil e no mundo. **Floresta e Ambiente**, v. 19 (3): p. 277-285, 2012.

VIEIRA, H. C.; KNIESS, D. D. C.; GARCIA, B. M.; CUNHA, A. B. da; RIOS, P. A. Análise química da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage. In: I CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA MADEIRA E III SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA MADEIRA. **Anais de Congresso**, Petrópolis, RJ, p. 388-389, 2013.

VITAL, B.R., LEHMANN; BOONE, R.S. How species and board densities affect properties of exotic hardwood particleboards. **Forest Products journal**, madison, v. 24, n.12, p. 37–45, 1974.

WALKER, J. C. F. **Primary wood processing: principles and practice**. London: Chapman E Hall, 416 p., 1993.

WU, Q.; REN, Y. Characterization of sorption behavior of oriented strandboard under long-term cyclic humidity exposure condition. **Wood and Fiber Science**, Madison, v. 32, n. 4, p. 404-418. 2000.

YONQI, Z.; HUORAN, W.; RONGGUI, Z.; QINGSHENG, M. Trials of *Eucalyptus smithii* and other eucalypt especies in Yunnan province, China. In: BROWN, A.G., ed. Australian tree species research in China: **Proceedings... (ACIAR Proceedings, 48)**. Canberra: ACIAR, p.116-122, 1994.

ZHANG, M.; WONG, E. D.; KAWAI, S.; KNON, J. H. Manufacture and properties of high-performance oriented strand board composite using thin strands. **Japan Wood Science**, Tokyo, n.44, p.191-197. 1998.

ZHOW, D. A study of oriented structural board made from hybrid poplar. Phisical and mechanical properties of OSB. **Holz Als Roh Und Werkstoff**, Berlin, v. 48, n. 7-8, p. 293-296, 1990.

## 7. ANEXOS

### ANEXO 1 – ANOVA PARA TRATAMENTOS

Variável analisada: DEENSIDADE

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	9	0.016548	0.001839	0.607	0.7847ns
erro	50	0.151350	0.003027		

Total corrigido 59 0.167898

CV (%) = 8.57

Média geral: 0.6418333 Número de observações: 60

Variável analisada: RC\_EFETIVA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	9	0.584833	0.064981	4.326	0.0003*
erro	50	0.751067	0.015021		

Total corrigido 59 1.335900

CV (%) = 8.91

Média geral: 1.3750000 Número de observações: 60

Variável analisada: TU

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	9	18.501015	2.055668	42.047	0.0000*
erro	50	2.444483	0.048890		

Total corrigido 59 20.945498

CV (%) = 2.20

Média geral: 10.0418333 Número de observações: 60

Variável analisada: ESPESSURA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	9	5.784107	0.642679	11.597	0.0000*
erro	50	2.770867	0.055417		

Total corrigido 59 8.554973

CV (%) = 1.36

Média geral: 17.3006667 Número de observações: 60

Variável analisada: INCHAMENTO 2H

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	9	1305.788873	145.087653	10.927	0.0000*
erro	50	663.918900	13.278378		

Total corrigido 59 1969.707773

CV (%) = 23.57

Média geral: 15.4606667 Número de observações: 60

Variável analisada: INCHAMENTO 24H

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	9	1127.883368	125.320374	9.391	0.0000*
erro	50	667.229917	13.344598		

Total corrigido 59 1795.113285

CV (%) = 10.68

Média geral: 34.1945000 Número de observações: 60

Variável analisada: ABSORÇÃO 2H

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	9				
erro	50				

TRATAMENTO	9	11782.917427	1309.213047	14.572	0.0000*
erro	50	4492.372467	89.847449		
<hr/>					
Total corrigido	59	16275.289893			
CV (%) =	26.24				
Média geral:	36.1186667	Número de observações:	60		
<hr/>					
Variável analisada: ABSORÇÃO 24H					
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	9	8154.128882	906.014320	18.987	0.0000*
erro	50	2385.922817	47.718456		
<hr/>					
Total corrigido	59	10540.051698			
CV (%) =	9.09				
Média geral:	75.9951667	Número de observações:	60		
<hr/>					
Variável analisada: TNRE					
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	9	993.080473	110.342275	7.124	0.0000*
erro	50	774.464600	15.489292		
<hr/>					
Total corrigido	59	1767.545073			
CV (%) =	12.75				
Média geral:	30.8743333	Número de observações:	60		
<hr/>					
Variável analisada: MOR_PARALELO					
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	9	4839.905975	537.767331	5.197	0.0001*
erro	50	5173.777351	103.475547		
<hr/>					
Total corrigido	59	10013.683326			
CV (%) =	27.46				
Média geral:	37.0393750	Número de observações:	60		
<hr/>					
Variável analisada: MOR_PERPENDICULAR					
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	9	5976.251545	664.027949	10.582	0.0000*
erro	50	3137.662107	62.753242		
<hr/>					
Total corrigido	59	9113.913652			
CV (%) =	28.45				
Média geral:	27.8412400	Número de observações:	60		
<hr/>					
Variável analisada: MOE_PARALELO					
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	9	97766341.852538	10862926.872504	9.048	0.0000*
erro	50	60027293.849113	1200545.876982		
<hr/>					
Total corrigido	59	157793635.701651			
CV (%) =	20.97				
Média geral:	5224.2677933	Número de observações:	60		
<hr/>					
Variável analisada: MOE_PERPENDICULAR					
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	9	20286705.460989	2254078.384554	8.360	0.0000*
erro	50	13482008.448198	269640.168964		
<hr/>					
Total corrigido	59	33768713.909187			
CV (%) =	25.76				
Média geral:	2015.8102800	Número de observações:	60		
<hr/>					
Variável analisada: LI					
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc

TRATAMENTO	9	0.300040	0.033338	7.135	0.0000*
erro	50	0.233633	0.004673		
<hr/>					
Total corrigido	59	0.533673			
CV (%) =	12.11				
Média geral:	0.5643333	Número de observações:	60		
<hr/>					

## ANEXO 2 – ANOVA PARA PROPORÇÕES

Variável analisada: DENSIDADE

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
<hr/>					
TRATAMENTO	1	0.001215	0.001215	0.423	0.5181ns
erro	58	0.166683	0.002874		
<hr/>					
Total corrigido	59	0.167898			
CV (%) =	8.35				
Média geral:	0.6418333	Número de observações:	60		
<hr/>					

Variável analisada: RC\_EFETIVA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
<hr/>					
TRATAMENTO	1	0.005607	0.005607	0.244	0.6229ns
erro	58	1.330293	0.022936		
<hr/>					
Total corrigido	59	1.335900			
CV (%) =	11.01				
Média geral:	1.3750000	Número de observações:	60		
<hr/>					

Variável analisada: TU

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
<hr/>					
TRATAMENTO	1	0.000042	0.000042	0.000	0.9915ns
erro	58	20.945457	0.361129		
<hr/>					
Total corrigido	59	20.945498			
CV (%) =	5.98				
Média geral:	10.0418333	Número de observações:	60		
<hr/>					

Variável analisada: ESPESSURA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
<hr/>					
TRATAMENTO	1	0.037500	0.037500	0.255	0.6152ns
erro	58	8.517473	0.146853		
<hr/>					
Total corrigido	59	8.554973			
CV (%) =	2.22				
Média geral:	17.3006667	Número de observações:	60		
<hr/>					

Variável analisada: INCHAMENTO 2H

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
<hr/>					
TRATAMENTO	1	67.077227	67.077227	2.045	0.1581ns
erro	58	1902.630547	32.803975		
<hr/>					
Total corrigido	59	1969.707773			
CV (%) =	37.05				
Média geral:	15.4606667	Número de observações:	60		
<hr/>					

Variável analisada: INCHAMENTO 24H

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
<hr/>					
TRATAMENTO	1	288.686535	288.686535	11.115	0.0015*
erro	58	1506.426750	25.972875		
<hr/>					
Total corrigido	59	1795.113285			
<hr/>					

CV (%) = 14.90  
Média geral: 34.1945000 Número de observações: 60

Variável analisada: ABSORÇÃO 2H

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	1	12.421500	12.421500	0.044	0.8340ns
erro	58	16262.868393	280.394283		
Total corrigido	59	16275.289893			

CV (%) = 46.36  
Média geral: 36.1186667 Número de observações: 60

Variável analisada: ABSORÇÃO 24H

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	1	18.073082	18.073082	0.100	0.7534ns
erro	58	10521.978617	181.413424		
Total corrigido	59	10540.051698			

CV (%) = 17.72  
Média geral: 75.9951667 Número de observações: 60

Variável analisada: TNRE

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	1	146.765760	146.765760	5.252	0.0256*
erro	58	1620.779313	27.944471		
Total corrigido	59	1767.545073			

CV (%) = 17.12  
Média geral: 30.8743333 Número de observações: 60

Variável analisada: MOR\_PARALELO

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	1	715.596282	715.596282	4.464	0.0389*
erro	58	9298.087045	160.311846		
Total corrigido	59	10013.683326			

CV (%) = 34.18  
Média geral: 37.0393750 Número de observações: 60

Variável analisada: MOR\_PERPENDICULAR

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	1	606.342115	606.342115	4.134	0.0466ns
erro	58	8507.571537	146.682268		
Total corrigido	59	9113.913652			

CV (%) = 43.50  
Média geral: 27.8412400 Número de observações: 60

Variável analisada: MOE\_PARALELO

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	1	3525319.191920	3525319.191920	1.325	0.2543ns
erro	58	154268316.509730	2659798.560513		
Total corrigido	59	157793635.701651			

CV (%) = 31.22  
Média geral: 5224.2677933 Número de observações: 60

Variável analisada: MOE\_PERPENDICULAR

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	1	10407922.669084	10407922.669084	25.841	0.0000*
erro	58	23360791.240103	402772.262760		

Total corrigido 59 33768713.909187  
 -----  
 CV (%) = 31.48  
 Média geral: 2015.8102800 Número de observações: 60  
 -----  
 Variável analisada: LI  
 -----  

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	1	0.000060	0.000060	0.007	0.9359ns
erro	58	0.533613	0.009200		
Total corrigido	59	0.533673			

 -----  
 CV (%) = 17.00  
 Média geral: 0.5643333 Número de observações: 60  
 -----

### ANEXO 3 – ANOVA PARA ESPÉCIES

Variável analisada: DENSIDADE  
 -----  

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	4	0.013557	0.003389	1.208	0.3180ns
erro	55	0.154342	0.002806		
Total corrigido	59	0.167898			

 -----  
 CV (%) = 8.25  
 Média geral: 0.6418333 Número de observações: 60  
 -----  
 Variável analisada: RC\_EFETIVA  
 -----  

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	4	0.514833	0.128708	8.622	0.0000*
erro	55	0.821067	0.014928		
Total corrigido	59	1.335900			

 -----  
 CV (%) = 8.89  
 Média geral: 1.3750000 Número de observações: 60  
 -----  
 Variável analisada: TU  
 -----  

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	4	13.502107	3.375527	24.942	0.0000*
erro	55	7.443392	0.135334		
Total corrigido	59	20.945498			

 -----  
 CV (%) = 3.66  
 Média geral: 10.0418333 Número de observações: 60  
 -----  
 Variável analisada: ESPESSURA  
 -----  

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	4	3.997723	0.999431	12.062	0.0000*
erro	55	4.557250	0.082859		
Total corrigido	59	8.554973			

 -----  
 CV (%) = 1.66  
 Média geral: 17.3006667 Número de observações: 60  
 -----  
 Variável analisada: INCHAMENTO 2H  
 -----  

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	4	1153.394823	288.348706	19.428	0.0000*
erro	55	816.312950	14.842054		
Total corrigido	59	1969.707773			

 -----  
 CV (%) = 24.92  
 Média geral: 15.4606667 Número de observações: 60  
 -----  
 Variável analisada: INCHAMENTO 24H  
 -----

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	4	561.866010	140.466503	6.264	0.0003*
erro	55	1233.247275	22.422678		
Total corrigido	59	1795.113285			
CV (%) =	13.85				
Média geral:	34.1945000	Número de observações:	60		

Variável analisada: ABSORÇÃO 2H

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	4	9960.961260	2490.240315	21.691	0.0000*
erro	55	6314.328633	114.805975		
Total corrigido	59	16275.289893			
CV (%) =	29.67				
Média geral:	36.1186667	Número de observações:	60		

Variável analisada: ABSORÇÃO 24H

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	4	7437.574707	1859.393677	32.963	0.0000*
erro	55	3102.476992	56.408673		
Total corrigido	59	10540.051698			
CV (%) =	9.88				
Média geral:	75.9951667	Número de observações:	60		

Variável analisada: TNRE

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	4	536.387407	134.096852	5.991	0.0004*
erro	55	1231.157667	22.384685		
Total corrigido	59	1767.545073			
CV (%) =	15.32				
Média geral:	30.8743333	Número de observações:	60		

Variável analisada: MOR PARALELO

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	4	2594.377837	648.594459	4.808	0.0021*
erro	55	7419.305489	134.896463		
Total corrigido	59	10013.683326			
CV (%) =	31.36				
Média geral:	37.0393750	Número de observações:	60		

Variável analisada: MOR PERPENDICULAR

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	4	3523.606299	880.901575	8.667	0.0000*
erro	55	5590.307353	101.641952		
Total corrigido	59	9113.913652			
CV (%) =	36.21				
Média geral:	27.8412400	Número de observações:	60		

Variável analisada: MOE PARALELO

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	4	75229031.512099	18807257.878025	12.528	0.0000*
erro	55	82564604.189552	1501174.621628		
Total corrigido	59	157793635.701651			
CV (%) =	23.45				
Média geral:	5224.2677933	Número de observações:	60		

Variável analisada: MOE PERPENDICULAR

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	4	4367033.082685	1091758.270671	2.042	0.1011ns
erro	55	29401680.826502	534576.015027		

Total corrigido 59 33768713.909187

CV (%) = 36.27

Média geral: 2015.8102800 Número de observações: 60

Variável analisada: LI

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	4	0.264573	0.066143	13.519	0.0000*
erro	55	0.269100	0.004893		

Total corrigido 59 0.533673

CV (%) = 12.39

Média geral: 0.5643333 Número de observações: 60

## ANEXO 4 - ESPECIFICAÇÕES DE PRODUTOS LP

Produto	Espessura (mm)	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	Tração N/mm <sup>2</sup>	Inchaamento máximo (24h)	Umidade	Flexão (mínimo) Nm/mm <sup>2</sup>	Módulo de Elasticidade (mínimo) N/mm <sup>2</sup>	
							Longit	Transv
HOME (norma PS2-04)	9,5	650		Média 25% máximo 35%	-			
	11,1	650						
	15	600	0,21		Média 20% Máximo 30%			
	18	600						
INDU	6 a 10	650				22	11	
PLACK	10 a 18	600				20	10	
PLUS/	18	600				18	9	
PACK	18 a 25	580	0,21	25%	2 a 12%	18	9	3500 1400
PLAC	25 a 32	580				16	8	
(norma EN 300)	32 a 40	580				14	7	
ECO	6 a 10					30	16	4800 1900
FORM, TOP	10 a 18	680	0,21	10%	2 a 12%	28	15	
	> 18					26	14	
FORM 2- C, OSB PALLET (norma EN 300)								
LP	6 a 10	650		-		22	11	3500 1400
TAPUME	10 a 18	600	0,21		2 a 12%	20	10	
(norma EN 300)	18 a 25	600				18	9	

Fonte: Lp (2014c)