



**POTENCIAL DA MADEIRA DE CEDRO  
AUSTRALIANO (*Toona ciliata* M. Roem var.  
*australis*) NA MANUFATURA DE PRODUTOS  
DE MAIOR VALOR AGREGADO**

**VÂNIA APARECIDA DE SÁ**

**2009**

**VÂNIA APARECIDA DE SÁ**

**POTENCIAL DA MADEIRA DE CEDRO  
AUSTRALIANO (*Toona ciliata* M. Roem var. *australis*) NA  
MANUFATURA DE PRODUTOS DE MAIOR VALOR  
AGREGADO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, área de concentração em Processamento e Utilização da Madeira, para obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof. Dr. Lourival Marin Mendes

LAVRAS  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2009

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca Central da UFLA**

Sá, Vânia Aparecida de.

Potencial da madeira de cedro australiano (*Toona ciliata* M.  
Roem *var. australis*) na manufatura de produtos de maior valor  
agregado / Vânia Aparecida de Sá. – Lavras : UFLA, 2009.  
82 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2009.

Orientador: Lourival Marin Mendes.

Bibliografia.

1. Particulados. 2. Painéis estruturais. 3. Laminados. I.  
Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 674.835

**VÂNIA APARECIDA DE SÁ**

**POTENCIAL DA MADEIRA DE CEDRO  
AUSTRALIANO (*Toona ciliata* M. Roem var. *australis*) NA  
MANUFATURA DE PRODUTOS DE MAIOR VALOR  
AGREGADO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, área de concentração em Processamento e Utilização da Madeira, para obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 30 de Outubro de 2009

Prof. Dr. Paulo Fernando Trugilho UFLA

Prof. Dr. Fábio Akira Mori UFLA

Profa. Dra. Ana Márcia M. Ladeira Carvalho UFV

Prof. Dr. Lourival Marin Mendes  
UFLA  
(Orientador)

LAVRAS  
MINAS GERAIS - BRASIL

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, primeiramente, a Deus, por nunca me ter faltado nos momentos de dificuldades.

À minha mãe, aos meus irmãos e às minhas amigas, Graziela, Maxmiliane, Fernanda, Josyele, Rutyele e Lina, por terem apostado e acreditado nos meus objetivos.

Ao meu namorado, Allan, pelos momentos de companheirismo e paciência.

À Universidade Federal de Lavras, em especial ao Departamento de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela concessão de bolsa.

Ao professor Lourival Marin Mendes, pelas oportunidades concedidas e pela orientação.

A todos os professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira.

A todos aqueles que, de maneira direta ou indireta, contribuíram para a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
RESUMO .....	i
ABSTRAT .....	ii
1 INTRODUÇÃO .....	1
2 OBJETIVO .....	3
3 REFERENCIAL TEÓRICO .....	4
3.1 Cedro Vermelho Australiano .....	4
3.1.1 Descrição .....	4
3.1.2 Ambiente .....	5
3.1.2 Características Gerais e Utilização .....	6
3.2 Compostos de Madeira .....	8
3.2.1 Painéis Compensados Multilaminados .....	9
3.2.1.1 Definição e Aplicações .....	9
3.2.1.2 Aspectos Gerais .....	10
3.2.1.3 Produção e Mercado .....	11
3.2.1.4 Fatores que Afetam o Processo de Laminação e as Propriedades dos Compensados .....	12
3.2.2 Painéis de Partículas Orientadas (OSB - Oriented Strand Board) ....	14
3.2.2.1 Definição .....	14
3.2.2.2 Aspectos Gerais .....	15
3.2.3 Chapa de Madeira Aglomerada .....	16
3.2.3.1 Definição .....	18
3.2.3.2 Aspectos Gerais .....	17
3.2.4 Painéis Cimento - Madeira .....	17
3.2.4.1 Aspectos Gerais .....	17
3.2.4.2 Composição .....	19
3.2.4.4 Aplicações.....	22
3.2.5 Fatores que Afetam as Propriedades dos Painéis Particulados.....	23
3.2.5.1 Fatores Inerentes a Matéria-Prima .....	23
3.2.5.2 Fatores Inerentes ao Processo .....	25

4 MATERIAL E MÉTODOS .....	29
4.1 Material de Estudo .....	29
4.1.1 Amostragem do Cedro Australiano aos 4 anos de Idade.....	29
4.1.2 Amostragem do Cedro Australiano aos 18 anos de Idade.....	30
4.2 Laminação .....	30
4.3 Obtenção das Partículas de Madeira .....	31
4.3.1 Material de 4 anos .....	31
4.3.2 Material de 18 anos .....	32
4.3.2.1 Análise Química da Madeira .....	32
4.4 Confeção dos Painéis .....	33
4.4.1 Painéis Compensados Mutilaminados .....	33
4.4.2 Painéis OSB (Oriented Strand Board) .....	34
4.4.3 Painéis Aglomerados Convencionais .....	37
4.4.4 Painéis de Cimento-Madeira .....	39
4.5 Análises Estatísticas.....	41
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	42
5.1 Caracterização da Madeira de Cedro Australiano.....	42
5.2 Painéis Compensados .....	43
5.2.1 Propriedades Físicas dos Painéis Compensados.....	43
5.2.2 Propriedades Mecânicas .....	45
5.2.2.1 Flexão Estática .....	45
5.2.2.2 Resistência ao Cisalhamento .....	48
5.3 Propriedade dos Painéis OSB .....	49
5.3.1 Propriedades Físicas .....	49
5.3.1.1 Densidade e Razão de Compactação .....	49
5.3.1.2 Absorção de Água e Inchamento em Espessura após 2 e 24 horas de Imersão .....	50
5.3.2 Propriedades Mecânicas .....	52
5.3.2.1 Flexão Estática .....	52
5.3.2.2 Compressão Paralela e Ligação Interna .....	53
5.4 Painéis Aglomerados .....	54
5.4.1 Propriedades Físicas .....	54
5.4.1.1 Densidade Aparente e Razão de Compactação.....	54

5.4.1.2 Absorção de Água e Inchamento e Espessura Após 2 e 24 horas de Imersão .....	55
5.4.2 Propriedades Mecânicas .....	58
5.5 Painéis Cimento-Madeira .....	60
5.5.1 Propriedades Físicas .....	60
5.5.1.1 Densidade Aparente.....	60
5.5.1.2 Absorção de Água e Inchamento em Espessura Após 2 e 24 Horas de Imersão .....	61
5.5.1 Propriedades Mecânicas .....	64
6 CONCLUSÕES .....	68
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	70
8 ANEXOS .....	80



## RESUMO

SÁ, Vânia Aparecida. **Potencial da madeira de Cedro Australiano (*Toona ciliata* M. Roem var. *australis*) na manufatura de produtos de maior valor agregado.** 2009. 82 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG<sup>1</sup>.

O objetivo do presente trabalho foi o de estudar o potencial da madeira de Cedro Australiano (*Toona ciliata* M. Roem. var. *australis*), aos 4 anos e aos 18 anos de idade, provenientes de quatro localidades, a saber: Campo Belo, Cana Verde, Santo Antônio do Amparo e Marechal Floriano na manufatura dos painéis compensados, OSB, aglomerados e cimento-madeira. Foram confeccionados compensados de 5 lâminas, colados pelo adesivo fenol-formaldeído, com gramatura de 320 g/cm<sup>2</sup> e prensagem de 8 Kgf/cm<sup>2</sup>, 150 °C de temperatura durante 10 minutos. Os OSB foram confeccionados com densidade nominal de 0,65 g/cm<sup>3</sup>, com teor de 9% de adesivo fenol-formaldeído e prensados em prensa hidráulica a 40 Kgf/cm<sup>2</sup>, a 180 °C de temperatura durante 8 minutos. Os aglomerados de densidade nominal de 0,70 g/cm<sup>3</sup> foram confeccionados com o adesivo ureia-formaldeído a 9% e prensados em prensa hidráulica a 40 Kgf/cm<sup>2</sup>, a 160 °C de temperatura durante 8 minutos. Foi aplicada emulsão de parafina a 1,5% nos painéis OSB e aglomerados. Os painéis cimento-madeira foram confeccionados com densidade nominal de 1,10 g/cm<sup>3</sup> e prensagem de 40 kgf/cm<sup>2</sup> a temperatura ambiente durante 10 minutos. Os resultados das propriedades físico-mecânicas dos painéis foram submetidos à análise de variância a 5% de significância e as médias foram submetidas ao teste de comparação múltipla. Sobre os compensados, a densidade da madeira, a idade e o teor de extrativos tiveram grande influência sobre as propriedades físico-mecânicas dos mesmos. Portanto, a utilização da madeira de Cedro Australiano, seja madeira juvenil ou adulta, não seria viável para produção de painéis compensados estruturais. A madeira de Cedro Australiano aos 4 anos de idade não seria viável para a produção de painéis OSB por terem apresentados, para a maioria das propriedades, valores abaixo da norma. Os resultados indicaram que a madeira de Cedro Australiano (*Toona ciliata*) pode ser utilizada como fonte de matéria-prima alternativa para confecção dos painéis aglomerados e cimento-madeira, independentemente da localidade e da idade.

**Palavras-chaves:** Particulados, painéis estruturais, laminados

---

<sup>1</sup> Comitê Orientador: Lourival Marin Mendes (Orientador) – UFLA, Fábio Akira Mori – UFLA e Setsuo Iwakiri - UFPR

## ABSTRACT

SÁ, Vânia Aparecida. **Potential of Australian Cedar wood (*Toona ciliata* M. Roem var. *australis*) for the manufacturing of greater added value products.** 2009. 82 p. Dissertation (Mastering in Wood Science and Technology) – Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG<sup>2</sup>.

The objective of this work was to study the potential of 4 and 18 years old wood of Australian Cedar (*Toona ciliata*) for the production of plywood, OSB, particleboard and cement-wood panels. The woods from four different places were compared: Campo Belo, Cana Verde, Santo Antônio do Amparo and Marechal Floriano. Plywood panels containing 5 veneers were produced using phenol-formaldehyde adhesive with 320 g/cm<sup>2</sup> glue amount and pressure of 8 Kgf/cm<sup>2</sup>, temperature of 150°C during 10 minutes. The OSB panels were produced using nominal density of 0,65 g/cm<sup>3</sup>, phenol formaldehyde at 9% and pressed in a hydraulic press at 40 Kgf/cm<sup>2</sup>, temperature of 180°C during 8 minutes. The particleboards of nominal density of 0,70 g/cm<sup>3</sup> were manufactured with urea-formaldehyde adhesive at 9% and pressed in a hydraulic press at 40 Kgf/cm<sup>2</sup>, temperature of 160°C during 8 minutes. It was applied paraffin at 1,5% in OSB panels and particleboards. The cement-wood panels were manufactured using nominal density of 1,1 g/cm<sup>3</sup> and pressure of 40 Kgf/cm<sup>2</sup> at room temperature during 10 minutes. The results of the physical-mechanical properties of the panels were submitted to the variance analysis at 5% of significance and the means were submitted to the multiple comparison test. About the plywoods, the wood density, age and extractive content presented great influence on their physical-mechanical properties. Therefore, the use of Australian Cedar wood, both juvenile and adult ones, would not be feasible for the structural plywood panels production. The 4 years old Australian Cedar wood would not be feasible for the OSB panels productions since they presented values bellow the ones established by norm. The results indicated that the Australian Cedar wood (*Toona ciliata*) may be used as an alternative raw material for the production of particleboards and cement-wood panels, regardless of location and age.

**Key-words:** Particleboards, structural panels, laminated panel

---

<sup>2</sup> Guidance Committee: Lourival Marin Mendes (Adviser) – UFLA, Fábio Akira Mori – UFLA and Setsuo Iwakiri - UFPR

## 1 INTRODUÇÃO

O setor florestal brasileiro é considerado de grande importância para a economia do país por apresentar significativa participação no Produto Interno Bruto Nacional, representado por 3,5 % do PIB, ou seja, US\$37,3 bilhões (Sociedade Brasileira de Silvicultura - SBS, 2007). Essa importância é impulsionada pela crescente demanda por produtos madeireiros e pela vasta riqueza em recursos florestais representada pelas espécies nativas bem como pelo cultivo florestal intensivo de espécies exóticas.

O setor florestal compreende, genericamente, os segmentos de madeira em tora, madeira serrada, laminados, painéis de madeira, pasta celulósica dentre outros. A partir desses insumos formam-se várias cadeias produtivas, destacando-se que, no caso dos setores moveleiro e construção civil, os produtos de madeira serrada e os diversos painéis de madeira são bens substitutos entre si.

A fabricação de produtos reconstituídos a base de materiais lignocelulósicos, além de permitir melhor aproveitamento da madeira, apresenta certas vantagens em relação a outros materiais por serem renováveis, recicláveis e biodegradáveis (Eleotério, 2000). Além do mais, na confecção de painéis, pode-se agregar valor a materiais de baixa aceitação como madeiras de desbastes e resíduos de processamento madeireiro. Também há possibilidade de eliminar muitos defeitos provenientes da constituição anatômica da árvore, conferindo ao produto final maior homogeneidade quando comparado com a madeira serrada.

Dentre as indústrias produtoras de painéis de madeira no mundo, 50% utilizam apenas madeira de coníferas. No Brasil o *Pinus* é o gênero mais utilizado no processamento de madeira, seguido do gênero *Eucalyptus*. Entre estes processos citam-se o desdobro, laminação, produção de painéis reconstituídos (compensado, aglomerado, MDF e OSB) dentre outros.

No entanto, o aumento da demanda por produtos de madeira gera preocupações quanto ao abastecimento futuro, logo as indústrias do setor florestal brasileiro têm procurado por espécies alternativas que possam suprir a carência de matérias-primas comumente utilizadas pelo setor. O Cedro Australiano (*Toona ciliata* M. Roem. var *australis*) surge como uma nova e promissora espécie de reflorestamento potencial para o abastecimento industrial madeireiro. No Brasil, encontrou condições favoráveis para o seu desenvolvimento vegetativo, onde tem apresentado altas taxas de crescimento, podendo ser estimado um incremento médio anual de 20 a 30 m<sup>3</sup>/ha/ano. Atualmente vem sendo plantada principalmente na região sudeste e na Bahia, (Murakami, 2008).

Pertencente à importante família *Meliaceae*, apresentam características semelhantes ao mogno (*Swietenia macrophylla*) e ao Cedro (*Cedrella odorata*) e são indicadas principalmente na fabricação de móveis finos e acabamentos em construção civil. A madeira destinada a estes fins passam por processamentos mecânicos com geração de grandes quantidades de resíduos, como aparas, costaneiras, serragem e outros

Outro aspecto a ser considerado é o destino da madeira oriunda de desbastes pré-comerciais, que são necessários aos 4 anos e aos 8 anos em plantios desta espécie, que devido a pequenas dimensões, são inviáveis ao processamento primário.

Diante desta situação, o desenvolvimento de tecnologias para produção de laminados e particulados a partir da laminação e aproveitamento de resíduos da madeira *Toona ciliata*, permite disponibilizar novos produtos utilizando a madeira de uma nova e promissora espécie de rápido crescimento e de grande valor decorativo, fatores essenciais para a manufatura de produtos de maior valor agregado com baixo custo.

## 2 OBJETIVOS

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a viabilidade técnica de utilização da madeira de Cedro Australiano (*Toona ciliata* var *australis*) cultivadas em 4 locais distintos aos 4 anos e aos 18 anos de idade como matéria-prima para produção dos seguintes tipos de painéis laminados e particulados de madeira:

- Painéis de madeira compensada;
- Painéis de madeira aglomerada;
- Painéis OSB (Oriented Strand Board)
- Painéis de cimento-madeira.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1. Cedro Vermelho Australiano

##### 3.1.1. Descrição

Assim como o mogno brasileiro (*Swietenia macrophylla*) e os cedros nativos (*Cedrela odorata* e *Cedrela fissilis*), o Cedro Vermelho Australiano (*Toona ciliata* M. Roem. var. *australis* (F. Muell.) Bahadur) é uma valiosa espécie produtora de madeira pertencente a família Meliaceae. Esta espécie é conhecida por Toona, red cedar, australian cedar, australian toon. Possui ainda outros nomes botânicos, a saber: *Cedrela australis*, *Cedrela Toona* Roxb. var. *australis*. (Sánchez et al., 1976). No Brasil, é conhecido como Toona, Cedro Australiano e Cedrão (Pinheiro et al., 2006).

Esta espécie encontra-se amplamente difundida entre os paralelos 15 e 25° N situados na Índia, Bangladesh, Birmânia, Tailândia, China Meridional, Indonésia, Malásia e Filipinas (Lamprecht, 1990). A variedade australiana é encontrada naturalmente no leste da Austrália, desde Ulladulla, ao sul de Sidney, no Estado de New South Wales, até Atherton, no norte do Estado de Queensland (Grijpma & Ramalho, 1969 citado por Pinheiro et al., 2006).

O cedro vermelho australiano foi descoberto por volta de 1790 ao longo dos rios Nepeane e Hakesburry pela frota do capitão James Cook em sua exploração a Austrália e Nova Zelândia. A exploração se iniciou devido ao reconhecimento do grande potencial do uso da madeira em construção de embarcações pelos ingleses. À medida que a população em torno de Sydney aumentou, também aumentaram as necessidades por moradia, construção e móveis; aumentando assim a demanda e exploração do Cedro Vermelho Australiano. Já pelo início do século 20, o cedro vermelho havia sido explorado à extinção econômica na maior parte de sua presença nativa, e os serviços

florestais da época, em Queensland e New South Wales, programaram iniciativas para restabelecer a espécie em escala comercial. Entretanto, obtiveram insucesso devido ao ataque da mariposa de ponta (*Hypsipyla robusta*) (Bygrave & Bygrave, 2005).

Apresenta-se de grande porte, podendo alcançar cerca de 50 m de altura, atingindo um DAP de 1,5 m ou mais. A copa é umbeliforme e ampla (Lamprecht, 1990). O tronco é retilíneo, às vezes bifurcado, exibindo sapopemas baixas, assimétricas e pouco desenvolvido. Visualmente tem casca grossa, dura, com deiscência em placas retangulares e escamiformes, de coloração marrom-acinzentado (Pinheiro et al., 2006).

As folhas são alternas, paripenadas, com 25-45 de comprimento cm, folíolos ovais e lanceolados, opostos a subopostos e raramente alternos, com 7,5 a 20 cm de comprimento. Flores brancas, reunidas em panículas terminais pendentes, com pedúnculo levemente ciliado, actinomorfas, unissexuais, heteroclamídeas, pentâmeras, apresentando 3-4 mm de comprimento. Sementes com asas membranosas em cada extremidade, coloração marrom claro. Flores e frutas aparecem a partir de março a agosto (Lamprecht, 1990; Pinheiro et al., 2006; Malairajan et al., 2007).

### **3.1.2 Ambiente**

A *Toona ciliata* M. Roem. var. *australis* é uma espécie de rápido crescimento, se desenvolve em áreas com precipitação anual entre 800 e 1.800 mm com 2 a 6 meses de seca e apresentam bom crescimento em localidades de 100 a 1.500 m de altitude (Murakami, 2008). A temperatura ideal fica em torno de 20 a 26 °C, porém suportam temperaturas mínimas absolutas pouco abaixo de 0°C. São toleráveis a geadas leves e de curta duração (Lamprecht, 1990).

A espécie prefere solos bem drenados, profundos e eutróficos, não suporta solos argilosos compactados, bem como solos pobres arenosos. Tem

preferência por solos calcários. Necessita basicamente de radiação solar, água e elementos minerais. Os nutrientes no solo se concentram no horizonte superficial, onde o sistema radicular secundário do cedro está presente. (Lamprecht, 1990; Pinheiro et al., 2006).

No Brasil, na localidade da Zona da Mata mineira, essa espécie tem-se desenvolvido muito bem em solos mais planos e também em solos com declividade acentuada, sobretudo quando plantada em consórcio com o café e em alguns sistemas agroflorestais com leguminosas arbóreas. É uma espécie que tolera leve sombreamento na fase juvenil. Por isso, possui alta taxa de regeneração natural, mesmo onde foi introduzida como uma espécie exótica. É conhecida, atualmente, como uma espécie pantropical, ou seja, cultivada em todos os trópicos (Pinheiro et al., 2006).

Contudo, *Toona ciliata* M. Roem. var. *australis* introduzido no Brasil apresenta excelente taxa de crescimento, madeira de boa qualidade e alta resistência ao ataque da mariposa de ponta (*Hypsipyla grandella*), importante praga que afeta os cedros nativos e o mogno brasileiro (Bygrave & Bygrave, 2005; Pinheiro et al., 2006).

### **3.1.3 Características Gerais e Utilização**

Sua madeira apresenta uma cor marrom-avermelhada, com figuras decorativas atraentes, tem uma durabilidade mediana, é de fácil desdobro e armazenagem. Exala um cheiro agradável, percebido logo após o processamento. Embora relativamente macia e de textura grossa, é facilmente trabalhada (Lamprecht, 1990). A retração radial é de aproximadamente 2%, e a tangencial é de 4% (Bygrave & Bygrave, 2005). Pereyra et al. (2006), estudando as propriedades físico-mecânicas de quatro espécies florestais encontraram valor médio de densidade básica de 0,337 g/cm<sup>3</sup> para *Toona ciliata*. Para contrações



tangencial e radial, os autores encontraram valores superiores a 7% e 4%, respectivamente, resultando em um coeficiente de anisotropia de 1.9.

Gonçalves & Oliveira (2006) ao avaliarem a resistência ao ataque do cupim-de-madeira seca (*Cryptotermes brevis*) da *Toona ciliata* e de mais 5 espécies florestais, concluíram que o cupim não chegou a causar danos acentuados ao Cedro Australiano, sofrendo desgaste na faixa do superficial ao moderado.

*Toona ciliata* M. Roem. var. *australis* possui madeira similar à madeira do cedro da América do Sul e cedro Brasileiro (*Cedrela odorata* e *Cedrela fissilis*). É amplamente utilizada na indústria de contraplacados, compensados e móveis. Empregado nas obras de entalhe e esculturas, em portas, janelas e especialmente na fabricação de portas grandes de garagens e de porteiros de pastagens e fazendas por tornarem-se extremamente leves. É empregada ainda na construção naval e aeronáutica, na produção de caixas para charutos e na confecção de instrumentos musicais (Pinheiro et al., 2006).

Essa espécie apresenta ainda outros usos adicionais, pois são utilizadas em arborização de parques, jardins e avenidas. Além disso, outras partes da árvore são utilizadas. Na Malásia e na China as folhas são usadas em saladas. Na Índia as folhas são utilizadas como alimento animal e as flores são empregadas na produção de corantes (Bygrave & Bygrave, 2005).

Há ainda uma forte tendência de sua utilização em produtos farmacológicos. Suas flores são usadas para regulação do ciclo menstrual; sua casca é um poderoso adstringente, sendo utilizada como analgésico, antitérmico, no tratamento de disenterias, é um agente expectorante e funciona como afrodisíaco (Malairajan et al., 2007).

### 3.2 Compostos de Madeira

São produtos obtidos a partir da redução da madeira sólida em elementos menores, com forma e geometria diferenciadas, sendo posteriormente remontados através da ligação adesiva, constituindo-se um novo produto com propriedades distintas do material sólido que o originou.

Segundo Iwakiri (2005), os produtos compostos de madeira podem ser classificados, de forma simplificada, em dois grupos.

- A) Compostos laminados: É formado por produtos que utilizam, na sua produção, processos de colagem de lâminas contínuas. São exemplos de produtos laminados: compensado laminado, compensado sarrafeado, painéis de laminas paralelas (L.V.L).
- B) Compostos particulados: É formado por produtos que utilizam, na sua produção, pequenos elementos de madeira, partículas ou fibras, e se caracterizam pela estrutura descontínua da linha de cola. São exemplos de compostos particulados: chapas de partículas de madeira aglomerada, chapas de fibras de média densidade (MDF), chapas cimento-madeira, chapas de partículas orientadas (OSB), chapas de fibras isolantes, dentre outras.

Os diferentes tipos de painéis têm como principais fatores de diferenciação a variação na geometria dos elementos de madeira, densidade e processo de fabricação. Outras variáveis do processo são: tipo e quantidade de resina, constituição em camadas e tipos de aditivos químicos (Youngquist, 1999).

A tecnologia para confecção de painéis reconstituídos permite utilizar, como matéria-prima, subprodutos da indústria madeireira, por exemplo, costaneiras ou madeiras de diâmetro reduzido provenientes de desbastes, agregando valor a este material e diminuindo a demanda de madeira industrial e a pressão sobre recursos naturais (Maloney, 1993).

### **3.2.1 Painéis Compensados Multilaminados**

#### **3.2.1.1 Definição e Aplicações**

Iwakiri (2005) define o compensado como um painel fabricado através de colagem de lâminas em número ímpar de camadas, com a direção da grã perpendicular entre as camadas adjacentes. As lâminas podem variar no número, na espessura, na espécie e na classe de madeira. A alternância do sentido da grã nas camadas adjacentes resulta em produtos com melhor estabilidade dimensional e melhor distribuição da resistência no sentido longitudinal e transversal.

As lâminas empregadas na confecção dos compensados são obtidas por um torno desenrolador e suas espessuras variam de 0,13 a 6,35 mm (Iwakiri, 2005).

Os painéis compensados são classificados como de uso exterior e interior, diferenciados principalmente em função da resina utilizada na confecção das chapas.

O compensado de uso exterior é definido como painel produzido com colagem à “prova d’água”, apresentando características de alta resistência mecânica e destinado a aplicações que requerem alta resistência à umidade ambiente e ao contato direto com a água (Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, 2001). De acordo com Marra (1992), o adesivo mais indicado para confecção dos compensados de uso exterior é o fenol-formaldeído, em função de suas propriedades de maior resistência e durabilidade em condições externas de exposição à ambientes úmidos.

Os painéis estruturais são empregados principalmente na construção civil como fôrma de concreto, pisos, composição de viga em “T”, também em construções navais, placas publicitárias, entre outros.

### 3.2.1.2 Aspectos Gerais

O processo de produção de lâminas de madeira surgiu há cerca de 3000 anos antes de cristo, de forma rudimentar, pelos artesãos egípcios que as utilizavam na manufatura de peças de mobiliários sofisticados para príncipes e reis (Albuquerque, 1995). Em 1834, na França, foi registrada a patente da primeira faqueadeira, passando por série de aperfeiçoamentos em projetos estruturais com objetivo de viabilizar seu uso em escala industrial. A partir do início do século XX surgem as primeiras indústrias de compensado, impulsionadas pelo desenvolvimento e avanço tecnológico das máquinas laminadoras (Iwakiri, 2005). O período de 1936 a 1955 foi marcado pela consolidação das indústrias de compensado com o avanço dos sistemas de prensagem e o desenvolvimento tecnológico de adesivos sintéticos termoendurecedores, como a resina fenol-formaldeído e a ureia-formaldeído (Baldwin, 1981 citado por Iwakiri, 2005).

No Brasil, a produção industrial de compensado iniciou-se na localidade sul durante a década de 40, no qual a principal espécie empregada na confecção dos painéis era a araucária (*Araucária angustifolia*) (Associação Brasileira da Indústria da Madeira Processada Mecanicamente - ABIMCI, 2001). . A partir da década de 70, com a escassez do pinheiro-do-paraná para uso industrial, as empresas produtoras de compensados instalaram novas unidades nas localidades centro-oeste e norte do país, sendo empregadas madeiras tropicais como fonte de matéria-prima na produção dos painéis (Iwakiri & Prata, 2008a).

A partir da década de 90, em consequência da pressão ambiental cada vez maior sobre a exploração de florestas tropicais, e com a maturação das florestas plantadas, as indústrias de base florestal passaram a empregar em seus processos produtivos espécies de rápido crescimento, especialmente as madeiras do gênero *Pinus* provenientes da localidade sul do país (Iwakiri et al., 2006).

### **3.2.1.3 Produção e Mercado**

No Brasil, a indústria de compensado é tipicamente familiar, são empresas de pequeno porte e bastante fragmentada. Estima-se a existência de um pouco mais de 200 fábricas de compensado em operação que, em conjunto, somam uma capacidade de produção de 4 milhões de m<sup>3</sup> anuais.

Embora a produção brasileira de compensados tenha crescido durante a última década, dados recentes têm revelado uma queda na produção de 2006 em relação a 2005. Em 2006 a produção foi de 3,04 milhões de m<sup>3</sup>, 15,1% menor que a de 2005, que foi de 3,6 milhões m<sup>3</sup> (SBS, 2007).

A maior parte dos painéis compensados produzidos no Brasil é destinada a exportação, sendo os Estados Unidos o maior importador desse produto nacional. O Brasil, no cenário mundial, figura como o maior exportador de compensados de pinus e o terceiro maior exportador de compensado de madeiras tropicais (SBS, 2007). Em 2004, o Brasil exportou 2,9 milhões de m<sup>3</sup>, sendo 1,9 milhão de m<sup>3</sup> compensado de pinus, correspondendo a 65% do total exportado, e 1 milhão de m<sup>3</sup> compensado de madeira tropical, correspondendo a 35% do total exportado ( ABIMCI, 2004).

O consumo nacional em 2006 foi cerca de 860 mil m<sup>3</sup>, sendo 639 mil m<sup>3</sup> de compensados de pinus e 221 mil m<sup>3</sup> de compensados de espécies tropicais. Em relação a 2005, registrou-se aumento de 13,1% no consumo de compensado de pinus e queda de 44,6% no consumo de compensado de madeira tropical (SBS, 2007).

Em contrapartida, os inexpressivos investimentos com tecnologia nas fábricas, a deficitária estrutura de produção brasileira, os elevados custos da matéria-prima, principalmente as madeiras da localidade norte, expressam como fatores limitantes ao desenvolvimento da indústria de compensados no Brasil (Iwakiri et al., 2002).

#### **3.2.1.4 Fatores que Afetam o Processo de Laminação e as Propriedades dos Compensados**

A qualidade final dos compensados está relacionada com a qualidade das lâminas empregadas e com as variáveis envolvidas no processamento, principalmente a espécie de madeira, o adesivo (tipo, qualidade, gramatura e formulação), e tempo de montagem das chapas (Jankowsky, 1980).

Para obtenção das lâminas, é necessário o aquecimento das toras, tendo como objetivo aumentar a plasticidade da madeira, favorecendo o melhor acabamento nas superfícies das lâminas e facilitando no processo de laminação. O aquecimento melhora as condições de laminação, principalmente em madeiras duras e a obtenção de lâminas espessas. Fatores como tempo de aquecimento das toras, densidade da madeira, o conteúdo de umidade, temperatura no ato da laminação, regulagem e manutenção do torno influenciam diretamente na qualidade das lâminas. A temperatura ideal e o tempo de aquecimento são definidos com base na densidade e no diâmetro da madeira, respectivamente.

A secagem das lâminas é fundamental para a confecção dos compensados, visto que altos teores de umidade podem provocar a formação de “bolhas” e a delaminações na chapa, em função da alta pressão interna de vapor formada entre as linhas de cola (Marra, 1992). Porém, as lâminas com conteúdo de umidade extremamente baixo podem promover a maior absorção do adesivo, podendo também aumentar a velocidade de cura e solidificação do adesivo. As lâminas devem obter um teor de umidade final em função do tipo de resina empregada na colagem. Para os painéis confeccionados com a resina ureia-formaldeído, as lâminas devem ser secas ao teor de umidade na faixa de 10 a 12%, já para os painéis confeccionados com fenol-formaldeído, a faixa de umidade das lâminas deve ser de 4 a 8% (Iwakiri, 2005).

Na confecção dos painéis, o adesivo é considerado um componente fundamental, possui a responsabilidade de promover a ligação entre as peças de

madeira e a transferência de tensões geradas na linha de cola durante a sua utilização (Iwakiri et al., 2000). A penetrabilidade do adesivo na madeira é afetada por vários fatores que estão relacionados ao adesivo empregado (tensão superficial, temperatura, viscosidade) e a madeira (Densidade, porosidade, extrativos) (Tsoumis, 1991).

Segundo Marra (1992) e Tsoumis (1991), madeiras com densidade elevada apresentam baixa porosidade, o que irá influenciar diretamente na redução da penetrabilidade do adesivo durante a formação da ligação adesiva. Eles concluem que a formulação do adesivo deve ser ajustada para adequação das condições de colagem em função da densidade da madeira e a finalidade de uso dos painéis. Outras características inerentes à madeira, como o pH e os extrativos, poderão influenciar na cura da resina e, conseqüentemente, na qualidade dos painéis. Madeiras com pH excessivamente ácido podem promover a pré-cura da resina ureia-formaldeído durante a fase de fechamento da prensa. Por outro lado, na colagem com resina fenol-formaldeído o baixo pH da madeira pode retardar a cura da resina (Silva et al., 2004).

Marra (1992), cita que nos aspectos que dizem respeito à composição do adesivo, as diferentes proporções de resina, de extensor, de água e de catalisador, estão relacionadas diretamente com a resistência da linha de cola das chapas produzidas. Quanto maiores forem as proporções de resina, em partes por peso do adesivo na sua formulação, a qualidade da ligação adesiva será superior. Na condição inversa, com maior grau de extensão, o custo final do adesivo será inferior, no entanto, a qualidade da ligação também será inferior.

O tempo de assemblagem é o período de tempo decorrido entre a aplicação do adesivo e o momento de carregamento da prensa. O tempo de se caracteriza por possibilitar uma adequada transferência e absorção do adesivo pelas lâminas, esse tempo não pode exceder a 20 minutos (Iwakiri, 2005). Por outro lado, se o tempo de montagem for menor que o ideal, não haverá a

penetração do adesivo, resultando uma linha de cola faminta. Se for maior, ocorrerá uma polimerização parcial do adesivo antes da prensagem. Em ambos os casos a qualidade do painel será prejudicada (Jankowsky, 1980).

As variáveis envolvidas no ciclo de prensagem dos painéis são: pressão, temperatura e tempo de prensagem. A pressão tem a função de transferir o adesivo de uma lâmina para outra e assegurar um contato adequado entre as lâminas e os pratos da prensa. Além de promover a diminuição dos espaços vazios devido a compressão da madeira, a prensagem melhora a difusão de calor a partir da superfície até o centro do painel (Iwakiri, 2005).

A definição de temperatura de prensagem está relacionada com os fatores: taxa de transferência de calor através da madeira, condução de calor no vapor formado na linha de cola úmida e com a umidade das lâminas. Está relacionada também com o tipo de adesivo. Para a cura do adesivo ureia-formaldeído, a temperatura ideal está na faixa de 95 a 120°C e para o fenol-formaldeído a temperatura é na faixa de 130 a 150 °C (Iwakiri, 2005).

Tempo de prensagem é o tempo decorrido desde o fechamento da prensa até a sua abertura. Este tempo deverá ser suficiente para que o centro do painel atinja a temperatura ideal para a cura da resina e que seja suficiente também para a migração da umidade pelas bordas do painel.

### **3.2.2 Painéis de Partículas Orientadas (OSB – Oriented Strand Board)**

#### **3.2.2.1 Definição**

Painéis “OSB” são produzidos com partículas “strands” de formato retangular, encoladas com adesivos sintéticos fenol-formaldeído e/ou isocianato (MDI), consolidado através de prensagem a quente. As partículas são orientadas e constituídas em três camadas, onde a camada interna central é disposta perpendicularmente em relação às camadas externas. A camada interna também pode ter orientação aleatória das partículas. A composição do painel em três



camadas cruzadas confere melhor distribuição da resistência nas direções longitudinal e transversal, além de melhorar a estabilidade dimensional (Maloney, 1993).

### **3.2.2.2 Aspectos Gerais**

Segundo Janssens (1998), as chapas de partículas orientadas (OSB) constituem uma segunda geração do painel estrutural waferboard, sendo este desenvolvido pelo Dr. James D'Arcy Clarke da U.S. Potlantch Corporation em 1954. Uma das principais diferenças entre os painéis OSB e o waferboard está relacionada com as dimensões das partículas, sendo que, no primeiro, as partículas são mais longas e mais estreitas. Outro fator que os diferenciam é o processo de formação do colchão. Os waferboard são formados a partir da deposição aleatória das partículas, numa camada homogênea, já nos OSB, o colchão é formado por algumas camadas de partículas strands, em que as camadas internas são alinhadas perpendicularmente à direção das camadas externas.

Somente no final da década de 70 as primeiras plantas de OSB foram desenvolvidas. No início dos anos 80 houve um crescimento significativo na produção de OSB nos Estados Unidos e Canadá, se tornando rapidamente em um produto dominante nestes países. No ano de 1993, a produção dos Estados Unidos foi de aproximadamente 7,5 milhões de m<sup>3</sup>, já a produção do Canadá foi de 2,5 milhões de m<sup>3</sup>. Esses valores foram superados no ano de 1997, em que nos Estados Unidos foram produzidos 10 milhões de m<sup>3</sup>, enquanto que o Canadá produziu 6 milhões de m<sup>3</sup>. Em 1999 mais de 250 milhões de chapas de tamanho padrão industrial tinham sido empregadas na construção e na indústria (Albuquerque et al., 1999).

No Brasil, a produção de chapas OSB teve início somente no ano de 2002, pela empresa MASISA, com capacidade instalada de 350.000 m<sup>3</sup>/ano

(Iwakiri et al., 2004). A produção brasileira no ano de 2006 foi de 350 mil m<sup>3</sup>. Esta empresa produtora de OSB, pretende até 2011 elevar sua produção para 1 milhão de m<sup>3</sup>, focando no mercado interno. A indústria brasileira de OSB utiliza como matéria-prima madeira de pinus de reflorestamentos (SBS, 2007).

Assim como os compensados estruturais, a principal aplicação do OSB é na construção civil devido as suas propriedades físico-mecânicas, porém não podem ser expostos diretamente às chuvas ou à alta umidade relativa por longos períodos, pois podem expandir-se. Desta forma, o seu uso se limita a construções protegidas ou em interiores (Janssens, 1998).

Os painéis OSB apresentam uma gama de utilização. Eles são utilizados como forro para telhado, base para paredes e pisos, construções residenciais, formas para concreto, pallets, estandes, estruturas para móveis, alma para vigas em “T” e painéis estruturais isolantes (Structural Board Association - SBA, 2009).

### **3.2.3 Chapas de Madeira Aglomerada**

#### **3.2.3.1 Definição**

O aglomerado é definido como um painel produzido com pequenas partículas de madeira, ou outro material lignocelulósico, com a incorporação de um adesivo sintético e reconstituídos numa matriz randômica e consolidados através da prensagem a quente (Iwakiri, 2005).

#### **3.2.3.2 Aspectos Gerais**

As chapas de madeira aglomerada começaram a ser produzidas durante a Segunda Guerra Mundial, na Alemanha, em função da escassez da matéria-prima de boa qualidade para confecção de painéis compensados. A produção foi paralisada logo em seguida, em decorrência da indisponibilidade de matéria-prima para produção de resina, tendo em vista a competição por petróleo para

fins militares. Após a guerra, a produção de aglomerado foi retomada pelos Estados Unidos, com aperfeiçoamento de equipamentos e processos produtivos (Iwakiri, 2005).

No Brasil, a produção de painéis de madeira aglomerada teve início em 1966, em Curitiba, no estado do Paraná.

As empresas de painéis aglomerados do Brasil somam uma capacidade nominal instalada de 3 milhões de m<sup>3</sup> por ano. Com os novos investimentos, até 2010 a capacidade nominal aumentará para 5 milhões de m<sup>3</sup> ao ano. Em 2007, a produção de aglomerado foi cerca de 2,56 milhões m<sup>3</sup>, representaram um aumento de 14% em relação ao ano anterior (2,2 milhões m<sup>3</sup>). O mercado nacional em 2007 consumiu cerca de 2,55 milhões m<sup>3</sup>, aumentando em aproximadamente 370 mil m<sup>3</sup> em relação ao que foi consumido em 2006 (2,18 milhões m<sup>3</sup>) (Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira - ABIPA, 2008).

A maior parcela da produção nacional é absorvida diretamente pela indústria moveleira. Um volume menor é comercializado pelas vendas e destinado ao setor moveleiro de pequeno porte.

A matéria-prima utilizada na fabricação de chapas aglomeradas é oriunda, na sua totalidade, de florestas plantadas de pinus e eucalipto.

A resina mais utilizada pelas indústrias de aglomerados é a ureia-formaldeído, principalmente por apresentar baixo custo, entretanto, apresenta pouca resistência à umidade, sendo classificado como de uso interior (Marra, 1992).

### **3.2.4 Painéis Cimento-Madeira**

#### **3.2.4.1 Aspectos Gerais**

Desde a pré-história a humanidade utilizava material lignocelulósico misturado com produto inorgânico para confecção de blocos ou tijolos de barro

(Moslemi, 1998). Segundo Zucco (1999) citado por Latorraca & Iwakiri (2001), os hebreus recorriam às fibras vegetais para reduzir a presença de fissuras em tijolos curados ao sol, além de torná-los mais leves. Esta mesma concepção tem sido empregada em tempos atuais, porém agora, utilizando-se basicamente biomassa florestal (Iwakiri, 2005).

Os compósitos à base de cimento e madeira começaram a ser comercializados nos anos de 1930, no qual era confeccionada a partir da Magnesita que geralmente tinham baixa resistência a umidade. Esses painéis eram conhecidos por “Excelsior” (USA) e “Heraklit” (Europa). Em meados dos anos 50, foram registradas várias patentes pela indústria Elmendorf, sendo que, até os dias atuais, várias fábricas de painéis cimento-madeira utilizam tais patentes (Dinwoodie & Paxton, 1984). No Brasil podem ser encontradas placas de cimento-madeira, do tipo “Excelsior”, fabricadas a partir do cimento Portland pela empresa MOVIMAX – Climatex, localizada na cidade de Blumenau, no estado de Santa Catarina. Esse tipo de painel ainda é pouco difundido no mercado nacional, sendo que a principal razão para tal fato se atribui a questão cultural de priorizar as construções em alvenaria.

Os painéis cimento-madeira são produtos de boa aceitação e de grande aplicabilidade na construção civil, principalmente nos países da Europa e da Ásia, por serem bons isolantes térmicos e acústicos, virtualmente incombustíveis, resistentes ao ataque de agentes biodegradadores, apresentam alta estabilidade dimensional e são de fácil trabalhabilidade ( Latorraca & Iwakiri, 2001)

Estes painéis comparados com outros tipos de chapas, como os compensados e sarrafeados, apresentam menores exigências em relação à matéria-prima (madeira), quanto a sua forma, dimensões, defeitos naturais, dentre outros. Além disto, apresenta baixo consumo de energia em sua produção, pois o sistema de prensagem é a frio (Latorraca, 1996). A vantagem desse

compósito está na resistência e na dureza relativamente maiores que a dos materiais separados, além de sua baixa densidade e baixo custo quando comparado com o concreto.

A maior limitação para obtenção de painéis de boa qualidade é a incompatibilidade química entre a matéria-prima vegetal e o aglomerante, uma vez que algumas substâncias presentes na madeira são extremamente inibidoras da cura do aglutinante.

#### **3.2.4.2 Composição**

Esse tipo de painel apresenta composição relativamente simples, sendo constituída por partículas ou fibras de biomassa vegetal (agregado), cimento (aglomerante mineral) e água, numa proporção de 1:3:1,5 (Base peso seco). O cimento tem a função básica de atuar como aglomerante propiciando características físico-mecânicas de resistência e durabilidade. A madeira tem a função de aumentar a resistência à flexão, diminuir a densidade e melhorar outras propriedades como o isolamento térmico e acústico, por exemplo. Ainda têm sido empregados aditivos químicos com objetivo de reduzir o tempo de endurecimento do cimento, acelerando o desenvolvimento da resistência (Latorraca & Iwakiri, 2001).

Os aglomerantes minerais empregados na manufatura dos painéis cimento-madeira são a gipsita (gesso natural), a magnesita e o cimento Portland, sendo este último um dos mais empregados.

Em geral, a maioria dos produtos lignocelulósicos pode, teoricamente, ser empregados como matéria-prima para, junto com o cimento, compor as chapas minerais. De acordo com Chittenden et al. (1975), citado por Latorraca (2000), a exigência maior se refere quanto à composição química desse material, a qual pode afetar a solidificação do cimento. A madeira é a principal matéria-prima empregada na confecção industrial das chapas, porém

outros produtos têm sido estudados, tais como, a casca de arroz, casca de coco, bagaço de cana, etc.

A composição química da madeira pode ser o principal fator de impedimento da viabilização da manufatura dos painéis cimento-madeira. Segundo Simantupang et al. (1978) citado por Iwakiri & Prata (2008b), os extrativos da madeira são os responsáveis pela inibição e solidificação do cimento, sendo seus princípios ativos os compostos fenólicos (taninos) e os carboidratos livres (sacarose, galactose, frutose, glicose, etc.). Moslemi e Ahn (1980) citado por Latorraca et al. (1999), relatam que a inibição da cura do cimento ocorre porque este sofre interferência de açúcares de formação cristalina, afetando, desta maneira, tanto a possível interação entre a madeira e o cimento quanto a interação interna do próprio cimento, prejudicando as propriedades finais das chapas.

Estas substâncias (fenóis, ácidos, açúcares, etc.) podem retardar e, em alguns casos, impedir a “pega” do cimento, sendo necessária à utilização de algum processo de compatibilização da madeira com a matriz de cimento, para que ocorra a menor influência possível no processo de hidratação do cimento (Savastano Junior et al., 2000).

Apesar desta adversidade, vários estudos têm mostrado que métodos de tratamentos adequados são capazes de transformar espécies incompatíveis em aceitáveis, minimizando assim seus efeitos inibidores. Para viabilizar o uso de espécies com altos teores de extrativos, Moslemi et al. (1983) recomenda três métodos de tratamentos de partículas, a saber: imersão em água fria por 24 horas; imersão em água quente por 6 horas; e imersão em solução de hidróxido de sódio (NaOH) a 1%. Segundo Beraldo et al. (2002), o problema relacionado ao tempo de pega do cimento pode ser minimizado com a aplicação de aditivos químicos e minerais aceleradores da cura.

Okino et al. (2004) avaliaram os efeitos de inibição da cura das chapas confeccionadas a partir da madeira de *Hevea brasiliensis*, através de teste de hidratação das partículas com e sem fervura em água quente e com ou sem adição de  $\text{CaCl}_2$ , sobre as propriedades dos painéis cimento-madeira. Os resultados obtidos indicaram que a madeira de seringueira *in natura* foi classificada como de “inibição extrema”, porém com a adição de  $\text{CaCl}_2$  foi classificada como de “baixa inibição”. Iwakiri & Prata (2008b), avaliando o efeito do tratamento das partículas de *Eucalyptus* sp. em água fria e em água quente sobre as propriedades dos painéis cimento-madeira, concluíram que não há necessidade de tratamento tanto para madeira de *E.grandis* quanto para *E. dunnii*.

Os aditivos conhecidos como aceleradores, têm a função de eliminar os efeitos desfavoráveis das substâncias solúveis da madeira sobre o endurecimento, além de reduzir o tempo de cura dos painéis. Os sais como o cloreto de cálcio, cloreto de magnésio, silicato de sódio e silicato de potássio, são alguns dos aditivos utilizados. O aditivo acelerador cloreto de cálcio é o que vem sendo, destacadamente, o mais utilizado durante décadas, provavelmente, porque este aditivo acelera eficientemente a hidratação dos silicatos de cálcio, principalmente o  $\text{C}_3\text{S}$ , além de ser de baixo custo. Latorraca & Iwakiri (2000), avaliando o efeito dos aditivos químicos ( $\text{CaCl}_2$  e  $\text{MgCl}_2$ ) a 3% sobre as propriedades dos painéis cimento-madeira manufacturados a partir da madeira de *Eucalyptus dunnii*, concluíram que o cloreto de magnésio ( $\text{MgCl}_2$ ) apresentou, de maneira geral, melhores resultados em praticamente todas as propriedades. A quantidade de aditivo a ser adicionada varia de acordo com a espécie e os valores variam de 2 a 7% com base no peso seco do cimento. Latorraca (2000) pesquisando o uso de diversos tipos de aditivos químicos na manufatura de painéis cimento-madeira de *Eucalyptus* spp., concluiu que, para o cloreto de cálcio, os melhores

resultados foram obtidos nas quantidades de 3 e 4% sobre o peso seco do cimento.

Aditivos minerais, como a sílica fume, também são empregados em chapas minerais. A substituição do cimento Portland por várias porções de sílica fume tem um efeito surpreendente sobre as propriedades de resistência das chapas feitas com espécies de baixa compatibilidade. A efetiva proporção de sílica fume para substituir o cimento na mistura vai depender da espécie (Iwakiri, 2005). Silva et al. (2006), avaliaram o efeito de aditivos minerais (Microsílica e metacaulin) sobre as propriedades de painéis cimento-madeira, e concluíram que a adição dos minerais a 20% e 30% não proporcionou aumento significativo nas propriedades mecânicas dos painéis. Já em relação às propriedades físicas, com a adição de 20% de microsílica puderam ser observados valores inferiores de inchamento em espessura após 24 horas imersão em água, indicando um aumento na resistência à umidade das chapas.

A água é um componente necessário para que ocorram as reações químicas do aglutinante, para os aditivos se dissolverem e, também, para permitir a mistura do cimento que irá revestir as partículas de madeira uniformemente (Iwakiri, 2005).

#### **3.2.4.4 Aplicações**

Segundo Chapola (1989), a aplicação dos painéis de cimento-madeira vai além dos usos indicados para o aglomerado convencional, especialmente em ambientes úmidos e com riscos de incêndios, em que o emprego de aglomerados convencionais se torna inadequado.

Dix (1989) destaca o uso para paredes de casas pré-fabricadas, bancadas (para-peito), pisos, revestimento de túneis, paredes divisórias, paredes isolantes térmicos e acústicos, portas corta fogo, forros de casas, etc. A sua utilização não



abrange somente residências, mas também pavilhões, estádios e edifícios públicos, estando presentes em banheiros, lavanderias e cozinhas.

### **3.2.5 Fatores que Afetam as Propriedades dos Painéis Particulados**

#### **3.2.5.1 Fatores Inerentes a Matéria-Prima**

Os componentes básicos empregados na confecção dos particulados são a madeira, adesivo e catalisador. Também podem ser adicionados outros materiais, como exemplo a parafina, a fim de proporcionar uma melhora na resistência do painel acabado quanto à absorção de água na forma líquida. Entretanto, o seu uso não melhora o desempenho do painel quanto à absorção de água em forma de vapor.

A espécie florestal é uma das mais importantes variáveis para o processo de manufatura dos painéis particulados. As variáveis referentes a espécie consideradas de maior relevância são: densidade, pH, extrativos e materiais estranhos.

A densidade da madeira é a principal variável relativa à espécie. Esta densidade tem sido um importante fator na determinação de quais espécies podem ser empregadas na manufatura dos painéis. Em termos gerais, madeiras menos densa possibilitam a produção de painéis dentro da faixa adequada de densidade, além de possuir, normalmente, propriedades de resistência superiores a espécies de maiores densidades (Maloney, 1993). As razões pela preferência por espécies menos densas, é a de que tais espécies podem ser comprimidas numa chapa de partículas de média densidade, com a garantia de que uma suficiente área de contato entre partículas é desenvolvida durante a prensagem, para realizar uma boa colagem. Por outro lado, para painéis de partículas de alta densidade, a quantidade de adesivo por unidade de área superficial das partículas passa a ser o fator controlador da resistência do painel. Portanto, para se obter certo valor de resistência com uma madeira de maior densidade, a densidade do

painel deve ser aumentada (Moslemi, 1974). Em geral, a densidade da madeira empregada na confecção dos painéis situa-se entre 0,4 e 0,6 g/cm<sup>3</sup> e a densidade das chapas produzidas são de 5 a 40% maior do que a da madeira usada na sua confecção (Hillig et al., 2002).

A acidez da madeira tem influência sobre a cura da resina e também na escolha do tipo de catalisador a ser empregado na confecção dos painéis aglomerados. O nível de acidez da madeira é medido em pH e capacidade tampão. Enquanto que o nível de pH da madeira mede o nível específico de acidez sob determinadas condições, a capacidade tampão mede a resistência da madeira em alterar o pH. Madeiras com alta capacidade tampão requerem maiores quantidades de catalisadores ácidos, para reduzir o pH ao nível necessário para uma cura ideal do adesivo (Maloney, 1993). Madeira com baixo pH pode favorecer o pré-endurecimento do adesivo, acelerando o processo de cura da resina, efeito denominado de pré-cura, impedindo a sua capacidade de umectação, fluidez e penetração, comprometendo a qualidade da colagem dos painéis.

Extrativos não fazem parte da estrutura da madeira, e compreendem a uma elevada gama de materiais orgânicos, incluindo graxas, óleos, gorduras, resinas, taninos, carboidratos, gomas e ácidos (Marra, 1992). A variação do tipo e da quantidade de extrativos presentes na madeira pode afetar o processo produtivo dos particulados, gerando problemas quanto ao consumo e cura do adesivo. Adicionalmente, podem ser observadas baixas resistências à umidade em produtos acabados, bem como problemas relacionados com o estouro de painéis durante a prensagem. Tais problemas devem ser avaliados quando são utilizadas espécies que possuem extrativos que afetem negativamente o processo de composição do painel (Maloney, 1993).

As substâncias estranhas estão associadas à madeira na forma de resíduos provenientes de operações anteriores à entrada na indústria, como

partículas metálicas introduzidas na madeira, ou partículas de casca e substâncias minerais contidas na própria madeira. Alguns destes materiais podem causar problemas como descoloração da chapa, afetar o acabamento da chapa com revestimento e pintura, causar desgaste e dano nos equipamentos como picadores, serras e lixadeiras e perigo de fogo nas operações de secagem (Iwakiri, 2005).

As madeiras do gênero *Pinus* são as mais utilizadas no Brasil para produção de particulados. São preferíveis por serem de baixa densidade e por não apresentarem elementos que limitam a confecção das chapas, além de que o pH e o teor de extrativos presentes na madeira não têm sido fatores limitantes na manufatura dos painéis (Iwakiri et al., 2005).

#### **3.2.5.2 Fatores Inerentes ao Processo**

De acordo com o Maloney (1993) e Moslemi (1974), a razão de compactação é o termo utilizado para definir a relação entre a densidade do painel e a densidade da madeira utilizada na sua produção, devendo atingir valores entre 1,3 a 1,6 para que ocorra a densificação necessária na formação da chapa, de modo a conferir uma maior resistência mecânica.

Existe uma relação inversa entre densidade da madeira e a razão de compactação da chapa, sendo que madeiras menos densas proporcionam uma razão de compactação mais elevada, resultando em chapas com propriedades de flexão e ligação interna superiores às chapas confeccionadas com madeira de alta densidade. Isto ocorre em virtude da madeira de baixa densidade promover 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 (Cloutier, 1998).

Quanto às propriedades físicas, os painéis com maior razão de compactação apresentam valores superiores de absorção de água e inchamento em espessura, comprometendo assim a estabilidade dimensional das chapas. Esse fato é explicado por existir uma quantidade maior de partículas sendo comprimidas e, com a presença de água em sua estrutura, essas tensões são liberadas com maior intensidade (Maloney, 1993).

A densidade do painel está relacionada com a densidade da madeira e a razão de compactação. Depende também da umidade do colchão e outro fatores. Assim como a densidade da madeira, a densidade do painel tem grande influência sobre as propriedades mecânicas dos mesmos. Geralmente, na confecção de chapas, a densidade do painel está entre 0,4 e 0,8 g/cm<sup>3</sup>. Em geral, o aumento da densidade do painel contribui para o aumento das resistências à flexão estática e à tração (Hillig et al., 2002).

Albuquerque (2002), estudando painéis aglomerados com densidades de 0,5, 0,7 e 0,9 g/cm<sup>3</sup>, constatou aumento nos valores de ligação interna, flexão estática e inchamento em espessura, para painéis com maiores densidades. Por outro lado, os valores de absorção de água diminuiriam com o aumento na densidade dos painéis. Iwakiri et al. (2005), avaliando painéis aglomerados de alta densificação com densidades de 0,65 e 0,90 g/cm<sup>3</sup>, concluíram que o aumento da densidade do painel contribuiu para o aumento significativo do módulo de ruptura, módulo de elasticidade e ligação interna. Mendes et al. (2003), avaliando o efeito da densidade sobre as propriedades físico-mecânicas dos painéis OSB, verificaram que o aumento da densidade de 0,65 g/cm<sup>3</sup> para 0,80 g/cm<sup>3</sup> causou um aumento no MOR, MOE, compressão paralela e na ligação interna.

Outro parâmetro do processamento importante na confecção dos particulados é a geometria das partículas. Suas dimensões devem ser controladas de forma a promover maior homogeneidade no processo, que irá influenciar na

área superficial específica e, conseqüentemente no consumo de resina e nas propriedades dos painéis (Kelly, 1997).

Partículas de menores dimensões consomem mais adesivo em função da maior área superficial específica para o seu melhor encolamento. Produzindo-se painéis com partículas de menores ou maiores dimensões, com aplicação de uma mesma quantidade de resina, os painéis produzidos com partículas maiores apresentarão valores de ligação interna superiores, isto é devido à maior quantidade de resina por unidade de área específica (Maloney, 1993).

Iwakiri (1989) verificou que as chapas tipo “WAFER” apresentaram maior MOE que as dos tipos “flake” e “sliver”, devido, principalmente, ao maior comprimento das partículas e ao índice de esbeltez (relação entre comprimento e espessura da partícula). O autor observou que a menor área superficial específica das partículas e a maior disponibilidade de adesivo por unidade de área das partículas do tipo “wafer” pode ter contribuído para a diferença do MOE em relação aos outros painéis de “flake” e “sliver”.

Em painéis do tipo OSB, as dimensões e a geometria das partículas são os principais fatores que determinam o grau de orientação, podendo este afetar fortemente o MOE e MOR. A altura de queda das partículas e a distância entre os pratos ou lâminas do orientador, também são fatores que afetam significativamente a orientação das partículas (Geimer, 1976).

Segundo Maloney (1993), a relação entre o comprimento e a largura das partículas deve ser de, no mínimo, três para proporcionar boa orientação das partículas no painel, sendo esta relação utilizada por Marra (1992) para classificar as partículas “strand”. Na indústria, as partículas são geradas normalmente com largura de 25 mm e comprimento variando de 80 a 150 mm.

Segundo Moslemi (1974), partículas mais longas e mais finas produzem painéis com resistência à flexão e estabilidade dimensional superiores às partículas mais curtas e mais espessas.

O conteúdo de umidade das partículas exerce influências sobre a cura do adesivo, tempo de prensagem e pressão específica necessária para a consolidação do colchão de partículas até a espessura final do painel (Iwakiri, 2005).

Segundo Kelly (1997), uma umidade excessiva interfere na reação química de polimerização do adesivo e isso ocorre especialmente nas camadas mais internas, pois, assim que os pratos aquecidos da prensa tocam o material, há transferência de calor entre as camadas e a umidade das camadas superficiais, mais aquecidas, migra para o interior do painel, menos aquecido, o que dificulta o processo de cura do adesivo.

Os adesivos mais empregados na industrial de confecção de painéis particulados são: Ureia formaldeído (UF), melamina-formaldeído (MF), fenol-formaldeído (FF) e difenil metano di-isocianato (MDI). Segundo Iwakiri et al. (2004), a quantidade de resina fenol-formaldeído e parafina utilizadas na produção de “OSB” pode variar de 3,0% a 6,0% e de 0,5% a 1,5%, respectivamente, baseado no peso seco das partículas e do teor de sólido da resina. Já a quantidade de resina recomendada para painéis aglomerados pode variar de 6 a 12 %, com base no peso seco das partículas (Iwakiri, 2005).

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Material de Estudo

Utilizaram-se árvores de Cedro Australiano (*Toona ciliata* M. Roem. var. *australis*), com idades de 4 e 18 anos. O material de 4 anos de idade é procedente de três municípios localizados no estado de Minas Gerais, a saber; Campo Belo, Cana Verde e Santo Antônio do Amparo. O material de 18 anos de idade é procedente do município de Marechal Floriano, localizado no estado do Espírito Santo.

Na Tabela 1 estão apresentadas características das localidades avaliadas.

TABELA 1 Valores de Temperatura, precipitação e altitude dos locais de coleta

Localidade	Temperatura, °C			Precipitação, mm/ano	Altitude, m
	Máx.	Mín.	Média		
Campo Belo	30,0	10,0	19,4	1.529	945
Cana Verde	26,1	14,8	19,4	1.530	867
Santo Antônio do Amparo	30,0	10,0	20,0	1.597	1013
Marechal Floriano	28,0	8,0	18,0	1.200	544

#### 4.1.1 Amostragem do Cedro Australiano aos 4 Anos de Idade

Para cada localidade foram selecionadas e abatidas 5 árvores, em seguida as mesmas foram seccionadas e retirados discos de 4 cm de espessura na base e a cada 1,30 m de comprimento ao longo de sua extensão até a altura comercial, no qual foi considerado um diâmetro de 7,5 cm, para determinação da massa específica básica, caracterização anatômica e análises químicas da madeira (Ziech, 2008). A primeira tora de 1,30 m de comprimento de cada fuste foi conduzida ao processo de laminação para confecção dos painéis compensados.

#### **4.1.2 Amostragem do Cedro Australiano aos 18 Anos de Idade**

Foram selecionadas e abatidas 16 árvores de Cedro Australiano de 18 anos de idade no município de Marechal Floriano, localizado no estado do Espírito Santo. Após o abate, o fuste foi reduzido em toras com dimensão de aproximadamente 3 metros de comprimento. Para determinação da massa específica básica e análise anatômica foram retirados discos de 4 cm de comprimento a partir da base e a cada 3 metros de comprimento até atingir altura comercial, no qual foi considerado um diâmetro de 7,5 cm.

As toras foram transportadas e descarregadas na Serraria do departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Lavras, em Minas Gerais, onde foram submetidas ao desdobro primário. Do total de madeira adquirida, foram selecionadas aleatoriamente 2 toras de 3,0 m de comprimento para laminação.

A densidade básica foi determinada de acordo com o método de imersão em água descrita por Vital (1984).

A caracterização anatômica foi realizada seguindo os mesmos procedimentos descritos por Ziech (2008).

#### **4.2 Laminação**

As toras de 1,30 m e de 3,0 m de comprimento foram reduzidas em peças de 0,60 m, posteriormente submersas em tanque com água a temperatura ambiente por um período de aproximadamente 15 dias. Tal tratamento tem finalidade de evitar o ataque de organismos xilófagos, preservando a integridade da madeira. Além disso, esse procedimento pode proporcionar o alívio das tensões de crescimento.

Antes do processo de laminação, fez-se necessário o aquecimento das toras em tanque d'água dotado de resistência elétrica a uma temperatura de 65 °C por um período de 60 horas. Para definição da magnitude desses dois



parâmetros, temperatura e tempo de aquecimento seguiram-se as recomendações descritas por Iwakiri (2005).

As lâminas foram obtidas por um torno laminador, possuindo uma espessura nominal de 2,0 mm. A lâmina contínua de cada tora foi totalmente enrolada numa bobina (suporte de metal) e conduzida a guilhotinagem. Em seguida, foram seccionadas em dimensões laterais de 480 x 480 mm.

Depois de guilhotinadas, as lâminas foram empilhadas umas sobre as outras, distanciadas entre si pelo uso de separadores de madeira, para secagem à temperatura ambiente até atingirem a umidade de equilíbrio higroscópico, em seguida, secas em estufa de circulação de ar forçada até atingir um teor médio de umidade de 7%, base à massa seca.

### **4.3 Obtenção das Partículas de Madeira**

#### **4.3.1 Material de 4 anos**

As toras de 1,30 m até a altura comercial das árvores, exceto as toras da base, foram conduzidas a Unidade Experimental de Produção de Painéis de Madeira da UFLA-MG, para serem desdobradas em tábuas de 1,30 m de comprimento e 2,5 cm de espessura. Posteriormente, foram reduzidas em peças com dimensões de 20 x 9,0 x 2,5 cm. Em seguida, as mesmas foram submersas em água até saturação e, finalmente, transformadas em partículas do tipo “strand” num gerador de partículas de discos, com dimensões nominais de 9 cm de comprimento, 2,5 cm de largura e 0,07 cm de espessura.

As pontas das toras até a altura comercial, os resíduos provenientes da laminação e do desdobro das toras foram transformadas em partículas do tipo “sliver” em moinho martelo.

#### **4.3.2 Material de 18 anos**

As costaneiras resultantes do desdobro primário das toras de Cedro Australiano de 18 anos de idade foram transformadas em peças com dimensões de 20 cm de comprimento, largura de 9,0 cm e de espessura 2,5 cm. Em seguida, para a obtenção das partículas “slivers” utilizadas na confecção dos painéis aglomerado convencional, as peças foram reduzidas num gerador de partículas e, posteriormente, passadas em moinho martelo.

Para manufatura dos painéis cimento-madeira partículas “slivers” em moinho martelo foram confeccionadas a partir dos resíduos provenientes da laminação das toras da madeira de Cedro Australiano.

##### **4.3.2.1 Análise Química da Madeira**

Foram feitas amostragem por quarteamento, no qual as partículas da madeira de *T. ciliata* de 18 anos foram espalhadas sobre uma lona, misturadas e divididas em quadrantes, dos quais dois opostos foram descartados e os outros mantidos e espalhados novamente. A operação foi repetida sucessivamente até serem obtidos aproximadamente 200 gramas de partículas.

As partículas foram secas nas condições ambientes e posteriormente moídas em moinho tipo Willey. A classificação foi feita por meio de um conjunto de peneiras, sendo que o material retido entre 40 e 60 mesh foi utilizado para análise química de extrativos e lignina, enquanto que o material que atravessou ambas as peneiras foi destinado à análise de cinzas.

As amostras foram então acondicionadas em câmara climática com umidade relativa de  $65 \pm 3\%$  e temperatura de  $20 \pm 1^\circ\text{C}$  até alcançarem a umidade de equilíbrio higroscópico. Foram determinados os teores de lignina, extrativos totais, cinzas e holocelulose (celulose + hemiceluloses). Para determinação dos principais componentes químicos da madeira seguiram os

procedimentos descritos na norma Associação Brasileira de Normas Técnicas de Celulose e Papel - ABTCP (1974).

A porcentagem de holocelulose foi calculada por meio da Equação 1:

$$H (\%) = 100 - ET - TLI \quad (1)$$

Em que:

ET = Teor de extrativos totais (%)

TLI = teor de lignina insolúvel (%)

#### **4.4 Confeção dos Painéis**

##### **4.4.1 Painéis Compensados Multilaminados**

Para a confecção dos compensados foram utilizadas 5 lâminas cruzadas, secas ao teor de umidade de 7%, base massa seca, com dimensões de 480,0 x 480,0 x 2,0 mm (C x L x E). O adesivo empregado foi o fenol-formaldeído com teor de sólidos de 50,37%, pH 11,8 e viscosidade 4.222,3 cP. Os painéis foram produzidos com gramatura de 320 g/m<sup>2</sup> (linha dupla), tempo de montagem de 10 minutos. O ciclo de prensagem empregado foi: temperatura de 150° C; pressão específica de 8 Kgf/cm<sup>2</sup> e tempo de prensagem de 10 minutos.

Após a prensagem, os painéis foram mantidos na posição vertical, até restabelecerem a temperatura ambiente, esquadrejados e retirados os corpos-de-prova. Em seguida, foram acondicionados em câmara climática à temperatura de 20 ± 1 °C e umidade relativa de 65 ± 3%, até total estabilização.

Depois de estabilizados, os corpos-de-prova foram submetidos aos ensaios físico-mecânicos de acordo com as especificações descritas na norma ABNT 31:000.05-001/2 (2001).

As propriedades avaliadas foram: Módulo de elasticidade e módulo de ruptura em flexão estática, nos sentidos paralelo e perpendiculares, resistência da

linha de cola às tensões de cisalhamento em condições seco, úmido e pós-fervura, densidade aparente, umidade e absorção de água total.

O ensaio de flexão estática foi conduzido em máquina universal de ensaios (EMIC DL-30000). O ensaio de resistência da linha de cola às tensões de cisalhamento foi realizado na máquina de ensaio de cisalhamento Pavitest®. Os ensaios de densidade aparente, absorção de água e inchamento em espessura foram realizados no Laboratório de Adesão e Adesivos da Unidade Experimental de Produção de Painéis de Madeira (UEPAM).

O presente trabalho seguiu o delineamento inteiramente casualizado, com 4 tratamentos. No total foram confeccionados 33 painéis (Tabela 2). Houve um desbalanceamento do número de repetições devido à falta de lâminas da madeira de 18 anos.

TABELA 2 Descrição dos tratamentos adotados na manufatura dos compensados de *Toona ciliata* M. Roem. var. *australis*

<b>Tratamento</b>	<b>Localidade</b>	<b>Idade (anos)</b>	<b>Repetição</b>
T1	Campo Belo	4	10
T2	Cana Verde	4	10
T3	Santo Antônio do Amparo	4	10
T4	Marechal Floriano	18	3

#### **4.4.2 Painéis OSB (Oriented Strand Board)**

Para a confecção dos painéis OSB, utilizou-se partículas de madeira de *Toona ciliata* M. Roem. var. *australis* com 4 anos de idade secas ao teor de umidade de 3% e classificadas em peneira vibratória. O adesivo empregado foi o fenol-formaldeído com teor de sólido de 54 % e pH de 11,5. Adicionou-se parafina na proporção de 1,5% com o intuito de reduzir a higroscopicidade das partículas de madeira e melhorar a estabilidade dimensional dos painéis.

As quantidades dos componentes para cada painel foram determinadas para dimensões nominais de 480 x 480 x 15 mm, densidade nominal de 0,65 g/cm<sup>3</sup> e conteúdo de resina sólida de 9%, base o peso seco das partículas.

As partículas foram pesadas e colocadas num encolador do tipo tambor rotatório e, posteriormente, a resina e a parafina foram aplicadas por meio de aspersão com utilização de pistolas.

Para a formação do colchão de partículas orientadas foi utilizado um aparato orientador de partículas fixado sobre uma caixa formadora de colchão com dimensões laterais de 480 x 480 mm colocados sobre uma chapa de alumínio. O colchão foi formado na conformação de camadas cruzadas na proporção de 25:50:25 (face/miolo/face).

Depois de formado, o colchão foi conduzido a pré-prensagem manual. Posteriormente, foram colocadas barras de ferro com espessura de 15 mm nas laterais do colchão para garantir a espessura final dos painéis. Em seguida, foi colocada uma chapa de alumínio sobre a outra face do colchão antes da prensagem.

As chapas foram prensadas a uma temperatura de 180°C e uma pressão de 40 Kgf/cm<sup>2</sup>, por um período de 8 minutos, considerado a partir do fechamento da prensa.

Após a prensagem, os painéis foram mantidos a temperatura ambiente até atingir a umidade de equilíbrio higroscópico. Em seguida, retiraram-se os corpos-de-prova em serra circular esquadrejadeira. Inicialmente, foram retirados aproximadamente 2 cm de cada extremidade dos painéis. Na Figura 1 está representado o esquema de distribuição dos corpos-de-prova para a avaliação das propriedades físico-mecânicas.

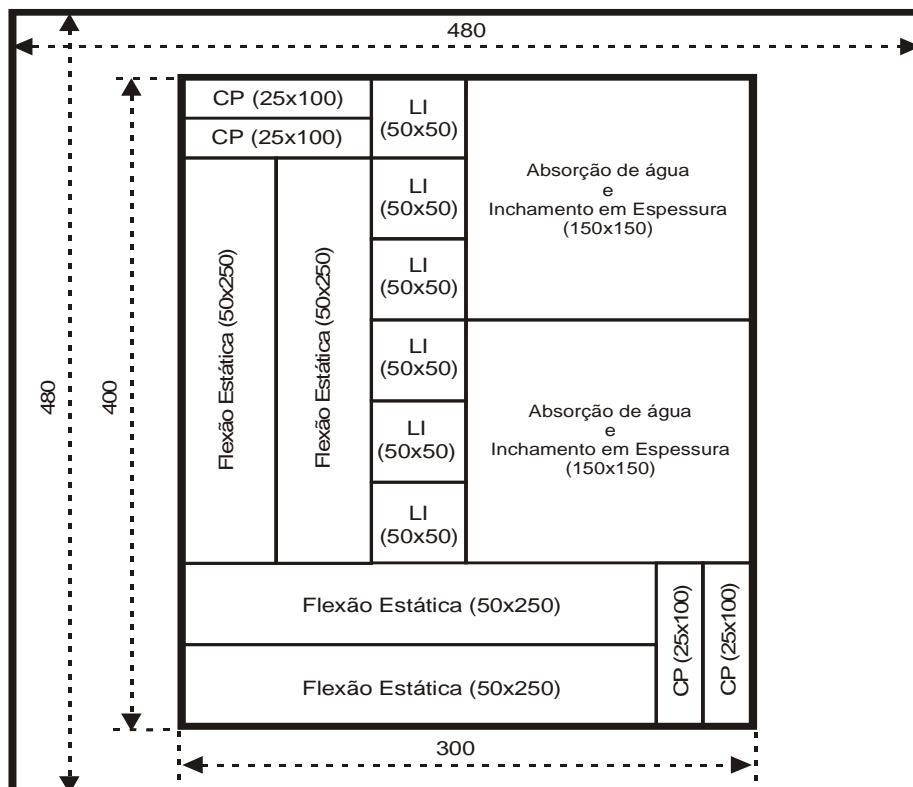


FIGURA 1 Esquema de distribuição dos corpos-de-prova para a avaliação das propriedades físico-mecânicas (unidade dada em mm).

Depois de retirados, os corpos-de-prova foram mantidos em câmara climática à temperatura de  $20 \pm 1$  °C e umidade relativa de  $65 \pm 3\%$ , até estabilização até completa estabilização.

O módulo de elasticidade e o módulo de ruptura em flexão estática, nos sentidos paralelo e perpendiculares, foram determinados conforme os procedimentos descritos na norma DIN 52362 (Normen Für Holzfaserplatten Spanplatten Sperrholz - DIN 52362, 1982). Os ensaios de absorção de água, inchamento em espessura, compressão paralela e ligação interna foram

realizados com base na norma ASTM 1037 (American Society for Testing and Material - ASTM, 1999).

Os testes mecânicos foram conduzidos na máquina de ensaio universal (EMIC DL-30000). Os testes físicos foram realizados no Laboratório de Adesão e Adesivos da Unidade Experimental de Produção de Painéis de Madeira (Uepam).

O experimento seguiu o delineamento inteiramente casualizado, no qual foram avaliadas 3 localidades, com 5 repetições por tratamento, totalizando 15 painéis OSB.

Os painéis da localidade de Marechal Floriano estouraram durante a manufatura, portanto as propriedades dos mesmos não foram avaliadas.

#### **4.4.3 Painéis Aglomerados Convencionais**

Para a confecção dos painéis aglomerados foram utilizados partículas de madeira, obtidas a partir dos resíduos do processamento primário da madeira de Cedro Australiano, secas ao teor de umidade de 3% e classificadas em peneira vibratória, adesivo ureia-formaldeído com teor de sólido de 54% e pH 11,5 e parafina na proporção de 1,5%.

As quantidades dos componentes para cada painel foram determinadas de acordo com os parâmetros: densidade nominal dos painéis de  $0,70 \text{ g/cm}^3$ , conteúdo de resina sólida de 9%, baseado no peso seco das partículas, dimensões nominais dos painéis de 480 x 480 x 15 mm e umidade das partículas de 3%.

A resina e a parafina foram aplicadas sobre as partículas por meio de aspersão e homogeneizadas em misturador do tipo tambor rotatório. Em seguida, o colchão foi formado numa caixa formadora de colchão com dimensões laterais de 480 x 480 mm, sobre uma chapa de alumínio.

Depois de formado, o colchão foi submetido a uma pré-prensagem manual. Posteriormente, colocaram-se barras de ferro com espessura de 15 mm,

para garantir a espessura final dos painéis, nas laterais do colchão. Em seguida, foi colocada uma chapa de alumínio sobre a outra face do colchão antes da prensagem.

As chapas foram prensadas em prensa hidráulica a uma temperatura de 160°C e uma pressão de 40 Kgf/cm<sup>2</sup>, por um período de 8 minutos, considerados a partir do fechamento da prensa.

Após a prensagem, os painéis foram mantidos a temperatura ambiente até atingir a umidade de equilíbrio higroscópico. Em seguida, retiraram-se os corpos-de-prova em serra circular esquadrejadeira. Inicialmente, foram retirados aproximadamente 2 cm de cada extremidade dos painéis. Depois de retirados, os corpos-de-prova foram mantidos em câmara climática à temperatura de 20 ± 1 °C e umidade relativa de 65 ± 3%, até estabilização.

O esquema de distribuição dos corpos-de-prova para a avaliação das propriedades físico-mecânicas foi igual ao adotado para os painéis OSB, ilustrado na Figura 1.

O módulo de elasticidade e o módulo de ruptura em flexão estática foram determinados conforme os procedimentos descritos na norma DIN 52362 (DIN, 1982). Os ensaios de absorção de água, inchamento em espessura, compressão paralela e ligação interna foram realizados com base na norma ASTM 1037 (ASTM, 1999).

Os testes mecânicos foram conduzidos na máquina de ensaio universal (EMIC DL-30000). Os testes físicos foram realizados no Laboratório de Adesão e Adesivos da Unidade Experimental de Produção de Painéis de Madeira (UEPAM).

A Tabela 3 representa a descrição dos tratamentos adotados na manufatura dos aglomerados.



TABELA 3 Descrição dos tratamentos adotados na manufatura dos painéis aglomerados de *Toona ciliata* M. Roem.var. *australis*

<b>Localidade</b>	<b>Idade (anos)</b>	<b>Repetição</b>
Campo Belo	4	4
Cana Verde	4	5
Santo Antônio do Amparo	4	5
Marechal Floriano	18	3
<b>Total</b>	<b>--</b>	<b>17</b>

#### 4.4.4 Painéis Cimento-Madeira

Na confecção dos painéis cimento-madeira foi utilizado resíduo do processamento primário (aparas, pontas e costaneiras) bem como da laminação da madeira de *Toona ciliata* M. Roem. var. *australis*, transformadas em partículas do tipo “sliver” em moinho martelo. Posteriormente, as partículas foram submetidas ao tratamento por imersão em água fria por 24 horas para remoção dos extrativos inibidores da cura do cimento. Após o processo de drenagem e lavagem, as mesmas foram secas ao ar até atingir um teor de umidade médio de 12% e classificadas em peneiras para retiradas de finos.

O aglomerante empregado foi de origem hidráulica, designado cimento Portland CP V – ARI/Plus de alta resistência inicial, e como aditivo químico foi utilizado o cloreto de cálcio ( $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ).

O experimento foi instalado segundo um delineamento inteiramente casualizado, no qual foram avaliadas quatro localidades, sendo que Marechal Floriano foi considerado o tratamento padrão (Tabela 4). Foram confeccionados três painéis por localidade, totalizando 12 painéis.

TABELA 4 Descrição dos tratamentos adotados na manufatura dos painéis cimento-madeira de *Toona ciliata* M. Roem. var. *australis*

<b>Localidade</b>	<b>Idade (anos)</b>	<b>Repetição</b>
Campo Belo	4	3
Cana Verde	4	3
Santo Antônio do Amparo	4	3
Marechal Floriano	18	3

Para a manufatura de cada chapa, procedeu-se inicialmente o cálculo de cada componente (madeira, cimento, água e aditivo), seguindo-se a metodologia sugerida por Souza (1994). Para a definição dos componentes da mistura foram considerados os seguintes parâmetros: relação madeira: cimento de 1: 2,75; relação água: cimento de 1: 2,5; taxa água de hidratação: cimento de 0,25 e 4% de cloreto de cálcio com base no peso seco do cimento. Os cálculos foram realizados para densidade nominal do painel de 1,10 g/cm<sup>3</sup> e dimensões de 480 x 480 x 15 mm.

Devidamente pesados, os componentes foram misturados e homogeneizados numa betoneira de eixo inclinado para formação da massa para confecção dos painéis. A massa total dos componentes referente a três repetições de cada tratamento foi misturada ao mesmo tempo. Em seguida, o material foi retirado da betoneira, a massa de cada painel foi devidamente separada, pesada e distribuída aleatoriamente em chapas de alumínio formadoras do colchão, untadas com óleo diesel para facilitar a retirada após prensagem. Antes da distribuição da massa, sobre cada chapa colocou-se barras de ferro com dimensões de 480 mm de comprimento e de largura e 15 mm de espessura, limitando as dimensões finais de cada painel. Após a distribuição do material, colocou-se outra chapa na face superior do colchão e, em seguida, repetiu-se o procedimento até completar três painéis por tratamento.

Os painéis foram prensados a temperatura ambiente, com pressão específica de 40 Kgf/cm<sup>2</sup> por 10 minutos. A prensagem foi adaptada com

sistema de grampeamento para manutenção da espessura, sendo que os painéis são mantidos sob condições naturais de umidade e temperatura por período de 24 horas. Após as 24 horas, os grampos foram retirados e as chapas acondicionadas em câmara climática por um período de 28 dias à temperatura de  $20 \pm 1^\circ\text{C}$  e umidade relativa de  $65 \pm 3\%$ .

Após o processo de maturação e climatização, os painéis foram encaminhados para retirada dos corpos-de-prova para ensaios de absorção de água e inchamento em espessura após 2 horas e 24 horas de imersão em água, densidade aparente dos painéis, flexão estática para determinação do módulo de elasticidade e módulo de ruptura, compressão paralela e ligação interna.

O esquema de retirada dos corpos-de-prova para a determinação das propriedades físico-mecânicas dos painéis cimento-madeira foi idêntico ao adotado para os painéis anteriores, com exceção para o teste de ligação interna, no qual foram retirados 4 amostras por painel. Os ensaios das propriedades foram determinados de acordo as Normas ASTM (1999) e DIN (1982).

#### **4.5 Análises Estatísticas**

Os resultados dos ensaios físicos e mecânicos dos painéis foram submetidos à análise de variância a 5% de significância para avaliar o efeito das localidades.

Para o estudo da variação das propriedades físico-mecânicas dos painéis dentro de cada localidade aos 4 anos de idade (Campo Belo, Cana Verde e Santo Antônio do Amparo), foi realizado o teste de Tukey, a um nível de 5% de significância, através do pacote estatístico SISVAR – Sistema de Análise de Variância. Já o estudo da variação da idade, no qual foram comparados os valores médios de cada município do Sul de Minas Gerais com o padrão Marechal Floriano, foi realizado o teste de Dunnett, a um nível de 5% de significância (Banzatto & Kronka, 2006)

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Caracterização da Madeira de Cedro Australiano

As Tabela 5, 6 e 7 apresentam, respectivamente, os valores médios da densidade básica, dos principais componentes químicos e a frequência e os diâmetros dos vasos da madeira de Cedro Australiano das localidades de Campo Belo, Cana Verde e Santo Antônio do Amparo aos 4 anos de idade.

TABELA 5 Valores médios de densidade básica da madeira de Cedro Australiano aos 4 anos de idade

<b>Localidade</b>	<b>Densidade Básica, g/cm<sup>3</sup></b>
Campo Belo	0,310
Cana Verde	0,320
Santo Antonio do Amparo	0,287
Média geral	0,306

Fonte: Ziech (2008)

TABELA 6 Valores médios dos principais componentes químicos da madeira de Cedro Australiano das localidades de Campo Belo, Cana Verde e Santo Antônio do Amparo

<b>Localidade</b>	<b>Componentes químicos, %</b>			
	Holocelulose	Lignina	Extrativos	Cinzas
Campo Belo	66,01 (3,07) <sup>1</sup>	20,46 (7,01)	12,81 (19,80)	0,91 (8,16)
Cana Verde	62,58 (5,92)	19,90 (6,30)	16,88 (19,32)	0,81 (21,37)
Santo Antonio do Amparo	63,79 (5,11)	20,57 (11,37)	14,77 (19,91)	0,95 (33,51)

<sup>1</sup> Coeficiente de variação, %

Fonte: Ziech (2008)

TABELA 7 Estatística descritiva dos elementos de vasos da madeira de Cedro Australiano das localidades de Campo Belo, Cana Verde e Santo Antônio do Amparo

Localidade	Vasos					
	Frequência (vasos/mm <sup>2</sup> )			Diâmetro (µm)		
	Mín.	Máx.	Média	Mín.	Máx.	Média
Campo Belo	4,00	22,00	10,64	77,72	222,33	145,58
Cana Verde	6,00	22,00	14,00	58,88	208,56	140,19
Santo Antônio do Amparo	5,00	24,00	14,50	66,34	227,34	139,74

Fonte: Ziech (2008)

A Tabela 8 apresenta os valores médios de densidade básica, dos principais componentes químicos da madeira, a frequência e o diâmetro dos vasos da madeira de Cedro Australiano da localidade de Marechal Floriano aos 18 anos de idade.

TABELA 8 Valores médios das características da madeira de Cedro Australiano aos 18 anos de idade e seus respectivos coeficientes de variação

Localidade	DB	TET	LIG	TCZ	HOLO	FREQ	DIAM
Marechal Floriano	0,323	13,0	21,4	0,57	65,1	7,9	163,0
	(4,6%)	(2,1%)	(3,8%)	(2,1%)	(0,9%)	(1,6%)	(7,4%)

DB: Densidade básica (g/cm<sup>3</sup>); TET: Teor de extrativos (%); LIG: Teor de lignina (%); TCZ: Teor de cinzas (%); HOLO: Teor de holocelulose (%); FREQ: Frequência de vasos (vasos/mm<sup>2</sup>); DIAM: Diâmetro dos vasos (µm).

## 5.2 Painéis Compensados

### 5.2.1 Propriedades Físicas dos Painéis Compensados

A Tabela 9 apresenta os valores médios das propriedades físicas dos compensados e os testes de comparação múltipla realizada nas quatro localidades avaliadas.

TABELA 9 Valores médios das propriedades dos compensados estruturais de *Toona ciliata* procedentes das quatro localidades avaliadas

Localização	Umidade (%)	DA (g/cm <sup>3</sup> )	DM (g/cm <sup>3</sup> )	Taxa densificação	AA Total (%)
Campo Belo	9,64 Aa	0,384 Aa	0,310	1,24	116,77 Ba
Cana Verde	9,58 Aa	0,392 Aa	0,320	1,23	117,05 Ba
Santo Antônio do Amparo	9,75 Aa	0,351 Bb	0,287	1,22	134,3 Aa
Marechal Floriano	9,92 a	0,443 a	0,323	1,37	76,87 b
<b>Média geral</b>	<b>9,66</b>	<b>0,382</b>	<b>0,310</b>	-	<b>118,54</b>

Médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de significância. Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste Dunnett a 5% de significância.

DA: Densidade aparente dos painéis; DM: Densidade básica da madeira; AA: Absorção de água após 24 horas de imersão.

Pela Tabela 9 pode-se verificar que somente para o teor de umidade o efeito de local foi não significativo a 95% de probabilidade, indicando que o período de climatização foi adequado para promover a homogeneidade da umidade dos painéis. Observa-se, também, que para a densidade aparente dos compensados produzidos com a madeira de 4 anos de idade, a localidade de Santo Antônio do Amparo apresentou média estatisticamente inferior às de Campo Belo e Cana Verde. Na comparação entre idades, esta localidade também apresentou média estatisticamente inferior à Marechal Floriano. Segundo Kollmann et al. (1975) a densidade aparente do compensado depende da espécie da madeira, da umidade das lâminas, da temperatura e da pressão de prensagem utilizada na manufatura e é cerca de 5% maior do que a da madeira que o originou, quando não são aplicadas pressões elevadas. No entanto, os valores da diferença entre as densidades do painel e da madeira encontrados neste estudo foram superiores ao mencionado pelo autor, no qual variaram entre 22% e 37%.

Considerando-se que, para todas as localidades foram empregados os mesmos procedimentos de manufatura dos painéis, possivelmente a densidade básica da madeira do município de Santo Antônio do Amparo tenha sido a

variável de maior influência sobre a diferença da densidade aparente dos compensados.

Para a absorção de água total dos compensados produzidos com a madeira de 4 anos de idade, a localidade de Santo Antônio do Amparo apresentou média estatisticamente superior em relação às localidades de Campo Belo e Cana Verde. Verifica-se também que a idade influenciou significativamente a absorção de água total dos compensados, no qual a localidade de Marechal Floriano apresentou valor médio estatisticamente inferior em relação às outras localidades.

A absorção de água está estritamente relacionada com a densidade e com a porosidade do material lenhoso. Pode-se observar que os valores encontrados neste trabalho para absorção de água total estão acima dos valores obtidos na literatura para compensados confeccionados com outras madeiras. Provavelmente a baixa densidade do Cedro Australiano e a característica dos vasos desta madeira, que ocorrem em anéis semi-porosos, podem ter afetado de forma negativa essa propriedade, podendo limitar seu uso em condições à exposição em ambientes úmidos.

## **5.2.2 Propriedades Mecânicas**

### **5.2.2.1 Flexão Estática**

Para MOE e MOR paralelo, MOE e MOR perpendicular o efeito de localidade foi significativo a 5% de significância.

Os valores médios para módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) em flexão estática, nos ensaios paralelo e perpendicular às fibras e os testes de comparação múltipla estão apresentados na Tabela 10.

TABELA 10 Valores médios de módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) em flexão estática, nos sentidos paralelo e perpendicular às fibras.

Localização	Flexão paralela		Flexão perpendicular	
	MOE	MOR	MOE	MOR
----- Kgf/cm <sup>2</sup> -----				
Campo Belo	48.684 Ab (12,50)	321,23 Ab (16,70)	16.878 Bb (6,60)	193,48 Ab (3,50)
Cana Verde	57.965 Ab (7,60)	361,56 Ab (5,60)	21.101 Aa (12,90)	217,36 Aa (15,90)
Santo Antônio do Amparo	51.443 Ab (2,60)	340,84 Ab (2,60)	17.893 Bb (6,30)	180,68 Ab (8,30)
Marechal Floriano	77.189 a (5,90)	525,67 a (3,10)	22.921 a (3,00)	233,73 a (2,90)
<b>Média Geral</b>	<b>56.779</b>	<b>371,95</b>	<b>19.340</b>	<b>203,27</b>

Médias seguidas de mesma letra maiúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de significância. Médias seguidas de mesma letra minúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste Dunnett a 5% de significância. Entre parênteses: Coeficiente de variação (%).

Para MOE e MOR dos compensados, no ensaio de flexão paralelo às fibras, produzidos com a madeira de 4 anos de idades não houve diferença estatística significativa entre as localidades, porém estas apresentaram valores estatisticamente inferiores à Marechal Floriano.

A localidade de Cana Verde obteve valor médio estatisticamente superior em relação às outras localidades para MOE no ensaio perpendicular às fibras dos compensados produzidos com madeira de 4 anos de idade. Na comparação entre idades, as localidades de Campo Belo e Santo Antônio do Amparo apresentaram valores médios estatisticamente inferiores em relação à Marechal Floriano. Para MOR no ensaio perpendicular às fibras dos compensados produzidos com madeira de 4 anos não houve diferença estatística significativa entre as três localidades. Na comparação entre idades, Marechal



Floriano obteve valor médio estatisticamente superior em relação às localidades de Campo Belo e Santo Antônio do Amparo.

A norma NBR 31.000.001/2:2001 estabelece valores de MOE mínimo, para o ensaio no sentido paralelo às fibras para compensado do tipo forma de concreto (FOR), com a utilização de cinco lâminas na sua constituição, de 51.000kgf/cm<sup>2</sup>, enquanto, para o sentido perpendicular, de 25.493 kgf/cm<sup>2</sup>. Desse modo, apenas a localidade de Campo Belo não atingiu o mínimo estabelecido para módulo de elasticidade paralelo às fibras da capa, com 48.684 kgf/cm<sup>2</sup>. As demais localidades apresentaram valores acima dos exigidos. Para módulo de elasticidade perpendicular às fibras, observa-se que nenhuma localidade atingiu o valor mínimo exigido.

Para módulo de ruptura a norma NBR 31.000.001/2:2001 estabelece valores mínimos de MOR paralelo para compensados tipo forma de concreto (FOR) de 459 kgf/cm<sup>2</sup>. Para esta propriedade somente a localidade de Marechal Floriano atendeu ao mínimo exigido.

Para MOR perpendicular à grã da capa nenhuma localidade atingiu o valor mínimo estabelecido pela norma (306 kgf/cm<sup>2</sup>).

No geral, os resultados obtidos pelos ensaios de flexão estática dos painéis da localidade de Marechal Floriano foram superiores aos das localidades com madeira de 4 anos de idade, indicando que o uso de madeira juvenil na confecção dos compensados prejudicou as propriedades de resistência e rigidez dos mesmos. A madeira juvenil apresenta menor densidade, paredes celulares mais finas e maior ângulo das microfibrilas de celulose na camada S<sub>2</sub>, sendo esta última característica a maior responsável pela grande diferença de resistência e rigidez entre a madeira adulta e juvenil (Cave & Walker, 1994, citado por Ballarin & Palma, 2003).

### 5.2.2.2 Resistência ao Cisalhamento

Para a resistência ao cisalhamento nas condições seco, úmido e pós-fervura o efeito das localidades foi significativo a 95% de probabilidade.

Os resultados dos ensaios de resistência de colagem ao esforço do cisalhamento, realizados nas condições seca, úmida e pós-fervura, estão apresentados na Tabela 11.

TABELA 11 Valores de resistência ao cisalhamento nas condições seco (CS), úmido (CU) e pós-fervura (CF) dos compensados de *T. ciliata*

Localização	CS	CU	CF
	----- MPa -----		
Campo Belo	1,21 Ab	1,37 Ab	1,27 Ab
Cana Verde	1,24 Ab	1,50 Ab	1,42 Ab
Santo Antônio do Amparo	1,31 Ab	1,47 Ab	1,39 Ab
Marechal Floriano	1,66 a	1,97 a	1,82 a

Médias seguidas de mesma letra maiúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de significância. Médias seguidas de mesma letra minúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste Dunnett a 5% de significância.

Para os testes seco, úmido e pós-fervura não foram constatadas diferenças significativas entre as localidades com madeira de Cedro Australiano aos 4 anos, porém todas estas foram significativamente inferiores à localidade com material aos 18 anos de idade (Marechal Floriano).

No geral, pode-se verificar que a madeira de Cedro Australiano não apresentou bom desempenho quanto à colagem, pois os compensados apresentaram baixa resistência da linha de colagem ao esforço de cisalhamento. Provavelmente o alto teor de extrativos voláteis da madeira de Cedro Australiano pode ter influenciado de forma negativa sobre esta propriedade.

Outro aspecto a ser considerado são a densidade e a porosidade da madeira, que têm influência direta na formação da linha de cola e na ligação

entre as lâminas que constituem a chapa (Marra, 1992). Ziech (2008), ao estudar as características anatômicas da madeira de Cedro Australiano das localidades de Campo Belo, Cana Verde e Santo Antônio do Amparo aos 4 anos de idade, cita que a madeira dessa espécie pode não apresentar boa performance quando submetida à colagem por apresentar porosidade em anéis semi-porosos, onde os poros do lenho inicial são maiores que os do lenho tardio. Segundo Iwakiri (2005), essa característica pode causar problemas em relação à penetração do adesivo, resultando em linha de cola “faminta” ou “espessa”.

### 5.3 Propriedades dos Painéis OSB

#### 5.3.1 Propriedades Físicas

##### 5.3.1.1 Densidade e Razão de Compactação

Os valores médios da densidade básica da madeira de Cedro Australiano, da densidade dos painéis e as razões de compactação estão apresentados na Tabela 12.

TABELA 12 Valores médios de densidades da madeira, das chapas e razão de compactação dos painéis OSB de Cedro Australiano aos 4 anos de idade

Localidade	Densidade da madeira	Densidade dos painéis	Razão de compactação
	----- g/cm <sup>3</sup> -----		
Campo Belo	0,310	0,616 A	1,99
Cana Verde	0,320	0,618 A	1,93
Santo Antônio do Amparo	0,287	0,598 A	2,09

Para a densidade aparente dos painéis OSB o efeito de local foi não significativo a 95% de probabilidade, indicando que o processo de deposição das partículas e a formação do colchão foram homogêneos. Portanto, os seus valores foram um pouco inferiores em comparação à densidade nominal de 0,65 g/cm<sup>3</sup> estabelecida no delineamento experimental. A explicação para tais diferenças

pode ser atribuída às condições de perdas de materiais durante o manuseio das partículas, formação do colchão e prensagem das chapas.

A razão de compactação dos OSB foi satisfatória, no qual atingiram valores acima da faixa considerada ideal de 1,3 a 1,6 para chapas de boa resistência mecânica, recomendadas por Moslemi (1974) e Maloney (1993).

De acordo com Kelly (1997), as propriedades mecânicas dos painéis apresentam relação direta com a razão de compactação, porém apresenta relação inversa com as propriedades físicas.

### 5.3.1.2 Absorção de Água e Inchamento em Espessura Após 2 e 24 Horas de Imersão

Os valores médios de absorção de água e inchamento em espessura, após 2 horas e 24 horas de imersão, estão apresentados na Tabela 13.

TABELA 13 Valores médios de absorção de água e inchamento em espessura, após 2 horas e 24 horas de imersão, dos painéis OSB de Cedro Australiano aos 4 anos de idade

Localidade	Absorção de água		Inchamento em espessura	
	2 horas	24 horas	2 horas	24 horas
	----- % -----			
Campo Belo	20,28 A (24,58 %) <sup>1</sup>	44,33 A (17,63 %)	6,34 A (14,86%)	13,31 A (15,20 %)
Cana Verde	21,95 A (18,86 %)	50,21 A (13,59 %)	6,84 A (17,41 %)	15,21 A (15,95 %)
Santo Antônio do Amparo	21,29 A (19,12 %)	50,35 A (17,85 %)	6,98 A (23,22 %)	15,91 A (22,71 %)
<b>Média geral</b>	<b>21,17</b>	<b>48,29</b>	<b>6,72</b>	<b>14,81</b>

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

<sup>1</sup>: Coeficiente de variação do tratamento

Pela Tabela 13 pode-se verificar que a absorção de água e o inchamento em espessura, após 2 horas e 24 horas de imersão, o efeito de local foi não significativo a 95% de probabilidade.

Os valores observados neste estudo para absorção de água estão abaixo de alguns encontrados na literatura em estudos de painéis OSB utilizando outras espécies. Mendes (2001), avaliando a viabilidade de produção de painéis OSB de pinus com densidade nominal de 0,65 g/cm<sup>3</sup>, encontrou 37,17% e 63,75%, para absorção de água após 2 horas e 24 horas, respectivamente. Vidaurre et al. (2004), estudando painéis de mulungu e guapuruvu encontraram valores médios para absorção de água a 2 horas de 29% e 21%, respectivamente. Após 24 horas os valores encontrados foram de 50% e 45%, para as duas espécies. Os autores sugerem que os altos valores podem ser justificados por não inserirem emulsão de parafina na confecção dos painéis.

Os valores obtidos para inchamento em espessura após 24 horas foram inferiores ou compatíveis a alguns encontrados na literatura, porém superiores ao mínimo exigido pela norma canadense CSA 0437 (CSA, 1993) que é de 10% para painéis com espessura acima de 12,7 mm. Viadurre et al. (2004), avaliando a produção de painéis de duas espécies da mata atlântica com densidade nominal de 0,65 g/cm<sup>3</sup> e 8% de adesivo, encontraram para essas propriedades um valor médio de 50,3%, porém os autores não mencionam a incorporação de emulsão de parafina na confecção das chapas.

Segundo Mendes et al. (2002), a incorporação de parafina ao colchão acarreta na redução da higroscopicidade das partículas, pois esta reage quimicamente com a substância madeira ocupando os sítios higroscópicos (OH), e seu emprego não deve ultrapassar a proporção máxima de 1,5 %, baseado no peso seco das partículas. Desse modo, os painéis absorverão menos água, e em decorrência disso, o inchamento em espessura é reduzido (Mendes et al., 2002). Segundo Brito (1995), o inchamento em espessura é uma das propriedades de

maior importância em termos de estabilidade dimensional das chapas, podendo ser afetada pelas espécies de madeira, geometria das partículas, nível de resina, eficiência da aplicação da resina e condições de prensagem.

### 5.3.2 Propriedades Mecânicas

#### 5.3.2.1 Flexão Estática

Os valores médios para módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) em flexão estática, nos ensaios paralelo e perpendicular às fibras, dos OSB estão apresentados na Tabela 14.

TABELA 14 Valores médios para módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) dos painéis OSB de Cedro Australiano aos 4 anos de idade

Localidade	Flexão paralela		Flexão perpendicular	
	MOE	MOR	MOE	MOR
	----- Kgf/cm <sup>2</sup> -----			
Campo Belo	22.151 A (8,19 %) <sup>1</sup>	105,29 A (21,35 %)	12.995 A (19,06 %)	67,06 A (26,62 %)
Cana Verde	24.200 A (9,56 %)	113,96 A (18,85 %)	11.186 A (16,38 %)	60,62 A (12,16 %)
Santo Antônio do Amparo	22.841 A (9,16 %)	117,30 A (15,26 %)	13.103 A (15,53 %)	69,35 A (16,17 %)
<b>Média geral</b>	<b>23.064</b>	<b>112,18</b>	<b>12.428</b>	<b>65,68</b>

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.<sup>1</sup>: Coeficiente de variação

Para flexão estática, nos ensaios paralelos e perpendiculares às fibras, o efeito de local foi não significativo a 95% de probabilidade.

Os valores de flexão estática obtidos neste estudo não atingiram aos mínimos estabelecidos pela norma CSA 0437 (CSA, 1993), que são respectivamente de 55.000 Kgf/cm<sup>2</sup> e 290 Kgf/cm<sup>2</sup> para MOE e MOR paralelo e

de 15.000 Kgf/cm<sup>2</sup> e 124 Kgf/cm<sup>2</sup> para MOE e MOR perpendicular, respectivamente.

Provavelmente o emprego de madeira juvenil na manufatura dos painéis OSB tenha afetado de forma negativa as propriedades de resistência dos mesmos. Outro fator que pode ter afetado a qualidade dos OSB são os altos teores de extrativos voláteis presentes na madeira de *T. ciliata*. No geral, altos teores de extrativos podem provocar estouros no final do ciclo de prensagem, além do mais podem interferir na cura do adesivo criando uma ligação de baixa resistência entre as partículas. Talvez o tratamento de submersão das partículas em água fria ou em água fervente seja uma alternativa viável para redução dos teores de extrativos e melhorar as propriedades dos painéis.

### 5.3.2.2 Compressão Paralela e Ligação Interna

Os valores médios de compressão paralela e ligação interna dos painéis OSB estão apresentados na Tabela 15.

TABELA 15 Valores médios de compressão paralela e ligação interna dos painéis OSB de Cedro Australiano aos 4 anos de idade

Localização	Compressão paralela	Ligação interna
	----- Kgf/cm <sup>2</sup> -----	
Campo Belo	66,90 A (10,39%) <sup>1</sup>	8,54 A (14,43%)
Cana Verde	66,58 A (13,62%)	9,35 A (4,29%)
Santo Antônio do Amparo	59,40 A (20,11%)	6,98 B (10,00%)
<b>Média geral</b>	<b>64,29</b>	<b>8,29</b>

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. <sup>1</sup>: Coeficiente de variação

Pela Tabela 15 pode-se verificar que somente para compressão paralela o efeito de local foi não significativo a 95% de probabilidade. Observa-se, também, que para ligação interna a localidade de Santo Antônio do Amparo apresentou valor médio estatisticamente inferior em relação às localidades de Campo Belo e Cana Verde a 95% de probabilidade.

No entanto, os valores obtidos neste estudo para ligação interna foram superiores aos definidos pela norma canadense CSA 0437 (CSA, 1993) que é de 3,45 Kgf/cm<sup>2</sup>, superando em média mais de 50%.

O bom desempenho dos painéis OSB em relação à ligação interna dos painéis se deve, principalmente, ao alto valor da razão de compactação dos mesmos.

## 5.4 Painéis Aglomerados

### 5.4.1 Propriedades Físicas

#### 5.4.1 Densidade Aparente e Razão de Compactação

Os valores médios de densidade básica da madeira, densidade aparente dos painéis e da razão de compactação dos aglomerados de Cedro Australiano estão apresentados na Tabela 16.

TABELA 16 Valores médios de densidade básica da madeira, densidade aparente e razão de compactação dos painéis aglomerados de Cedro Australiano

Localização	Densidade da madeira	Densidade aparente	Razão de compactação
	----- g/cm <sup>3</sup> -----		
Campo Belo	0,310	0,69 Aa	2,23 ABa
Cana Verde	0,320	0,65 Aa	2,02 Ba
Santo Antonio do Amparo	0,287	0,70 Aa	2,44 Aa
Marechal Floriano	0,323	0,71 a	2,21 a
<b>Média Geral</b>	<b>0,310</b>	<b>0,68</b>	<b>2,23</b>

Médias seguidas de mesma letra maiúscula, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de significância. Médias seguidas de mesma letra minúscula, não diferem entre si pelo teste de Dunnett a 5 % de significância.



Para densidade aparente dos painéis aglomerados o efeito de local foi não significativo a 95% de probabilidade, podendo-se dizer que o processo de deposição das partículas e a formação do colchão foram homogêneos, entretanto as localidades de Campo Belo e Cana Verde apresentaram valores inferiores em comparação à densidade nominal de  $0,70 \text{ g/cm}^3$  estabelecida no delineamento experimental. A explicação para tais diferenças pode ser atribuída às condições de perdas de materiais durante o manuseio das partículas, formação do colchão e prensagem das chapas.

Para a razão de compactação dos aglomerados o efeito de local foi significativo a 95% de probabilidade. Pode-se verificar que para os painéis produzidos com madeira de 4 anos, Santo Antônio do Amparo apresentou o maior valor médio, no qual foi estatisticamente superior somente em relação à localidade de Cana Verde. Na comparação entre idades, não houve diferenças estatísticas significativas entre as localidades.

A razão de compactação foi satisfatória, no qual atingiu valores acima da faixa ideal de 1,3 a 1,6 recomendadas por Moslemi (1974) e Maloney (1993) para chapas de boa resistência mecânica. As propriedades mecânicas dos painéis podem ser melhoradas com o aumento da razão de compactação, porém as propriedades físicas podem ser comprometidas (Kelly, 1997).

#### **5.4.1.2 Absorção de Água e Inchamento em Espessura Após 2 e 24 Horas de Imersão**

Os valores médios de absorção de água e inchamento em espessura, após 2 horas e 24 horas de imersão, são apresentados na Tabela 17.

TABELA 17 Valores médios de absorção de água e inchamento em espessura após 2 horas e 24 horas de imersão em água

Localidade	Absorção de água		Inchamento em espessura	
	2h	24h	2h	24h
	----- % -----			
Campo Belo	19,3 Bb	39,9 Bb	6,9 Ba	14,0 ABa
Cana Verde	38,1 Aa	69,0 Aa	11,6 Aa	21,2 Aa
Santo Antonio do Amparo	11,7 Bb	29,3 Bb	5,0 Ba	11,2 Ba
Marechal Floriano	15,1 b	34,5 b	8,8 a	16,0 a
<b>Média Geral</b>	<b>21,8</b>	<b>44,4</b>	<b>8,05</b>	<b>15,6</b>

Médias seguidas de mesma letra maiúscula, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de significância. Médias seguidas de mesma letra minúscula, não diferem entre si pelo teste de Dunnett a 5 % de significância.

Para a absorção de água as localidades apresentaram comportamentos semelhantes por 2 horas e 24 horas de imersão, onde a localidade de Cana Verde foi à localidade que apresentou os maiores valores e estatisticamente superiores em relação às demais localidades.

A correlação entre a densidade aparente e as absorções de água após 2 horas e 24 horas de imersão e a correlação entre a razão de compactação e as absorções de água após 2 horas e 24 horas de imersão estão apresentadas na Figura 2.

Embora não tenham sido encontradas diferenças significativas entre as densidades dos painéis de *T. ciliata*, a correlação obtida mostra que há uma tendência de redução das absorções de água após 2 horas e 24 horas de imersão com o aumento da densidade aparente das chapas ( $R^2 = 0,92$ ). Sobre esse aspecto, Dacosta et al. (2005) também verificaram a mesma tendência para painéis confeccionados a partir de resíduos do processamento mecânico da madeira de *Pinus elliotii*.

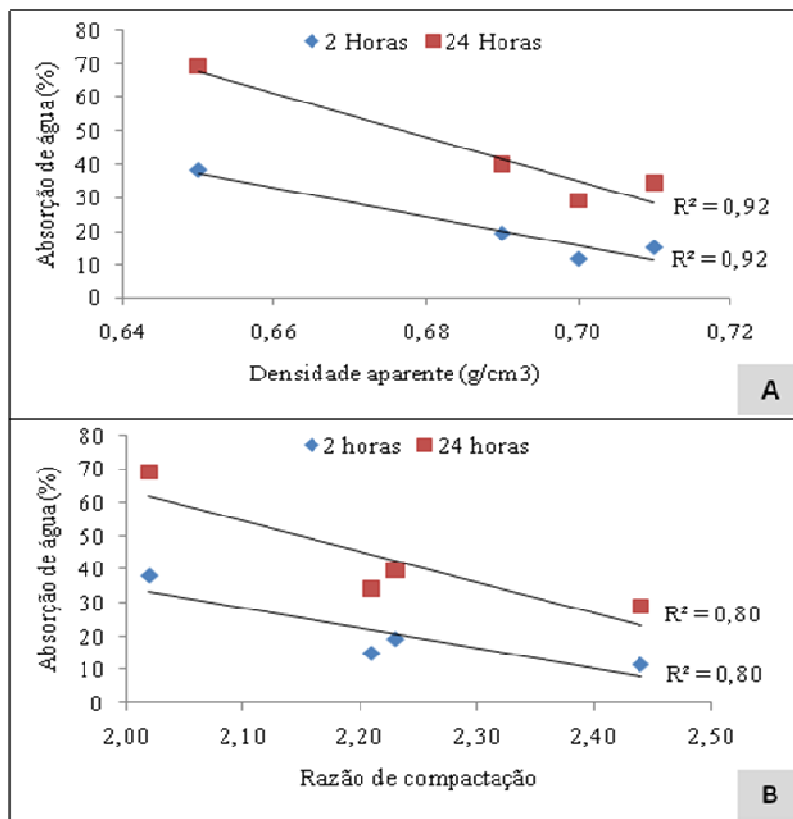


FIGURA 2 Esquema ilustrativo das correlações entre as propriedades físicas dos aglomerados: A) Correlação entre densidade aparente e absorção de água após 2 horas e 24 horas de imersão; B) Correlação entre razão de compactação e absorção de água após 2 horas e 24 horas de imersão.

A correlação entre a razão de compactação e as absorções de água após 2 horas e 24 horas de imersão, também mostrou que há uma tendência do aumento da absorção de água com a redução da razão de compactação ( $R^2 = 0,80$ ). Esse aumento da AA pode ser explicado pelo fato de que a compactação de maior quantidade de massa lenhosa diminui a quantidade de vazios entre as partículas, produzindo uma barreira física que impede a absorção de água capilar.

Para o inchamento em espessura após 2 horas de imersão em água das localidades com material de 4 anos de idade, Cana Verde apresentou valor estatisticamente superior em relação a Campo Belo e Santo Antônio do Amparo, porém, na comparação entre idades, esta foi a única localidade que não apresentou diferença estatística significativa em relação ao padrão (Marechal Floriano).

Para inchamento em espessura após 24 horas de imersão em água das localidades com material de 4 anos de idade, os resultados de Cana Verde foram superiores estatisticamente aos de Santo Antônio do Amparo, porém não apresentaram diferenças estatísticas significativas em relação a Campo Belo. Na comparação entre idades, não houve diferenças estatísticas significativas entre as localidades.

Os tratamentos avaliados para inchamento em espessura após 2 horas e 24 horas de imersão apresentaram valores médios inferiores a alguns encontrados na literatura e ao valor mínimo requerido pela norma americana CS 236-66 (1968), que é de 35 %. Iwakiri et al. (2001) avaliaram a produção de painéis aglomerados de 5 espécies de pinus tropicais com densidade nominal de  $0,70 \text{ g/cm}^3$  e encontraram valores médios superiores aos do presente estudo, que foram de 30 % e 36,2 %, respectivamente, para absorção de água após 2 horas e 24 horas de imersão, porém os autores não mencionam a inclusão de parafina na confecção das chapas.

#### **5.4.2 Propriedades Mecânicas**

Os valores médios de módulo de ruptura (MOR), módulo de elasticidade (MOE), compressão paralela (CP) e ligação interna (LI) são apresentados na Tabela 18.

TABELA 18 Valores médios de módulo de ruptura (MOR), módulo de elasticidade (MOE), compressão paralela (CP) e ligação interna dos painéis aglomerados de *T. ciliata*.

Localização	MOR	MOE	CP	LI
	----- Kgf/cm <sup>2</sup> -----			
Campo Belo	180,0 Ab	14.317,9 Aa	102,08 Aa	13,30 Aa
Cana Verde	147,9 Ab	12.807,5 Aa	96,32 Aa	13,58 Aa
Santo Antonio do Amparo	171,5 Ab	12.538,7 Aa	91,60 Aa	13,40 Aa
Marechal Floriano	222,3 a	13.564,2 a	102,08 a	11,83 a
<b>Média Geral</b>	<b>175,53</b>	<b>13.217,38</b>	<b>94,59</b>	<b>13,15</b>

Médias seguidas de mesma letra maiúscula, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de significância. Médias seguidas de mesma letra minúscula, não diferem entre si pelo teste de Dunnett a 5 % de significância.

Pela Tabela 18 pode-se verificar que somente para o módulo de ruptura o efeito de local foi significativo a 95% de probabilidade.

A partir dos resultados obtidos para MOR, pode-se constatar que houve influência da idade sobre esta propriedade, sendo que Marechal Floriano apresentou média estatisticamente superior em relação às outras localidades com material de 4 anos de idade. Talvez tal fato possa ser explicado devido à melhor organização do ângulo microfibrilar da madeira com o aumento da idade, o que ocasiona melhoria das suas propriedades mecânicas.

Os valores de MOR obtidos neste estudo foram compatíveis ou superiores aos encontrados na literatura para outras espécies florestais e superiores ao valor mínimo estabelecido pela norma CS 236-66 (1968) para chapas de partículas com densidade entre 0,60 e 0,80g/cm<sup>3</sup>, que é de 112 kgf/cm<sup>2</sup>. Brito & Silva (2002) utilizaram madeiras de folhosas de média densidade na confecção de aglomerados e encontraram valores entre 84,1 e 140,2 kgf/cm para MOR.

As médias encontradas para MOE das diferentes localidades não atingiram ao valor mínimo referenciado pela norma CS 236-66 (1968), que é de 24.500kgf/cm<sup>2</sup>.

Todos os tratamentos apresentaram valores satisfatórios de ligação interna, no qual superaram ao mínimo estabelecido pela norma americana CS 236-66 (1968) para chapas de partículas com densidade entre 0,60 e 0,80g/cm<sup>3</sup>, que é de 4,9 Kgf/cm<sup>2</sup>. O bom desempenho dos painéis à ligação interna se deve provavelmente aos altos valores da razão de compactação promovidos pela madeira de *T. ciliata*, porque segundo Kollmann et al. (1975), madeiras de baixa densidade básica são mais maleáveis e mais fáceis de comprimir, assim favorece a criação de uma forte ligação entre as partículas.

## 5.5 Painéis Cimento-madeira

### 5.5.1 Propriedades Físicas

#### 5.5.1 Densidade Aparente

Na Tabela 19 estão apresentados os valores médios da densidade aparente dos painéis cimento-madeira de Cedro Australiano.

TABELA 19 Valores médios de densidade aparente (g/cm<sup>3</sup>) dos painéis cimento-madeira de *T. ciliata* dos municípios de Campo Belo, Cana Verde, Santo Antônio do Amparo e Marechal Floriano.

<b>Localidade</b>	<b>Densidade aparente, g/cm<sup>3</sup></b>
Campo Belo	1,14 Aa
Cana Verde	1,24 Aa
Santo Antônio do Amparo	1,16 Aa
Marechal Floriano	1,16 a
<b>CV (%)</b>	<b>3,60</b>

Médias seguidas de mesma letra maiúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ). Médias seguidas de mesma letra minúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Dunnett ( $P \leq 0,05$ ). CV: Coeficiente de Variação.

Para a densidade aparente dos painéis cimento-madeira o efeito de local foi não significativo a 95% de probabilidade, indicando que houve um controle em laboratório do processo de deposição das partículas e da formação do colchão durante a confecção dos painéis.

### 5.5.1.2 Absorção de Água e Inchamento em Espessura Após 2 e 24 Horas de Imersão

Os valores médios de absorção de água (AA) e de inchamento em espessura (IE), após 2 horas e 24 horas de imersão, os testes de comparação múltipla estão apresentados na Tabela 20.

TABELA 20 Valores médios de absorção de água (AA) e inchamento em espessura (IE) após 2 e 24 horas de imersão dos painéis cimento-madeira de *T. ciliata* dos municípios de Campo Belo, Cana Verde, Santo Antônio e Marechal Floriano.

Localidade	AA		IE	
	2 horas	24 horas	2 horas	24 horas
	----- % -----			
Campo Belo	6,37 Ba	12,8 Aa	0,37 Ab	0,77 Aa
Cana Verde	10,50 Aa	14,40 Aa	0,47 Aa	0,78 Aa
Santo Antônio do Amparo	10,33 Aa	14,47 Aa	0,35 Ab	0,34 Aa
Marechal Floriano	9,20 a	14,30 a	0,97 a	0,73 a
<b>Média geral</b>	<b>9,1</b>	<b>13,99</b>	<b>0,54</b>	<b>0,66</b>
<b>CV (%)</b>	<b>14,55</b>	<b>9,78</b>	<b>42,30</b>	<b>29,29</b>

Médias seguidas de mesma maiúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ). Médias seguidas de mesma letra minúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Dunnett ( $P \leq 0,05$ ). CV: Coeficiente de Variação.

A análise de variância indicou que o efeito de localidade foi significativo para a absorção de água (AA) e para o inchamento em espessura (IE), após 2 horas de imersão. Porém, para a absorção de água e para o

inchamento em espessura, após 24 horas de imersão, não foram encontradas diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos, independentes do local de crescimento e da idade da madeira de Cedro Australiano.

A absorção de água, após 2 horas de imersão, dos painéis produzidos com madeira de 4 anos de idade, a localidade de Campo Belo obteve média estatisticamente inferior às de Cana Verde e Santo Antônio do Amparo, porém estas localidades não apresentaram diferenças estatísticas significativas em relação ao padrão Marechal Floriano, mostrando que a idade não influenciou essa propriedade.

Os valores para absorção de água após 2 horas e 24 horas de imersão observados nesse estudo estão compatíveis ou abaixo de alguns resultados apresentados na literatura para painéis confeccionados com as madeiras mais empregadas. Iwakiri & Prata (2008b) encontraram para absorção de água após 24 horas um valor médio de 14,05 % em chapas cimento-madeira de *Pinus taeda*. Latorraca (2000), estudando a influência de quatro espécies de eucalipto, encontrou, para a mesma propriedade, valores médios entre 15,69 e 22,22%.

O inchamento em espessura (IE), após 2 horas de imersão em água, dos painéis produzidos com madeira de 4 anos de idade não apresentaram diferenças estatísticas significativas entre localidades. Já na comparação entre idades, observa-se que as médias dos painéis produzidos com madeiras das localidades de Campo Belo e Santo Antônio do Amparo foram estatisticamente inferiores à Marechal Floriano, sendo este último representado pelo maior valor absoluto, que foi de 0,97%.

Os valores encontrados nesse estudo para inchamento em espessura após 2 horas e 24 horas de imersão em água são inferiores a algumas encontradas na literatura para outras espécies mais estudadas e à faixa mínima admitida pelo processo Bison Wood-Cemente Board (1978), que é de 0,80% e entre 1,2 a 1,8 %, respectivamente, para inchamento em espessura após 2 horas e 24 horas



de imersão em água. Comercialmente, os painéis cimento-madeira apresentam valores de 1,0% e entre 1,50 % a 1,80 %, respectivamente, para inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão em água (Viroc, 2004). Silva et al. (2005) encontraram para inchamento em espessura após 2 horas e 24 horas de imersão valores médios entre 0,68% a 1,25% e 1,20% a 5,54 %, respectivamente, em compósitos de madeira de *Eucalyptus urophylla*, com ou sem inclusão de casca.

Uma das propriedades que mais caracterizam os painéis cimento-madeira e os tornam diferentes de outros tipos de painéis reconstituídos de madeira é a sua alta estabilidade dimensional, podendo ser empregados em ambientes com grande variação de umidade.

Os valores para absorção de água após 2 horas e 24 horas de imersão observados nesse estudo estão compatíveis ou abaixo de alguns resultados apresentados na literatura. Santos et al. (2008), utilizando resíduos de candeia associados ao eucalipto e ao pinus, em diferentes proporções, na produção de painéis cimento-madeira, encontraram valores médios para absorção de água após 2 horas de imersão entre 9,18 % e 13,54 %. Iwakiri & Prata (2008b) encontraram um valor médio de absorção de água após 24 horas em chapas cimento-madeira de *Pinus taeda* de 14,05 %. Latorraca (2000), estudando a influência de quatro espécies de eucalipto, encontrou, para a mesma propriedade, valores médios entre 15,69 e 22,22%.

Para inchamento em espessura após 2 horas de imersão os valores médios variaram entre 0,35% a 0,97%, obtidos respectivamente por Campo Belo e Marechal Floriano. Entre os materiais de 4 anos de idade, representados pelas localidades de Campo Belo, Cana Verde e Santo Antônio do Amparo, não foram encontradas diferenças estatísticas significativas. Porém, na comparação entre essas localidades com o padrão, pode-se observar que, exceto Cana Verde, as localidades de Campo Belo e Santo Antônio do Amparo diferiram

estatisticamente de Marechal Floriano, mostrando que a idade e a densidade da madeira podem ter influenciado essa propriedade.

Não foram encontradas diferenças significativas entre as diferentes localidades para inchamento em espessura após 24 horas e seus valores médios variaram de 0,34 % a 0,78 %.

Os valores encontrados nesse estudo para inchamento em espessura após 2 horas e 24 horas de imersão em água são inferiores a alguns encontrados na literatura e à faixa mínima admitida pelo processo Bison Wood-Cemente Board (1978), que é de 0,80% e entre 1,2 a 1,8 % para inchamento em espessura após 2 horas e 24 horas de imersão em água, respectivamente. Comercialmente, os painéis cimento-madeira apresentam valores de 1,0% e entre 1,50 % a 1,80 %, respectivamente para inchamento em espessura após 2 horas e 24 horas de imersão em água (Viroc, 2004). Silva et al. (2005) encontraram para inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão valores médios entre 0,68% a 1,25% e 1,20% a 5,54 %, respectivamente, em compósitos de madeira de *Eucalyptus urophylla*, com ou sem inclusão de casca.

A alta estabilidade dimensional é uma das propriedades que mais caracterizam e diferenciam os painéis cimento-madeira de outros tipos de chapas, podendo ser indicados para usos em ambientes úmidos.

### **5.5.1 Propriedades Mecânicas**

Os valores médios de módulo de elasticidade (MOE), módulo de ruptura (MOR), compressão paralela (CP), ligação interna (LI) e os testes de comparação múltipla estão apresentados na Tabela 21.

TABELA 21 Valores médios de MOE, MOR, dos painéis cimento-madeira de *T. ciliata* dos municípios de Campo Belo, Cana Verde, Santo Antônio e Marechal Floriano.

Localidade	Flexão estática		CP	LI
	MOE	MOR		
	----- Kgf/cm <sup>2</sup> -----			
Campo Belo	45749,83 Aa	112,14 Aa	106,33 Aa	11,76 Aa
Cana Verde	43548,11 Aa	64,83 Bb	88,08 ABb	9,86 Aa
Santo Antônio do Amparo	43936,73 Aa	66,33 Bb	64,03 Bb	9,57 Aa
Marechal Floriano	47891,60 a	93,67 a	116,43 a	10,08 a
<b>Média geral</b>	<b>45281,57</b>	<b>84,24</b>	<b>93,72</b>	<b>10,32</b>
<b>CV (%)</b>	<b>9,16</b>	<b>5,59</b>	<b>11,27</b>	<b>8,48</b>

Médias seguidas de mesma maiúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ). Médias seguidas de mesma letra minúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Dunnett ( $P \leq 0,05$ ). CV: Coeficiente de Variação.

Para o teste de flexão estática, pode-se verificar que somente para o módulo de elasticidade (MOE) o efeito de localidade foi não significativo a 5% de probabilidade. Observa-se ainda que para o módulo de ruptura (MOR) dos painéis produzidos com a madeira de 4 anos de idade, a localidade de Campo Belo apresentou média estatisticamente superior às de Cana Verde e Santo Antônio do Amparo. Já na comparação entre idades, as localidades de Cana Verde e Santo Antônio do Amparo também apresentaram valores estatisticamente inferiores à Marechal Floriano.

Os valores de MOE obtidos neste estudo foram satisfatórios, no qual foram superiores aos comumente encontrados na literatura para outras espécies mais empregadas e ao valor mínimo exigido pelo processo Bison Wood-Cement Board (1978), que é de 30.000 Kgf/cm<sup>2</sup>. Latorraca & Iwakiri (2000) obtiveram valores para MOE variando entre 15.176 Kgf/cm<sup>2</sup> e 44.005 Kgf/cm<sup>2</sup>, para painéis de *Eucalyptus dunnii* com densidade nominal de 1,2 g/cm<sup>3</sup>.

Para MOR, somente os valores obtidos pelas localidades de Campo Belo e Marechal Floriano foram superiores ao valor mínimo estabelecido pelo processo Bison Wood-cement Board (1978), que está em torno de 90 Kgf/cm<sup>2</sup>. Porém, os valores encontrados foram compatíveis ou superiores aos encontrados na literatura para outras espécies mais estudadas. Latorraca (2000), estudando as propriedades de painéis confeccionados com diferentes espécies de eucalipto obteve valores variando de 36,0 Kgf/cm<sup>2</sup> a 69,6 Kgf/cm<sup>2</sup>. Matosk (2005), obteve para esta propriedades valores variando entre 51 Kgf/cm<sup>2</sup> e 60,35 Kgf/cm<sup>2</sup> em painéis cimento-madeira confeccionados com resíduos de pinus e adição de CaCl<sub>2</sub> como aditivo químico.

Pela análise de variância, a compressão paralela (CP) sofreu efeito significativo de local a 5% de probabilidade. Verifica-se também que para os painéis produzidos com madeira de 4 anos de idade, a localidade de Campo Belo apresentou valor estatisticamente superior à Santo Antônio do Amparo, porém estas não apresentaram diferenças estatísticas significativas em relação a Cana Verde. Na comparação entre idades, observa-se que somente a localidade de Campo Belo não apresentou diferenças estatísticas significativas em relação à Marechal Floriano.

Quanto à ligação interna, observa-se que o efeito de local foi não significativo, a 5% de probabilidade, indicando que esta propriedade não foi influenciada pela localidade nem pela idade.

Os painéis produzidos com *Toona ciliata* apresentaram alta resistência à ligação interna, visto que os resultados encontrados foram superiores aos encontrados na literatura para outras espécies mais estudadas e ao valor mínimo requerido pelo processo Bison Wood-cement Board (1978), que é de 4,0 Kgf/cm<sup>2</sup>. Silva et al. (2005), estudando painéis cimento-madeira com ou sem inclusão de casca de *Eucalyptus urophylla* encontraram valores entre 3,34 Kgf/cm<sup>2</sup> e 6,98 Kgf/cm<sup>2</sup>. Iwakiri & Prata (2008b), estudando madeiras de

*Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii* na produção de painéis cimento-madeira, encontraram valores variando de 2,84 Kgf/cm<sup>2</sup> a 4,76 Kgf/cm<sup>2</sup>.

Provavelmente, a baixa densidade das madeiras avaliadas tenha contribuído positivamente no aumento da resistência dos painéis cimento-madeira. De modo geral, madeiras menos densa possibilitam maior taxa de compressão em chapas de partículas de média densidade, de forma a promover uma suficiente área de contato entre as partículas durante a prensagem formando uma ligação forte e contribuindo para elevação das propriedades de resistência dos painéis.

## 6 CONCLUSÕES

- ✓ Sobre os compensados, pode-se concluir que a densidade da madeira e a idade tiveram grande influência sobre as propriedades físicas e de resistência dos mesmos. Portanto, a utilização da madeira de Cedro Australiano, seja madeira juvenil ou adulta, não seria viável para produção de painéis compensados estruturais.
- ✓ Os painéis OSB apresentaram, para a maioria das propriedades estudadas, valores abaixo da norma. Portanto, podemos concluir que não seria viável a utilização da madeira de Cedro Australiano aos 4 anos de idade para a confecção deste tipo de chapa.
- ✓ Para os aglomerados convencionais podemos concluir que, com exceção do MOE, os valores obtidos neste estudo para as propriedades físico-mecânicas foram satisfatórios.
- ✓ Os resultados indicaram que a madeira de Cedro Australiano (*Toona ciliata*) pode ser utilizada como fonte de matéria-prima alternativa para confecção de painéis aglomerados com densidade nominal de 0,70 g/cm<sup>3</sup>, independentemente da localidade e da idade.
- ✓ Os resultados encontrados neste estudo foram satisfatórios e indica a viabilidade técnica de uso da madeira de Cedro Australiano (*Toona ciliata*) como matéria-prima na confecção de painéis cimento-madeira de boa qualidade, independentemente da localidade e da idade.

- ✓ No geral, as avaliações das propriedades físico-mecânicas dos painéis cimento-madeira de Cedro Australiano foram compatíveis ou superiores em comparação aos valores referenciais da literatura para outras espécies e ao processo Bison.
  
- ✓ A incorporação de madeira de Cedro Australiano aos quatro anos de idade, oriundas de desbastes na produção comercial de painéis aglomerados convencionais e cimento-madeira seria uma alternativa economicamente viável por agregar maior valor ao produto final em relação às técnicas de aproveitamento comumente utilizadas.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, C. E. C. **Intervenções de variáveis no ciclo de prensagem de aglomerados**. 2002. 150 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

ALBUQUERQUE, C. E. C. Processamento mecânico da madeira na evolução humana. **Revista da Madeira**, Caxias do Sul, v. 4, n. 23, p. 36-37, jul./ago. 1995.

ALBUQUERQUE, C. E. C.; MENDES, L. M.; PIO, N. S. **Influência das variáveis de processamento na produção de painéis OSB**. 1999. 79 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL. **ASTM D 1037**: standard methods of evaluating the properties of wood-base fiber and particle panel materials. Philadelphia, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. **Estudo setorial**. Curitiba. ABIMCI, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. **Estudo setorial**. Curitiba: ABIMCI, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA. **Relatório setorial**. São Paulo, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT/CB-31**: projeto de normas 31.000.05.001/1: chapas de madeira compensada. Rio de Janeiro, 2001.



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS DE CELULOSE E PAPEL. **Normas de ensaio**. São Paulo, 1974. 68 p.

BALLARIN, A. W.; PALMA, H. A. L. Propriedades de resistência e rigidez da madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda* L. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 27, n. 3, p. 371-380, maio 2003.

BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação agrícola**. 4. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2006. 237 p.

BERALDO, A. L.; ARRUDA, A. C. de; STANCATO, A. C.; SAMPAIO, C. A. P.; FERNANDES FILHO, O. P.; LEONEL, V. M. Compósitos à base de resíduos vegetais e cimento Portland. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 8., 2002, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: EBRAMEM, 2002. p. 120-126.

BISON WOOD-CEMENT BOARD. **Bison-report**. Germany, 1978. 10 p.

BRITO, E. O. **Produção de chapas de partículas de madeira a partir de maravalhas de *Pinus elliotti* plantado no sul do Brasil**. 1995. 123 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

BRITO, E. O.; SILVA, G. C. Propriedades de chapas de partículas produzidas a partir de *Gmelina arborea* Linn. Roxb. e *Samanea saman* (Jacq.) Merr. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 9, n. 1, p. 127-134, jun. 2002.

BYGRAVE, F. L.; BYGRAVE, P. L. **Growing Australian red cedar**. Canberra: RIRDC, 2005. 84 p.

CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION. **OSB and waferboard: CSA 0437.0-93**. Ontario, 1993. 18 p.

CAVE, I. D.; WALKER, J. C. F. Stiffness of wood in fastgrown plantation softwoods: the influence of microfibril angle. **Forest Products Journal**, Madison, v. 44, n. 5, p. 43-48, May 1994.

CHAPOLA, G. B. J. Effect of curing heat, alkali and cement set in cement particleboard on the visco-elastic properties of chip mattresses. **Wood Science and Technology**, New York, v. 23, n. 2, p. 131-138, June 1989.

CLOUTIER, A. Oriented strandboard (OSB): raw material, manufacturing process, properties of wood-base fiber and particle materials. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON SOLID WOOD PRODUCTS OF HIGH TECHNOLOGY, 1., 1998, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SIF, 1998. p. 173-185.

COMMERCIAL STANDARD. **Mat formed wood particleboard:** CS-236-66. San Francisco, 1968.

DACOSTA, L. P. E.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J.; SCHNEIDER, P. R.; CALEGARI, L. Propriedades físicas de chapas de partículas aglomeradas das fabricadas com resíduos do processamento mecânico da madeira de *Pinus elliotii* Engelm. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 3/4, p. 421-429, dez. 2005.

DINWOODIE, J. M.; PAXTON, B. H. Wood-cement particleboards: a technical assessment. **Journal of Applied Polymer Science:** Applied Polymer Symposium, New York, v. 40, p. 271-227, 1984.

DIX, R. J. H. The principles of cement-bonded particleboard manufacturing. In: INORGANIC BONDED WOOD AND FIBER COMPOSITE MATERIALS. SESSION III: INDUSTRIAL MANUFACTURING PROCESSES, 1989, Washington. **Proceedings...** Washington: Forest Products Research Society, 1989. v. 1, p. 61-62.

ELEOTÉRIO, J. R. **Propriedades físicas e mecânicas de painéis MDF de diferentes densidades e teores de resina**. 2000. 120 f. (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

GEIMER, R. L. **Flake alinement in particleboard as affected by machine variables and particle geometry**. Madison: USDA Forest Service, 1976. 19 p.

GONÇALVES, F. G.; OLIVEIRA, J. T. S. Resistência ao ataque de cupim-de-madeira seca (*cryptotermes brevis*) em seis espécies florestais. **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 1, p. 80-83, mar. 2006.

HILLIG, E.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J. Propriedades mecânicas de chapas aglomeradas estruturais fabricadas com madeiras de pinus, eucalipto e Acácia-negra. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 1, p. 59-70, jan. 2002.

IWAKIRI, S. **A influência de variáveis de processamento sobre propriedades de chapas de partículas de diferentes espécies de Pinus**. 1989. 129 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira**. Curitiba: FUPEF, 1998. 128p.

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005. 247 p.

IWAKIRI, S.; ANDRADE, A. S.; CARDOSO JUNIOR, A. A.; CHIPANSKI, E. R.; PRATA, J. G.; ADRIAZOLA, M. K. O. Produção de painéis de madeira aglomerada de alta densificação com diferentes tipos de resinas. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 68, p. 39-43, out./dez. 2005.

IWAKIRI, S.; CUNHA, A. B.; ALBUQUERQUE, C. E. C.; GORNIK, E.; MENDES, L. M. Utilização de extensores alternativos na produção de compensados multilaminados. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 10, n. 1. p. 77-83, jan. 2000.

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

IWAKIRI, S.; PRATA, J. G. Produção de painéis compensados multilaminados de *Eucalyptus*. **Revista da Madeira**, Curitiba, v. 19, n. 111, mar. 2008a. Disponível em: <<http://www.remade.com.br>>. Acesso em: 20 jul. 2009.

IWAKIRI, S.; PRATA, J. G. Utilização da madeira de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii* na produção de painéis cimento-madeira. **Cerne**, Lavras, v. 14, n. 1, p. 68-74, mar. 2008b.

IWAKIRI, S.; RAZERA NETO, A.; ALMEIDA, B. C.; BIASI, C. P.; CHIES, D.; GUI SANTES, F. P.; FRANZONI, J. A.; RIGATTO, P. A.; BETTEGA, W. P. Avaliação da qualidade do compensado fenólico de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 4, p. 437-443, jul. 2006.

IWAKIRI, S.; SILVA, J. C.; SILVA, J. R. M. da; ALVES, C. R. E.; PUEHRINGER, C. A. Produção de compensados de *Pinus taeda* L. e *Pinus oocarpa* Schiede com diferentes formulações de adesivo uréia formaldeído. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 26, n. 3, p. 371-375, maio/jun. 2002.

IWAKIRI, S.; SILVA, J. R. M.; MATOSKI, S. L. S.; LEONHADT, G.; CARON, J. Produção de chapas de madeira aglomerada de cinco espécies de pinus tropicais. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 8, n. 1, p. 137-142, jun. 2001.

JANKOWSKY, I. P. **Variação da resistência à flexão estática do compensado de pinus caribaea var. hondurensis, em função da quantidade de extensor e do tempo de montagem**. Piracicaba: IPEF, 1980. (Circular Técnica, nº 124).

JANSSENS, D. P. The increasing recognition of oriented strandboard (OSB) as preferred structural panel. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON SOLID WOOD PRODUCTS OF HIGH TECHNOLOGY, 1., Belo Horizonte. **Anais...** Viçosa, MG: SIF/UFV, 1998. p. 169-172.

KELLY, M. W. **Critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboard.** Wisconsin: FPL, 1997. 66 p.

KOLLMANN, F. F. P.; KUENZI, E. W.; STAMM, A. J. **Principles of wood science and technology.** Berlin: Springer-Verlag, 1975. v. 2, 703 p.

LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos trópicos.** Eschborn: GTZ, 1990. 343 p.

LATORRACA, J. V. F. **Estudo da viabilidade do uso da espécie *Eucalyptus dunnii* (Maid) na manufatura de painéis de madeira-cimento.** 1996. 94 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

LATORRACA, J. V. F. ***Eucalyptus spp.* na produção de painéis de cimento madeira.** 2000. 191 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

LATORRACA, J. V. F.; IWAKIRI, S. Efeito da cura a vapor sobre as propriedades mecânicas de painéis de cimento-madeira. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 8, n. 1, p. 84-93, jun. 2001.

LATORRACA, J. V. F.; IWAKIRI, S. Efeitos do tratamento das partículas de *Eucalyptus dunnii* (maid), da variação da relação madeira-cimento e do uso de aditivos sobre as propriedades físicas e mecânicas de chapas de madeira-cimento. **Cerne**, Lavras, v. 6, n. 1, p. 68-76, jun. 2000.

LATORRACA, J. V. F.; IWAKIRI, S.; LELIS, R. C. C. Efeito inibidor de cinco espécies florestais sobre a cura do compósito cimento-madeira. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 6, n. 1, p. 75-82, jun. 1999.

MALAIRAJAN, P.; GEETHA GOPALAKRISHNAN, NARASIMHAN, S.; JESSI KALA VENI, K.; KAVIMANI, S. Anti-ulcer activity of crude alcoholic extract of *Toona ciliata* Roemer (heartwood). **Journal of Ethnopharmacol**, Lausanne, v. 110, n. 2, p. 348-351, Mar. 2007.

MALONEY, T. M. **Modern particleboard and dry-process fiberboard manufacturing**. 2. ed. San Francisco: Miller Freeman, 1993. 689 p.

MARRA, A. A. **Technology of wood bonding**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992. 453 p.

MATOSK, A. **Utilização de pó de madeira com granulometria controlada na produção de painéis de cimento-madeira**. 2005. 202 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

MENDES, L. M. ***Pinus spp.* na produção de painéis de partículas orientadas (OSB)**. 2001. 156 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

MENDES, L. M.; IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M.; KEINERT JÚNIOR, S.; SALDANHA, L. K. Efeito da densidade, composição dos painéis e teor de resina nas propriedades de painéis OSB. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 10, n. 1, p. 1-17, jun. 2003.

MENDES, L. M.; IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M.; KEINERT JÚNIOR, 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, dez. 2002.

MOSLEMI, A. A. Emerging technologies in mineral-bonded wood and fiber composites. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRA DE ALTA TECNOLOGIA, 1., 1998, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: UFMG, 1998. p. 144-156.

MOSLEMI, A. A. **Particleboard:** materials. Illinois: Southern Illinois University, 1974. v. 1, 244 p.

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

MURAKAMI, C. H. G. (Ed.). Cedro Australiano: valorização de espécies nobres. **Boletim Florestal**, São Paulo, v. 7, n. 2, p. 1-6, fev. 2008.

NORMEN FÜR HOLZFASERPLATEN SPANPLATTEN SPERRHOLZ. **DIN 52362:** testing of wood chipboards, bending test, determination of bending strength. Germany: [s.n.], 1982.

OKINO, E. Y. A.; SOUZA, M. R.; SANTANA, M. A. E.; SOUSA, M. E.; TEIXEIRA, D. E. Chapa aglomerada de cimento-madeira de *Hevea brasiliensis* müll. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 28, n. 3, p. 451-457, maio 2004.

PEREYRA, O.; SUIREZS, T. M.; PITSCH, C.; BAÉZ, R. Estúdio de las propiedades físico-mecánicas y comportamiento em procesos industriales de la madera de Kiri, Gravillea, Paraíso y Toona. **Floresta**, Curitiba, v. 36, n. 2, p. 213-223, maio 2006.

PINHEIRO, A. L.; LANI, J. L.; COUTO, L. **Cedro-Australiano:** cultivo e utilização (*Toona ciliata* M. Roem. var. *australis* (F. Muell) Bahadur. Viçosa, MG: UFV, 2006. 42 p.

SÁNCHEZ, J. C.; HOLSTEN, E. H.; WHITMORE, J. L. Studies on the shootborer *Hypsipyla grandella* (Zeller) (Lep., Pyralidae): volume III. In: WHITMORE, J. L. (Ed.). **Comportamiento de cinco espécies de Meliaceae en Turrialba, Costa Rica**. Turrialba: CATIE, 1976. p. 97-103.

SANTOS, R. C.; MENDES, L. M.; MORI, F. A.; MENDES, R. F. Aproveitamento de resíduos da madeira de candeia (*Eremanthus erythropappus*) para produção de painéis cimento-madeira. **Cerne**, Lavras, v. 14, n. 3, p. 241-250, set. 2008.

SAVASTANO JÚNIOR, H.; WARDEN, P.G.; COUTTS, R. S. P. Brazilian waste fibers as reinforcement of cement-based composites. **Cement and Concrete Composites**, Barking, v. 22, n. 25, p. 379-384, Oct. 2000.

SILVA, G. C.; LATORRACA, J. V. F.; CARMO, J. F.; FERREIRA, E. S. Efeito de aditivos minerais sobre as propriedades de chapas cimento-madeira. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 30, n. 3, p. 451-456, maio/jun. 2005.

SILVA, J. R. M. da; MATOSKI, S. L. S.; LEONHADT, G.; CARON, J. Produção de chapas com diferentes espécies de pinus. **Revista da Madeira**, Curitiba, v. 14, n. 84, out. 2004. Disponível em: <<http://www.remade.com.br>>. Acesso em: 20 jun. 2009.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA. **Fatos e números do Brasil florestal**. São Paulo, 2007. 110 p.

SOUZA, M. R. **Durability of cement-bonded particleboard made conventionally and carbon dioxide injection**. 1994. 123 f. Tese (Doctor of Philosophy) - University of Idaho, Idaho.

STRUCTURAL BOARD ASSOCIATION. Disponível em: <<http://www.osbguide.com>>. Acesso em: 10 jun. 2009.



TSOUMIS, G. **Science and technology of wood: structure, properties, utilization.** New York: Van Nostrand Reinhold, 1991. 494 p.

VIDAURRE, G. B.; SILVA, A. N.; ROCHA, J. D. S.; BRITO, E. O. Produção de chapas de partículas de madeira de duas espécies nativas da mata atlântica e suas combinações. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 14, n. 1, p. 235-242, jan. 2004.

VIROC PORTUGAL. **Características Viroc.** Portugal, 2004. Disponível em: <<http://www.viroc.pt>>. Acesso em: 23 jul. 2009.

VITAL, B. R. **Métodos de determinação da densidade da madeira.** Viçosa, MG: SIF, 1984. 21 p. (Boletim Técnico, 1).

YOUNGQUIST, J. A. **Wood-based composites and panel products: wood handbook: wood as an engineering material.** Washington: Forest Products Society, 1999. 428 p.

ZIECH, R. Q. S. **Estudo das características tecnológicas da madeira de Cedro australiano (*toona ciliata* m. Roem).** 2008. 74 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

## ANEXOS

ANEXO A		<b>página</b>
TABELA 1A	Análises de variância para as propriedades físicas e mecânicas dos painéis compensados.....	80
TABELA 2A	Análises de variância para as propriedades físicas e mecânicas dos painéis OSB.....	81
TABELA 3A	Análises de variância para as propriedades físicas e mecânicas dos painéis aglomerados.....	82
TABELA 4A	Análises de variância para as propriedades físicas e mecânicas dos painéis.....	82

TABELA 1A Análise de variância para as propriedades físicas e mecânicas dos painéis compensados de Cedro Australiano das localidades de Campo Belo, Cana Verde, Santo Antônio do Amparo e Marechal Floriano

<b>Propriedades físicas e mecânicas</b>	Localidade		Erro		Fc	CV (%)
	GL	QM	GL	QM		
Teor de umidade	3	0,063324	29	0,274925	0,23 <sup>ns</sup>	5,4
Densidade aparente	3	0,00731	29	0,00030	24,21 <sup>*</sup>	4,5
Absorção de água total	3	2.582,435	29	47,4563	54,42 <sup>*</sup>	5,8
MOE (//)	3	575.582.642	14	21.840.161	26,35 <sup>*</sup>	8,2
MOR (//)	3	29.709,52	14	1238,5	23,99 <sup>*</sup>	9,5
MOE (⊥)	3	31.580.245	14	2.324.528	13,59 <sup>*</sup>	7,9
MOR (⊥)	3	2.269,15	14	353,15	6,43 <sup>*</sup>	9,2
Cisalhamento seco	3	0,168132	29	0,050	3,35 <sup>*</sup>	17,4
Cisalhamento úmido	3	28,60	28	2,79	10,27 <sup>*</sup>	10,9
Cisalhamento pós-fervura	3	23,88	26	2,78	8,61 <sup>*</sup>	11,6

MOE (//) e MOE (⊥): Módulo de elasticidade no ensaio paralelo e perpendicular às fibras, respectivamente. MOR (//) e MOR (⊥): Módulo de ruptura no ensaio paralelo e perpendicular às fibras, respectivamente.

GL: Graus de liberdade; QM: Quadrado médio; Fc: F calculado a 5% de significância; CV: Coeficiente de variação.

TABELA 2A Análise de variância para as propriedades físicas e mecânicas dos painéis OSB de Cedro Australiano das localidades de Campo Belo, Cana Verde e Santo Antônio do Amparo

Propriedades físicas e mecânicas	Localidade		Erro		Fc	CV (%)
	GL	QM	GL	QM		
Densidade aparente	2	0,00067	12	0,000723	0,839 <sup>ns</sup>	4,4
Absorção de água (2h)	2	3,50	12	19,53	0,179 <sup>ns</sup>	20,9
Absorção de água (24h)	2	58,93	12	62,81	0,938 <sup>ns</sup>	16,4
Inchamento espessura (2h)	2	0,578	12	1,644	0,441 <sup>ns</sup>	18,6
Inchamento espessura (24h)	2	9,051	12	7,671	1,18 <sup>ns</sup>	18,7
MOE (//)	2	5.435.175	12	4.262.466	1,275 <sup>ns</sup>	8,9
MOR (//)	2	191,86	12	435,42	0,441 <sup>ns</sup>	18,6
MOE (⊥)	2	5.799.762	12	4.405.187	1,317 <sup>ns</sup>	16,9
MOR (⊥)	2	102,47	12	150,91	0,679 <sup>ns</sup>	18,70
Compressão paralela	2	89,84	12	91,11	0,986 <sup>ns</sup>	14,85
Ligação interna	2	7,221	12	0,638	11,325*	9,63

MOE (//) e MOE (⊥): Módulo de elasticidade no ensaio paralelo e perpendicular às fibras, respectivamente. MOR (//) e MOR (⊥): Módulo de ruptura no ensaio paralelo e perpendicular às fibras, respectivamente.

GL: Graus de liberdade; QM: Quadrado médio; Fc: F calculado a 5% de significância; CV: Coeficiente de variação.

TABELA 3A Análise de variância para as propriedades físicas e mecânicas dos painéis aglomerados de Cedro Australiano das localidades de Campo Belo, Cana Verde, Santo Antônio do Amparo e Marechal Floriano

Propriedades físicas e mecânicas	Localidade		Erro		Fc	CV (%)
	GL	QM	GL	QM		
Densidade aparente	3	0,0032	13	0,0014	2,34 <sup>ns</sup>	5,4
Razão de compactação	3	0,1459	13	0,0144	10,10*	5,4
Absorção de água (2h)	3	666,8411	13	79,1943	8,42*	40,7
Absorção de água (24h)	3	1515,05	13	173,98	8,71*	29,7
Inchamento espessura (2h)	3	38,766	13	4,787	8,10*	27,2
Inchamento espessura (24h)	3	88,598	13	13,830	6,41*	18,7
MOE	3	2.782.791,9	13	1.369.366,2	2,03 <sup>ns</sup>	8,9
MOR	3	3510,66	13	279,41	12,56*	9,5
Compressão paralela	3	156,84	13	142,74	1,10 <sup>ns</sup>	12,6
Ligação interna	3	2,18	13	1,38	1,58 <sup>ns</sup>	9,9

MOE: Módulo de elasticidade; GL: Graus de liberdade; QM: Quadrado médio; Fc: F calculado a 5% de significância; CV: Coeficiente de variação.

TABELA 4A Análise de variância para as propriedades físicas e mecânicas dos painéis cimento-madeira de Cedro Australiano das localidades de Campo Belo, Cana Verde, Santo Antônio do Amparo e Marechal Floriano

Propriedades físicas e mecânicas	Localidade		Erro		Fc	CV (%)
	GL	QM	GL	QM		
Densidade aparente	3	0,0068	8	0,001783	3,813 <sup>ns</sup>	3,6
Absorção de água (2h)	3	10,96	8	1,75	6,249*	14,6
Absorção de água (24h)	3	1,907	8	1,871	1,02 <sup>ns</sup>	9,8
Inchamento espessura (2h)	3	0,257031	8	0,052325	4,91*	42,3
Inchamento espessura (24h)	3	0,134164	8	0,0369	3,64 <sup>ns</sup>	29,3
MOE	3	11.845.013,9	8	17.208.923,4	0,688 <sup>ns</sup>	9,2
MOR	3	1564,54	8	22,19	70,5*	5,6
Compressão paralela	3	1588,46	8	111,59	14,23*	11,3
Ligação interna	3	2,8957	8	0,76621	3,78 <sup>ns</sup>	8,5

MOE: Módulo de elasticidade; GL: Graus de liberdade; QM: Quadrado médio; Fc: F calculado a 5% de significância; CV: Coeficiente de variação.

# Livros Grátis

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

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

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

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

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