



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO - UFRRJ  
INSTITUTO DE FLORESTAS - IF  
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

**AVALIAÇÃO E RECICLAGEM DE CHAPAS OSB  
UTILIZADAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

**Vítor Garcia Setubal**

**Orientador: Professor Dr. Alexandre Monteiro de Carvalho**

**SEROPÉDICA, RJ  
JULHO DE 2009**



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO - UFRRJ  
INSTITUTO DE FLORESTAS - IF  
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**AVALIAÇÃO E RECICLAGEM DE CHAPAS OSB  
UTILIZADAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Vítor Garcia Setubal

Sob a orientação do  
Prof. Dr. Alexandre Monteiro de Carvalho

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para obtenção do Título de Engenheiro Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Seropédica, RJ  
Julho de 2009

Monografia aprovada em: 07/07/2009

Comissão examinadora:

Orientador: \_\_\_\_\_  
Professor Dr. Alexandre Monteiro de Carvalho

Titular : \_\_\_\_\_  
Professor Dr. João Vicente de Figueiredo Latorraca

Titular : \_\_\_\_\_  
Professor Dr. Edvá Oliveira Brito

## **DEDICATÓRIA**

À minha família por ser o alicerce para meu desenvolvimento e torcida para o meu sucesso.

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, Leni Garcia Setubal e Sidnei Conceição Setubal, por terem acreditado na minha escolha, e principalmente por propiciarem o meu desenvolvimento, formação e caráter, sempre me apoiando durante todos esses anos.

A minha namorada e melhor amiga, Thaisa, por ter me aturado, ter sido companheira e compreensiva durante esses anos de Rural.

Ao meu orientador Professor Alexandre Monteiro de Carvalho, pela amizade, dedicação e incentivo empregado neste trabalho.

Aos meus amigos do M6 1º andar, Alexandre Alemão, Victor Neguinho e André Medas, e meus amigos do KM 49 Andrezinho, André Punk, Bruno Mussi e Mauro Quevedo por terem me abrigado nos momentos em que precisei.

Aos amigos Vinícius Leal, Mônica Haua, Natália Dias, Felipe Ferreira, por sempre estarem dispostos a me darem carona. Assim como os professores João Vicente F. Latorraca e Maeda.

Aos amigos, Leonardo Ferreira, que tenho como um irmão e que me acompanhou desde o ensino fundamental até a graduação. Ângelo, Ananias, Marcinho e Rafael Mendes que de uma forma ou de outra estiveram presentes na realização deste trabalho e nos momentos em que precisei, assim como meus grandes amigos Tharcia e Djeison que mesmo estando longe sempre participaram da minha formação acadêmica.

## RESUMO

Este trabalho teve como objetivo a avaliação das propriedades mecânicas e físicas de painéis OSB descartados após sua utilização na construção civil e a produção de painéis de partículas aglomeradas produzidos através da reciclagem dos painéis de OSB. Foram utilizadas na avaliação, duas chapas de OSB novas, duas chapas de OSB com um ano de uso em ambiente externo como tapume de obra, e duas chapas de OSB com 1 ano de uso como passarela, em ambiente interno, ambas com 12 mm de espessura e caracterizadas como o OSB multiuso. Foram avaliadas as variáveis densidade aparente, módulo de resistência à flexão estática (MOR), módulo de elasticidade ou rigidez na flexão estática (MOE) e módulo de resistência à tração normal ou ligação interna. Os ensaios seguiram os procedimentos na norma americana para painéis à base de madeira ASTM D-1037. Na metodologia de reciclagem dos painéis OSB usados, foram produzidos ao todo, em escala de laboratório, doze painéis aglomerados a partir dos painéis de OSB usados, sendo seis com dois tipos de partículas diferentes quanto à granulometria (painéis com três camadas) e seis homogêneos. As partículas foram obtidas em moinho de martelo e para colagem foi utilizada resina uréia-formaldeído. Os resultados indicaram perdas significativas na resistência dos painéis OSB após a utilização em ambiente externo e menores perdas quando utilizados em ambiente interno. Os painéis aglomerados produzidos a partir da reciclagem dos painéis OSB apresentaram uma maior densidade aparente que os painéis OSB originais, porém menores valores quanto às variáveis de resistência, indicando a possibilidade do novo material obtido ser utilizado para finalidades diferentes dos painéis OSB originais. Palavras-chave: OSB, painéis, derivados de madeira, aglomerado.

## **ABSTRACT**

This work had as objective the evaluation of physical and mechanical properties of OSB panels after utilization in the civil construction and the production of particles boards produced by the OSB panel recycling. Were used in the evaluation, two new OSB panel, two OSB with one year of use in a external place, and two OSB panel with one year of use in a internal place, both of then were 12mm thick and characterized as multi-use OSB. It were evaluated the specific gravity, static bending (MOR and MOE), and perpendicular traction or internal linkage resistance. The tests followed the American standard ASTM D-1037 for wood based materials. In the recycling methodology of the used OSB, it were produced, in laboratory scale, twelve particle boards from the used OSB, being six with two different types of particles size (panel with three layers) and six homogeneous. The particles were obtained in the laboratory and for glued was used UF resin. The results indicated significant losses of the OSB panels resistance after the utilization in a external environment and lower losses when used in a internal environment, the particle boards produced from the recycling of OSB panels presented a bigger density than the original OSB panel, however lower values for resistance variables were found, indicating the possibility of the new material obtained be used for different purposes from the original OSB.

Key-words: OSB, panels, wood based product, particle board.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	ix
LISTA DE TABELAS .....	xi
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS .....	3
2.1. Objetivo geral .....	3
2.2. Objetivos específicos .....	3
3. REVISÃO DE LITERATURA .....	3
3.1. Oriented Strand Board - OSB.....	3
3.2. Painéis de partículas aglomerada.....	9
3.3. Resina uréia-formaldeído .....	12
3.4. Reciclagem .....	13
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	15
4.1. Descrição do material, identificação, coleta e transporte .....	15
4.2. Ensaio físico-mecânicos para avaliação dos painéis OSB.....	17
4.3. Confeção de chapas de partículas aglomeradas a recicladas .....	18
4.4. Delineamento experimental e análise estatística dos resultados .....	22
5. RESULTADOS E DISCURSÃO .....	23
5.1. Densidade aparente.....	23
5.2. Flexão estática .....	25
5.3. Ligação interna .....	28
6. CONCLUSÕES .....	30
6.1. Recomendações .....	30
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	31
ANEXO (ANOVA - Análises de variância) .....	35



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Chapas de OSB - <i>Oriented Strand Board</i> .....	4
Figura 2 - Posicionamento das lâminas de acordo com a orientação das partículas em dois tipos de OSB .....	5
Figura 3 - Partículas utilizadas na produção do OSB (cortadas no sentido longitudinal às fibras).....	6
Figura 4 - Processo de produção do OSB.....	6
Figura 5 - OSB Multiuso grande uso na confecção de embalagens .....	8
Figura 6 - OSB <i>Home</i> : versatilidade no uso em pisos e paredes.....	8
Figura 7 - OSB <i>Home</i> M&F: encaixe macho-e-fêmea para estruturar pisos.....	9
Figura 8 - OSB Tapume: utilização em grande escala. ....	9
Figura 9 - Painel de madeira aglomerada .....	10
Figura 10 - Painel de OSB sem uso (novo) amostrado .....	16
Figura 11 - Painel de OSB usado amostrado (com aproximadamente 1 ano de uso em ambiente externo da obra) .....	16
Figura 12 - Painel de OSB usado amostrado (com aproximadamente 1 ano de uso em ambiente interno da obra).....	17
Figura 13 - Máquina universal de ensaio, realização de teste de flexão estática e de teste de ligação interna.....	18
Figura 14 - Corte dos painéis usados em pedaços utilizando serra circular manual .....	19
Figura 15 - Moinho de martelo utilizado na geração de partículas menores.....	19
Figura 16 - Peneira classificatória utilizada para separação granulométrica.....	20
Figura 17 - Tambor giratório com tela metálica utilizado na secagem das partículas .....	20

Figura 18 - Tambor rotatório da encoladeira utilizada na aplicação do adesivo.....	21
Figura 19 - Prensa hidráulica com aquecimento por resistências elétricas utilizada na prensagem das partículas .....	21
Figura 20 - Detalhe de corpos-de-prova confeccionados a partir das chapas com 100% de partículas de maior granulometria .....	22
Figura 21 - Detalhe de corpos-de-prova confeccionados a partir das chapas com três camadas (maior granulometria no miolo e menor nas capas).....	22
Figura 22 - Gráfico das médias de MOR e MOE na flexão estática dos painéis OSB e aglomerados.....	27
Figura 23 - Gráfico das médias de MOR na ligação interna dos painéis OSB e aglomerados.....	30

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados de densidade aparente (g/cm <sup>3</sup> ) .....	23
Tabela 2 - Resultados da análise 01 (PN, PI e PE) para média das densidades aparentes (g/cm <sup>3</sup> ) .....	24
Tabela 3 - Resultados da análise 02 (P1 e P3) para média das densidades aparente (g/cm <sup>3</sup> ) .....	24
Tabela 4 - Valores de MOR e MOE na flexão estática (kgf/cm <sup>2</sup> ) .....	25
Tabela 5 - Valores mínimos para painéis OSB indicados pela norma europeia (EN 300) para uso não estrutural e uso estrutural em ambiente externo (uso externo), flexão estática (kgf/cm <sup>2</sup> ) .....	26
Tabela 6 - Resultados da análise 01 (PN, PI e PE) para médias do MOR na flexão estática (kgf/cm <sup>2</sup> ) .....	26
Tabela 7 - Resultados da análise 01 (PN, PI e PE) para médias do MOE na flexão estática (kgf/cm <sup>2</sup> ) .....	27
Tabela 8 - Resultados da análise 02 (P1 e P3) para médias do MOR na flexão estática (kgf/cm <sup>2</sup> ) .....	27
Tabela 9 - Resultados da análise 02 (P1 e P3) para médias do MOE na flexão estática (kgf/cm <sup>2</sup> ) .....	27
Tabela 10 - Resultados de ligação interna para os painéis OSB e aglomerados (kgf/cm <sup>2</sup> ) .....	28
Tabela 11 - Resultados da análise 01 (PN, PI e PE) para médias da ligação interna .....	29
Tabela 12 - Resultado da análise 02 (P1 e P3) para médias da ligação interna .....	29
Tabela 13. Quadro da ANOVA para a análise 01 (PN, PI e PE) - MOE na flexão estática	36
Tabela 14. Quadro da ANOVA para a análise 01 (PN, PI e PE) - MOR na flexão estática .....	36
Tabela 15. Quadro da ANOVA para a análise 01 (PN, PI e PE) - MOR na flexão interna	36

## 1. INTRODUÇÃO

A indústria de painéis de madeira é de relevante importância para a economia brasileira, não só pela geração de divisas e empregos, como também pelo dinamismo que irradia, especialmente para os setores moveleiro e de construção civil.

Especificamente na construção civil um tipo de painel tem se destacado, o OSB (Oriented Strand Board). Tendo como principal aplicação o uso na indústria da construção civil, pois suas características físicas e mecânicas permitem o uso para fins estruturais. Por esse motivo, esse painel concorre em algumas aplicações com o compensado (TOMASELLI, 1998). O OSB pode expandir-se, consideravelmente, quando estiver exposto a chuvas ou a condições de alta umidade relativa em longos períodos. Devido a isso, deve ser utilizado somente em construções protegidas ou em interiores (JANSSENS, 1998).

O OSB (Oriented Strand Board) é um painel de partículas de madeira orientadas, finas e longas “strands” consolidadas pelo uso de resinas, calor e pressão. De acordo com Sellers (2001), a resina mais utilizada na produção do OSB é a fenólica, entretanto o uso da resina de isocianato é crescente, embora tenha custo superior.

O OSB é reconhecido pelos Códigos de Construção do Canadá e dos Estados Unidos como sendo equivalente ao painel de compensado em aplicações estruturais. Três normas de padronização da “Canadian Standards Association” para o OSB são correntemente utilizadas no Canadá, a CSA O437.0 – “OSB and Waferboard”, a CSA O325 – “Construction Sheathing” e a CSA O452 – “Design Rated OSB”. Nos Estados Unidos, a norma adotada é a US PS 2-92 – “Performance Standard for Structural-Use Wood-Based Panels” (CLOUTIER, 1998; JANSSENS, 1998). Na América Latina, onde não há normas próprias para o OSB, a aceitação dos Códigos de Construção deverá, provavelmente, ocorrer em nível nacional, em conformação com as normas de padronização dos Estados Unidos ou do Canadá (JANSSENS, 1998).

Através de composições distintas também é possível fazer uso do OSB como estrutura de mezaninos, telhados ou mesmo como revestimento de paredes internas e externas.

Dados publicados pela FAO mostram que, na próxima década, haverá um descompasso crescente entre oferta e demanda de madeira no mercado internacional, em função, basicamente, da queda na produção de alguns países asiáticos e pela virtual estagnação esperada para os principais produtores do hemisfério norte, em face das pressões ambientais, sociais e econômicas.

Tal descompasso propiciará a valorização do preço da madeira, induzindo as indústrias, especialmente nos países do hemisfério norte, a aproveitarem de forma mais intensa os resíduos de madeira, significando um crescimento acelerado da demanda de painéis de madeira.

O termo resíduo de madeira por muitas vezes é associado a palavra problema, pois geralmente sua disposição ou utilização adequada gera custos altos que muitas vezes se quer evitar. Porém, o conhecimento da quantidade, da qualidade e das possibilidades de uso deste material pode gerar uma alternativa de uso que viabilize o seu manuseio.

Atualmente há um grande número de pessoas tentando reutilizar os resíduos sólidos. Por um lado, isto é bom, mas por outro, a má qualidade destes materiais reciclados, pode comprometer uma política real de reutilização de resíduos sólidos. O processamento de materiais a partir de resíduos deve ser repensado, preocupando-se sempre com a qualidade da matéria-prima. Portanto, os pesquisadores precisam se empenhar na criação do conhecimento em torno da reutilização destes resíduos.

Ao contrário do processamento de materiais a partir de matérias-primas virgens, onde se usa somente as adequadas para fornecer o produto com as propriedades finais desejadas, o processamento de materiais a partir de resíduos, deve além de prover meios de selecionar e separar, tentar utilizar todos os tipos destes. Somente dessa forma a reciclagem poderá mudar o panorama mundial de degradação dos recursos naturais. Sem dúvida, a ciência tem muito a contribuir para com a tecnologia da reciclagem, descobrindo novas formas de transformação de resíduos sólidos em materiais com qualidade superior.

O processamento mecânico da madeira remonta aos primórdios do ser humano e, seu desenvolvimento, acompanhou a evolução da civilização humana, partindo dos primeiros instrumentos rudimentares, até chegar aos equipamentos computadorizados da atualidade (ALBUQUERQUE, 1995).

Estudos mostram que o processamento da madeira sólida produz de 15 a 60% de resíduos, que atualmente são queimados ou simplesmente lançados na natureza, causando graves problemas ao meio ambiente, mas que podem ser aproveitados de diversas formas, tais como a fabricação de painéis reconstituídos.

Os painéis de madeira aglomerada foram desenvolvidos durante a Segunda guerra mundial na Alemanha, devido aos problemas de indisponibilidade de madeira de boa qualidade para produção de painéis compensados. Desta forma, procuraram-se fontes de matéria-prima como resíduos de madeira para produção de aglomerados como alternativa para suprir a demanda por painéis compensados.

No Brasil, os painéis de madeira aglomerada começaram a ser produzidos no Brasil em 1966, pela Placas do Paraná S.A., instalada na cidade de Curitiba-PR. Na condição de um produto novo no mercado brasileiro, o aglomerado passou por períodos de questionamento, principalmente, quanto às limitações técnicas, como alta absorção de água e inchamento em espessura, usinabilidade de bordos e problemas quanto à fixação de parafusos. No decorrer do tempo, foram incorporadas novas tecnologias, como uso de parafina, controle do gradiente de densidade e sistemas de parafusamento mais eficientes, visando minimizar tais problemas, tornando o aglomerado uma das principais matérias-primas para o setor moveleiro brasileiro (ABIMCI, 1999).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo geral**

O presente trabalho teve como objetivo estudar as condições físicas e de resistência de painéis OSB, após utilização na construção civil (em ambiente interno e externo por períodos de aproximadamente 1 ano), e testar painéis reciclados (aglomerados) produzidos a partir de partículas provenientes do OSB usado no ambiente externo.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Avaliar as propriedades mecânicas de dois tipos de painéis usados (em ambiente interno e ambiente externo), tendo como testemunha um painel ainda sem uso;
- Avaliar as propriedades dos painéis aglomerados produzidos com os painéis OSB usado em ambiente externo;
- Comparar painéis aglomerados produzidos com três camadas (sendo a camada interna de partículas com maior granulometria) com painéis confeccionados com uma única camada (partículas com uma única granulometria).

## **3. REVISÃO DE LITERATURA**

### **3.1. Oriented Strand Board - OSB**

Presente no mercado mundial desde 1978, o OSB, ou “Oriented Strand Board” ou ainda Chapa de Partículas Orientadas (Figura 1), nasceu nos Estados Unidos como uma segunda geração do waferboard, produto desenvolvido em 1954 pelo Dr. James Clarke. A partir dos anos 80, houve um crescimento significativo das indústrias de “OSB” nos Estados Unidos, Canadá e nos países da Europa.



Figura 1. Chapas de OSB - *Oriented Strand Board*. Fonte: [www.compensados.com](http://www.compensados.com)

Enquanto no waferboard as tiras eram menores e aplicadas em todas as direções (CICHINELLI, 2005), as chapas OSB são produzidas de partículas de madeira tipo “strand” (partículas longas, largas e finas) com a incorporação de resina a prova d’água e parafina, orientadas numa direção durante o processo de deposição e consolidados por meio de prensagem à quente, sendo que nas camadas externas, as partículas estão dispostas longitudinalmente em relação ao comprimento da chapa, enquanto que na camada interna estão dispostas perpendicularmente às camadas externas.

A geometria das partículas “strand”, a sua orientação e formação em três camadas (face-centro-face) ou cinco camadas (face-centro-centro-centro-face), conferem às chapas OSB maior resistência mecânica (flexão estática) e melhor estabilidade dimensional (CLOUTIER, 1998).

Segundo Tsoumis (1991), o painel OSB é similar ao compensado no que diz respeito à construção e sua resistência e rigidez à flexão estática. Entretanto, Bortoletto Jr. e Garcia (2004) encontraram propriedades mecânicas diferenciadas em painéis OSB e compensados existentes no mercado interno, indicando que se leve em consideração a magnitude das propriedades requeridas pelos produtos usados.

Segundo Tsoumis (1991), o OSB é tipicamente formado por três camadas, sendo nas externas as partículas de madeira orientadas paralelamente à direção de formação do painel e na interna, a orientação é perpendicular. Esse autor afirmou que na essência, o OSB é similar ao painel compensado, no que diz respeito à forma de construção, e sua resistência e rigidez à flexão estática e sua estabilidade dimensional (Figura 2).

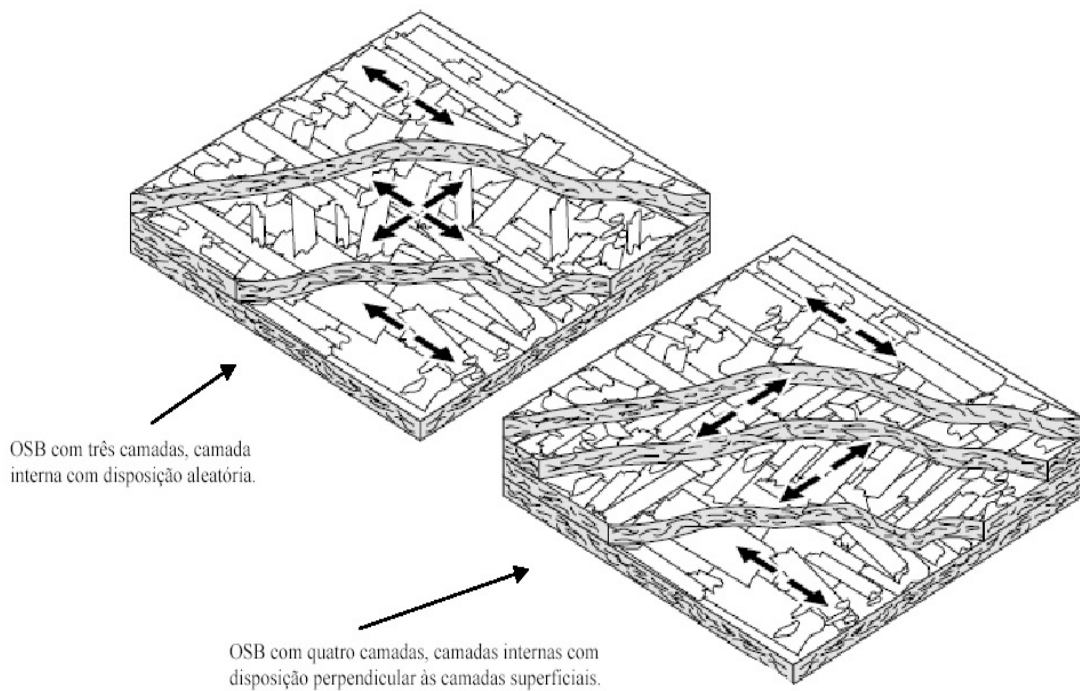


Figura 2. Posicionamento das lâminas de acordo com a orientação das partículas em dois tipos de OSB. Fonte: SBA, 2004 – [www.osbguide.com](http://www.osbguide.com)

Na confecção do OSB as tiras são obtidas diretamente a partir de toras de madeira e são sempre formadas no sentido longitudinal da fibra (Figura 3). Somando-se as camadas cruzadas, o resultado é um painel de ótima resistência físico-mecânica. É um material de qualidade consistente e uniforme. De acordo com Sellers (2001), as resinas mais utilizadas na produção do OSB é a fenol-formaldeído e a uréia-formaldeído, entretanto o uso da resina de isocianato é crescente, devido às crescentes restrições que vêm sendo feitas quanto ao uso de adesivos que utilizam o formaldeído em sua composição.



Figura 3. Partículas utilizadas na produção do OSB (cortadas no sentido longitudinal às fibras). Fonte: CICHINELLI, 2005 - [www.portalosb.com.br](http://www.portalosb.com.br)



Durante o processo de produção das placas (Figura 4), é possível o melhor aproveitamento das toras de madeira - o OSB utiliza 96% da tora, contra 56% do compensado - o que permite otimizar o custo do produto, tornando-o ecologicamente mais eficiente. Produzido, no Brasil, a partir de tiras orientadas de pinus, madeira de reflorestamento, é um dos poucos materiais que consideram o ciclo de uso completo, da concepção - eliminando sobras de forma industrialmente racionalizada - até a preocupação com sua utilização, feita da maneira mais adequada a cada tipo de uso. Outro aspecto relevante é a não utilização de árvores adultas na fabricação do OSB. A sua matéria-prima é constituída unicamente por madeira de pequena dimensão, proveniente de florestas geridas de forma sustentável (CICHINELLI et al., 2005).

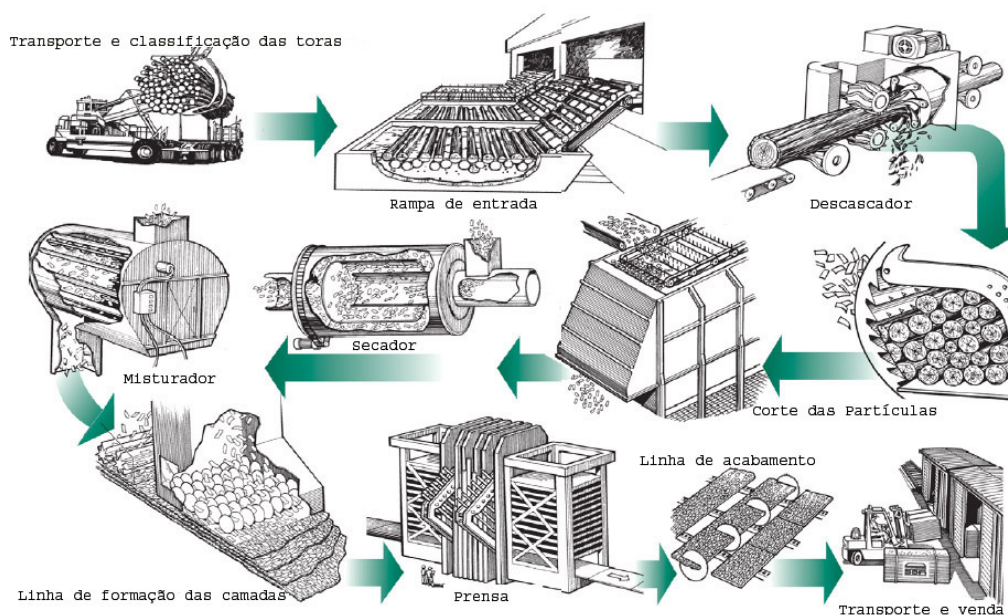


Figura 4. Processo de produção do OSB. Adaptado de SBA, 2006.

O OSB é fabricado com madeira de reflorestamento, seguindo tendência de outros tipos de painéis, como MDF (medium density fiberboard), contribuindo para diminuição da pressão sobre remanescentes de florestas nativas (GOUVEIA et al., 2000). Além disso, podem ser obtidos a partir de madeiras provenientes de desbastes, de troncos finos e defeituosos, bem como de espécies de menor valor comercial, ao contrário dos compensados que requerem toras de alta qualidade para a sua manufatura (WALKER, 1993).

Segundo a norma EN 300, os painéis OSB são classificados da seguinte forma:

- OSB/1: Painéis para usos gerais e para componentes interiores (incluindo mobiliário) utilizados em ambiente seco;
- OSB/2: Painéis para fins estruturais utilizados em ambiente seco;
- OSB/3: Painéis para fins estruturais utilizados em ambientes úmidos;
- OSB/4: Painéis para fins estruturais especiais utilizados em ambientes úmidos.

O OSB é atualmente uma das opções de chapa de madeira reconstituída disponíveis no mercado, apesar de não ser ainda muito conhecido pelo consumidor comum no mercado nacional (GOUVEIA et al., 2000). Juntamente com o MDF, chapa de fibra de densidade média, os painéis OSB vem atribuindo novas formas de uso à madeira de espécies como eucalipto e pinus, bem como, aumentando a credibilidade de madeira proveniente de reflorestamento, junto ao mercado brasileiro, aparecendo em aplicações mais nobres, como no setor moveleiro.

A produção de OSB no final dos anos 90 estava basicamente concentrada nos Estados Unidos e no Canadá, sendo esses dois países responsáveis por cerca de 95% da produção mundial. Os Estados Unidos naquele momento eram responsáveis por mais de 80% do consumo mundial do produto (TOMASELLI, 1998). O OSB só começou a ser produzido e comercializado em grande escala a partir de 2002, e somente uma empresa o fabrica em grande escala, a Masisa do Brasil, instalada em Ponta Grossa, no estado do Paraná (SBA, 2006).

O OSB é um material que permite a sua utilização em um sistema de construção utilizado no mundo todo, tanto para residências de alto padrão quanto para casas populares. A engenharia de OSB foi concebida para oferecer resistência mecânica superior, grande durabilidade e excelente trabalhabilidade. Abaixo, são apresentadas algumas vantagens que o OSB oferece: - sem espaços vazios em seu interior, - sem problemas de nó solto como na madeira, - sem problemas de laminação, - resistente ao impacto, - excelente propriedade isolante, - espessura calibrada, - atrativo para arquitetos e decoradores e preço competitivo (OSB, 2006<sup>a</sup>).

Quanto à sua utilização, o mercado nacional disponibiliza cinco variações do produto:

- *OSB Multiuso*: Ideal para construção civil (tapumes, canteiros de obras, bandejas de proteção e passarelas), embalagens, móveis e decorações (Figura 5);



Figura 5. OSB Multiuso grande uso na confecção de embalagens. Fonte: SBA, 2004 - [www.osbguide.com](http://www.osbguide.com).

- *Home*: próprio para o uso em construção seca, sendo usado nas paredes, pisos e telhados (Figura 6). Recebe proteção contra cupim, garantido por 10 anos e é identificado por receber selo 'TECO TESTED' em uma das faces - marca garantida de que a produção segue os parâmetros de normas internacionais de resistência físico-mecânica - e a borda é selada com tinta verde para maior proteção à umidade;

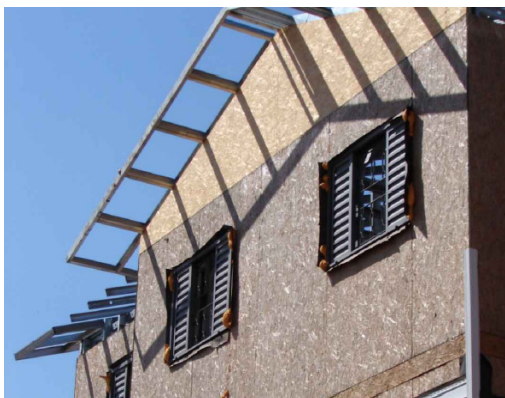


Figura 6. OSB Home: versatilidade no uso em pisos e paredes. Fonte: [www.portalosb.com.br](http://www.portalosb.com.br).

- *OSB Lixado*: pronto para uso, com superfície lixada e calibrada, podendo ser revestido com lâminas de madeira natural, ou laminados plásticos de alta pressão;
- *OSB Home M&F*: é um painel com encaixes tipo macho-e-fêmea, próprio para estruturar pisos e que admite qualquer tipo de revestimento (Figura 7). Sua finalidade é facilitar a instalação de pisos, entrepisos e coberturas, agilizando essas etapas da obra;



Figura 7. OSB Home M&F: encaixe macho-e-fêmea para estruturar pisos. Fonte: SBA, 2006 - [www.osbguide.com](http://www.osbguide.com).

- OSB Tapume: painel com formato 1,22m x 2,20m. Formato adequado para o uso em tapumes (Figura 8).



Figura 8. OSB Tapume: utilização em grande escala. Fonte: [www.telhado.com.br](http://www.telhado.com.br)

### 3.2. Painéis de partículas aglomerada

As indústrias de base florestal no Brasil geram um volume significativo de resíduos durante as fases operacionais, desde a exploração florestal até o produto final. De acordo com Brito (1996), as indústrias de madeira serrada, lâminas e compensados geraram resíduos da ordem de  $19.255.000\text{m}^3/\text{ano}$ , na forma de costaneiras, refilos, aparas, cascas, serragem, cepilhos ou maravalhas etc., representando 50,7% do volume original de toras.

Uma parte substancial de resíduos provenientes de processamento mecânico da madeira é utilizada para geração de energia para fins industriais e domésticos. No entanto, apesar dos benefícios sociais, esta forma de utilização agrega muito pouco valor ao produto final, sendo necessárias outras formas alternativas de utilização.

O aproveitamento de resíduos na forma de costaneiras, refilos e aparas, provenientes de serrarias, para produção de painéis de madeira aglomerada, seria uma das alternativas, no sentido de se obter um produto de maior valor agregado. O posterior revestimento superficial dos painéis, por colagem de lâminas naturais ou sintéticas, para utilização na indústria moveleira, elevaria mais ainda este valor agregado.

Os painéis de madeira aglomerada (Figura 9) surgiram na Alemanha no início da década de 40, como forma de viabilizar a utilização de resíduos de madeira, face à dificuldade de obtenção de madeiras de boa qualidade para produção de painéis compensados, devido ao isolamento da Alemanha durante a 2ª guerra mundial.





Figura 9. Painel de partícula aglomerada. Fonte: [www.cgimoveis.com.br](http://www.cgimoveis.com.br).

A produção foi paralisada logo a seguir, devido à redução na disponibilidade de matéria-prima para fabricação de resina, tendo em vista a prioridade de uso do petróleo para finalidade militar.

Após a guerra, em 1946, o processo de desenvolvimento de painéis aglomerados foi retomado nos Estados Unidos, com aperfeiçoamentos de equipamentos e processos produtivos. A partir da década de 60, houve grande expansão em termos de instalações industriais e avanços tecnológicos e, em meados da década de 70, iniciou-se o processo de desenvolvimento de painéis estruturais dos tipos “waferboard” e “oriented strandboard - OSB”.

A primeira indústria de aglomerado no Brasil foi instalada em Curitiba, no ano de 1966, e conta atualmente com mais de dez unidades fabris, distribuídas nas regiões Sul e Sudeste do País. A quase totalidade da madeira utilizada na produção de painéis de madeira aglomerada é proveniente de reflorestamentos de pinus, espécie que é também utilizada para produção de polpa e papel, madeira serrada e beneficiada, lâminas para painéis compensados e, mais recentemente, para produção de painéis de fibras de média densidade (MDF).

Os painéis aglomerados caracterizam-se pela transformação da madeira em pequenas partículas que secas e misturadas com resina sintética termofixa e distribuídas aleatoriamente entre si, são conformadas sob calor e pressão gerando um painel (MOSLEMI, 1974; TSOUMIS, 1991).

Os aglomerados possuem uma série de vantagens em relação à madeira serrada, como mencionadas por Maloney (1993): (i) minimização dos efeitos da anisotropia; (ii) maior uniformidade de propriedades físico-mecânicas em diferentes pontos do painel; (iii) eliminação de defeitos naturais como nós, inclinação da grã e tensões de crescimento; (iv) possibilidade de controle das propriedades físico-mecânicas do painel através das variáveis do processo produtivo como tipo e quantidade de resina, geometria de partículas, grau de densificação, entre outras; (v) menor exigência em termos de

qualidade da madeira, possibilitando uso de resíduos provenientes de outras fontes de processamento; (vi) maior produção devido à tecnologia empregada e menor custo de produção.

Dentre as inúmeras variáveis do processo produtivo, a densidade do painel e o tipo de resina utilizada na sua produção, são de grande importância para adequação das propriedades do aglomerado para determinadas aplicações.

Grande parte da demanda de painéis de aglomerado está associada ao setor moveleiro, sendo o consumo restante dividido entre a fabricação de *racks*, caixas acústicas, gabinetes de televisão e divisórias.

Uma das principais variáveis de processo na produção de painéis de madeira aglomerada é a espécie da madeira e a conseqüente relação entre a densidade do painel e a densidade da madeira utilizada, denominada de razão de compactação. (KELLY, 1977; MOSLEMI, 1974; MALONEY, 1993; TSOUMIS, 1991).

Os painéis aglomerados são normalmente produzidos com densidade na faixa de 0,60 a 0,70 g/cm<sup>3</sup>. De acordo com Kelly (1977), um grau de compactação mínimo das partículas de madeira é necessário para a consolidação do painel aglomerado durante o ciclo de prensagem. A razão de compactação é considerada como aceitável estando na faixa os valores entre 1,3 a 1,6, para que ocorra um contato adequado entre as partículas de madeira e formação da ligação adesiva entre elas (Moslemi, 1974; Maloney, 1993).

Segundo Kawai e Sasaki (1993), as propriedades mecânicas dos painéis de madeira aglomerada apresentam uma relação direta e linear com a razão de compactação. Para o caso especial de colagem de partículas de maior área superficial com resina isocianato, o limite mínimo pode chegar a 0,7. Em termos de estabilidade dimensional, os autores afirmam que o inchamento em espessura do painel de média densidade é maior com o aumento na razão de compactação e menor para painéis de baixa densidade, independente da espécie utilizada e da razão de compactação. Por outro lado, a baixa densidade do painel pode favorecer o ataque de fungos, causando redução principalmente na resistência à flexão estática (Imamura, 1993).

A influência da densidade do painel sobre as propriedades físicas e mecânicas é altamente significativa. Segundo Kelly (1977), os painéis de maior densidade apresentam maior resistência mecânica, entretanto, a sua estabilidade dimensional é prejudicada em função do maior inchamento em espessura. O autor atribui a este fato, a maior quantidade de partículas de madeira e maior densificação do painel, estando relacionado respectivamente ao inchamento higroscópico da madeira e liberação das tensões de compressão geradas durante o processo de prensagem.

Na pesquisa realizada por Albuquerque (2002), para painéis aglomerados com densidades de 0,5; 0,7 e 0,9 g/cm<sup>3</sup>, foram constatados aumentos 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 diminuíram com o aumento na densidade dos painéis.

No processo industrial para produção de painéis aglomerados, são utilizadas partículas com maiores dimensões na camada interna e partículas menores ou finos nas camadas externas. A utilização de finos na superfície do aglomerado tem a finalidade de conferir ao painel melhor acabamento superficial, visando principalmente melhorar as condições de aplicação de materiais de revestimentos. A geometria de partículas é um parâmetro importante no processo de produção de painéis aglomerados. O comprimento, largura e espessura das partículas são controlados no processo produtivo, visando a homogeneidade das dimensões que irão influenciar na área superficial específica e, conseqüentemente, no consumo de resina e propriedades dos painéis (KELLY, 1977).

De acordo com Maloney (1993) e Moslemi (1974), partículas com dimensões menores requerem maior consumo de resina, tendo em vista a maior área superficial específica para o encolamento adequado das partículas. Com a aplicação de mesma quantidade de resina, o painel produzido com partículas maiores, apresentará maior ligação interna, tendo em vista sua menor área superficial específica e, conseqüentemente, maior disponibilidade de resina por unidade de área (MALONEY, 1993).

Os estudos realizados por Zhang (1998), demonstraram que há um aumento significativo nas propriedades de módulo de elasticidade e de ruptura em flexão estática, em painéis produzidos com partículas de 0,1 mm nas camadas externas e de 0,5 mm na camada interna. Portanto, é importante ressaltar que os elementos dimensionais das partículas sejam definidos de acordo com o tipo de painel e da qualidade desejada.

### **3.3. Resina uréia-formaldeído**

Os adesivos à base de uréia-formaldeído (UF) são bastante empregados nas indústrias de painéis de madeira. Segundo Roffael e Schneider (1983), 90% das chapas de aglomerado no mundo todo são produzidas com a resina uréia-formaldeído. Porém, este adesivo apresenta resistência à umidade muito limitada (Roffael, 1982).

Nos países em desenvolvimento o custo da cola é muito alto em relação ao custo total das chapas. Isso porque quase todas as matérias-primas para fabricação de adesivos são feitas à base de produtos derivados do petróleo.

Com a crise do petróleo no início da década de setenta, houve um grande estímulo para se pesquisar a viabilidade do uso de matérias-primas naturais para a produção de adesivos (Pizzi, 1994).

No entanto, embora exista um crescente aumento do número de pesquisas que avaliam o potencial das resinas à base de tanino, resinas sintéticas, como a uréia-formaldeído e fenol-formaldeído continuam sendo amplamente utilizadas na indústria madeireira na fabricação de chapas de madeiras (ALVES e LELIS, 2002).

A uréia-formaldeído é a mais utilizada pelas indústrias de painéis aglomerados. De acordo com Marra (1992), a resina uréia-formaldeído tem vantagem em relação ao custo, entretanto, apresenta baixa resistência à umidade, sendo classificado como de uso interior.

Para aplicações que requerem alta resistência à umidade, como em usos estruturais, as resinas fenol-formaldeído e melamina-formaldeído são as mais indicadas. Atualmente, os fabricantes de resinas para madeira passaram a produzir em escala comercial as resinas compostas, tais como melamina-uréia-formaldeído e fenol-melamina-uréia-formaldeído, para aplicações semi-estruturais, com maior resistência à umidade e custos compatíveis.

### **3.4 Reciclagem**

Segundo Santos et al (2007), a reciclagem “em cascata” é uma abordagem diferenciada, que visa o reaproveitamento dos resíduos gerados tanto pelo ciclo produtivo quanto pelo descarte de objetos. Tal abordagem consiste em pré-estabelecer todo o ciclo de reutilização das partes de um determinado produto, iniciando esse processo já na criação do objeto, antecipando todas as possíveis etapas de descarte.

O reuso de materiais pode acontecer já na preparação da matéria-prima para produção de novos produtos. Um exemplo é o modelo utilizado por algumas indústrias, onde os restos do processo produtivo, principalmente materiais metálicos são reincorporados à nova mistura, gerando uma cadeia livre de resíduos industriais, situação considerada ideal do ponto de vista da sustentabilidade ambiental, uma vez que a vida útil dos materiais é prolongada reduzindo a demanda por extração de material virgem.

O planejamento de etapas posteriores e de geração de novos produtos a partir de objetos descartados requer conhecimento das causas do descarte em diferentes períodos do seu ciclo de vida, e mais além, conhecer os possíveis danos e alterações que poderão ocorrer no material em cada uma dessas etapas. Uma vez que um material é reutilizado na produção de outros produtos, é necessário entender que existem perdas nas propriedades físicas deste material a cada novo ciclo de reutilização, tornando-o apropriado para funções diferentes e que estejam de acordo com as suas novas características. No caso de resíduos madeireiros, estes normalmente são utilizados como combustível para caldeiras, gerando energia para outros processos produtivos. Entretanto existem outras possibilidades de uso para esse material, como por exemplo, a produção de placas para confecção de móveis ou elementos estruturais.

Segundo Roque e Valença (1998), a indústria de base florestal pode ser dividida, de uma forma geral, de acordo com o produto final obtido que pode ser: lenha, postes, madeira serrada, lâminas de madeira, painéis colados, compensados, aglomerados, chapas duras de fibras, chapas de fibras de média densidade, celulose e papel. Desses



produtos, a madeira serrada e os painéis de madeira são alguns insumos da cadeia produtiva madeira e móveis, os quais, por processos de usinagem, geram resíduos sólidos em várias etapas da cadeia.

Gonçalves (2000) classifica os processos de processamento da madeira em abate, descascamento, desdobro, laminação, produção de partículas e beneficiamento. Cada um desses processos é formado por diversas operações, as quais definem o trabalho de transformação da forma da madeira num determinado processo, como por exemplo, as operações de corte sejam com uma serra de fita na serraria ou com uma seccionadora na indústria de móveis seriados.

Boa parte dos resíduos sólidos da cadeia produtiva madeira e móveis é gerada no processamento da madeira serrada. Embora a fração percentual que representam os resíduos varie em função de fatores como processo, máquinas utilizadas e dimensões das toras, ocorre uma significativa perda no desdobro e nos cortes de reserra, que para madeiras de reflorestamento se situam entre 20% e 40% do volume das toras processadas (FINOTTI et al, 2006).

Segundo o Instituto Pró-Natura (2002) existem por volta de 2.500 empresas na região Amazônica, que produzem aproximadamente 9,7 milhões de m<sup>3</sup> de produtos madeireiros anualmente, dos quais, 63% destinados à construção civil. Arima et al. (1999) citam que essas empresas geram um grande volume de resíduos de madeira, considerando desde a tora no pátio da empresa até as pranchas serradas, compensados ou laminados, estimado entre 60 e 68% do volume de madeira bruta processada. De acordo com os autores, a baixa produtividade deve-se ao equipamento obsoleto, formas inadequadas de armazenar toras e a falta generalizada de atividades que visem o aproveitamento de aparas de madeira.

É conhecido como resíduo no setor florestal o que sobra da colheita florestal e da produção madeireira (desdobro e beneficiamento). Segundo Fontes (1994) e IBDF/DPq - LPF (1998) os resíduos de madeira podem ser classificados em três tipos distintos:

a) serragem - resíduo originado da operação de serras, encontrado em todos os tipos de indústria, à exceção das laminadoras;

b) maravalha ou cepilho - resulta das operações de beneficiamento da madeira, principalmente aplainamento e desengrossamento, realizada em algumas empresas que vendem madeira já beneficiada (móveis, esquadrias, pisos, forros, etc.);

c) lenha - resíduo de maiores dimensões, gerado em todos os tipos de indústria, composto por costaneiras, aparas, refilos, resíduos de topo de tora, restos de lâminas.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1. Descrição do material, identificação, coleta e transporte

Para a realização deste trabalho foram utilizadas duas chapas de painel OSB sem uso, com 12 mm de espessura (Figura 10), duas chapas de OSB com aproximadamente um ano de uso em ambiente externo como tapume de obra, com 12 de espessura (Figura 11) e duas chapas de OSB com 1 ano de uso como passarela em ambiente interno, também com 12 mm de espessura (Figura 12). Exceto os painéis novos, ou sem uso, todos foram coletados no empreendimento “*Atlantis Park*” em fase de construção, no bairro de Campo Grande, cidade do Rio de Janeiro/RJ.

Para se saber exatamente o tempo no qual ficaram expostas, as chapas utilizadas no ambiente interno e externo, foi feito um questionário aos trabalhadores envolvidos na obra na qual os mesmos foram utilizados.

Na visualização e análise prévia das chapas, os três tipos amostrados foram identificados como o OSB do tipo multi-uso, descrito nos itens anteriores, confeccionado com adesivo incolor (indicativo da utilização da resina uréia-formaldeído - UF).



Figura 10. Painel de OSB sem uso (novo) amostrado.



Figura 11. Painel de OSB usado amostrado (com aproximadamente 1 ano de uso em ambiente externo da obra).



Figura 12. Painel de OSB usado amostrado (com aproximadamente 1 ano de uso em ambiente interno da obra).

Logo após a coleta dos painéis estes foram transportados para o Laboratório de Usinagem e Beneficiamento da Madeira, do Departamento de Produtos Florestais, do Instituto de Florestas, da UFRuralRJ, onde foram confeccionados os corpos-de-prova para os ensaios físicos e mecânicos, seguindo os procedimentos descritos na norma americana para avaliação de produtos à base de madeira ASTM D-1037 (1999) “Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials”.

#### 4.2. Ensaios físico-mecânicos para avaliação dos painéis OSB

Foram realizados os procedimentos de laboratório para determinação da **densidade aparente**, sendo confeccionados 10 corpos-de-prova dos painéis novos amostrados, e 12 para cada tipo de painel já usado (uso interno e uso externo). Para os ensaios de densidade aparente os corpos-de-prova foram cortados nas dimensões de 5cm x 5cm, distribuídos aleatoriamente nos painéis e colocados para climatização na câmara climatizadora, ajustada nas condições de  $20 \pm 1^{\circ}\text{C}$  e  $65 \pm 5 \%$  de umidade relativa, até atingir peso constante, no teor de umidade de equilíbrio em torno de 12%. A densidade aparente em  $\text{g}/\text{cm}^3$  de cada corpo-de-prova foi determinada pela relação entre o volume determinado por medição direta com paquímetro e pesagem em balança laboratorial.

Os ensaios mecânicos foram efetuados em máquina universal de ensaio, modelo UMC-300 com capacidade de 30 toneladas, fabricante Contenco Ind. e Com. Ltda, (Figura 15), controlada pelo software Pavitest para caracterização de madeiras, que contém em sua programação os ensaios da ASTM D-1037 pré-configurados.

As variáveis analisadas foram o **módulo de ruptura ou resistência (MOR) à flexão estática** em  $\text{kgf}/\text{cm}^2$ ; o **módulo de elasticidade ou rigidez da amostra (MOE) na flexão estática** em  $\text{kgf}/\text{cm}^2$ ; e o **módulo de ruptura ou resistência (MOR) à tração normal**, também caracterizado como valor de **ligação interna** em  $\text{kgf}/\text{cm}^2$  da amostra de painel avaliada.

Na Figura 13 mostra detalhes da máquina universal de ensaios utilizada e dos testes de flexão estática e ligação interna realizados nos corpos-de-prova. Nas avaliações mecânicas descritas foram avaliadas 10 repetições para os ensaios em painéis novos e 12 repetições para cada tipo de painel usado (ambiente interno e ambiente externo).

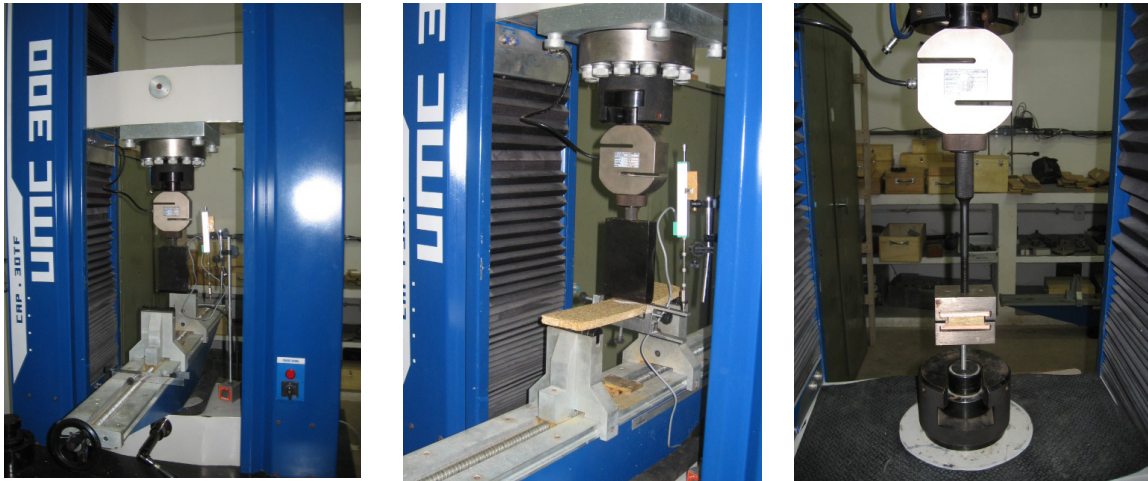


Figura 13. Máquina universal de ensaio, realização de teste de flexão estática e de teste de ligação interna.

Os corpos-de-prova foram confeccionados na direção paralela à orientação preferencial das camadas superficiais de disposição das partículas (“strands”), seguindo o critério estabelecido pela norma citada, com dimensões de 24 vezes a espessura nominal da chapa de comprimento mais 50 mm e 76 mm de largura.

#### 4.3. Confeção de chapas de partículas aglomeradas a recicladas

Na segunda parte do trabalho foram confeccionadas chapas de partículas aglomeradas ou painéis aglomerados, em escala de laboratório, utilizando como matéria-prima os painéis OSB usados em ambiente externo.

Para transformação dos painéis OSB usados em partículas, primeiramente os mesmos foram cortados em pequenos pedaços (de tamanho aleatório) utilizando uma serra circular manual (Figura 14), logo após, todo material reduzido foi triturado em moinho de martelo (Figura 15).



Figura 14. Corte dos painéis usados em pedaços utilizando serra circular manual.





Figura 15. Moinho de martelo utilizado na geração de partículas menores.

Em seguida, as partículas geradas foram peneiradas (Figura 16) para retirada dos finos. Após a classificação, as partículas foram colocadas em um tambor giratório com tela metálica para serem secas na estufa de secagem do Laboratório de Secagem do DPF/IF/UFRuralRJ, até atingirem um teor de umidade em torno de 5% (Figura 17).



Figura 16. Peneira classificatória utilizada para separação granulométrica.



Figura 17. Tambor giratório com tela metálica utilizado na secagem das partículas.

As partículas secas ao teor de umidade de 5% receberam o adesivo em uma encoladeira dotada de aplicador de cola tipo tambor rotatório, com processo de aspersão (Figura 18). Após a impregnação das partículas pelo adesivo, para cada chapa, foi utilizada uma caixa formadora com dimensões de 40 x 40 cm, para confecção do colchão, posteriormente, levado à prensa aquecida para prensagem (Figura 19).

Para colagem das partículas foi utilizada a resina uréia-formaldeído (UF), com as seguintes características: viscosidade = 351 cP, teor de sólidos = 63,54 %, pH = 7,78. A quantidade de adesivo utilizada em cada painel foi de 8% do peso do painel, utilizando-se em adição à resina uréia-formaldeído, como catalisador, 10 gramas de sulfato de amônia.



Figura 18. Tambor rotatório da encoladeira utilizada na aplicação do adesivo.

Após a realização de uma pré-prensagem manual, cada painel foi prensado à temperatura de 110°C (Figura 20) com uma prensa hidráulica, modelo OMECO, à pressão específica de 40 kgf/cm<sup>2</sup> e tempo de prensagem de 15 minutos. Após a confecção das chapas as mesmas foram levadas para câmara climática nas condições de 20 ± 1°C e 65 ± 5 % de umidade relativa.



Figura 19. Prensa hidráulica com aquecimento por resistências elétricas utilizada na prensagem das partículas.

Foram produzidos dois tipos de chapas, sendo um total de seis chapas de cada tipo ou tratamento. No primeiro tratamento foram produzidas chapas com uma camada homogênea de 100% de partículas grossas (Figura 21), e no segundo foram confeccionadas chapas de três camadas, sendo 40% de partículas grossas no miolo e 30% de partículas finas nas capas (Figura 22). A separação entre as granulometrias utilizadas foi feita na peneira classificatória, as duas porções utilizadas foram as partículas que passaram em malha de 4,37mm e ficaram retidas nas malhas de 2,00mm e 0,61mm sucessivamente.



Figura 20. Detalhe de corpos-de-prova confeccionados a partir das chapas com 100% de partículas de maior granulometria.





Figura 21. Detalhe de corpos-de-prova confeccionados a partir das chapas com três camadas (maior granulometria no miolo e menor nas capas).

Após a produção das chapas foram seccionados corpos-de-prova para os ensaios físico-mecânicos, iguais aos anteriormente descritos para a avaliação dos painéis OSB. Para cada tratamento com relação ao tipo de painel, de uma ou três camadas, foram produzidos e avaliados um total de 12 corpos-de-prova.

#### **4.4. Delineamento experimental e análise estatística dos resultados**

Para a análise estatística dos resultados o trabalho foi avaliado separadamente, em duas etapas, a primeira avaliou o efeito das diferentes formas de uso dos painéis (sem uso, uso interno e uso externo – período de aproximadamente 1 ano), onde os resultados foram avaliados pela análise de variância (ANOVA) e aplicado teste de Tukey, ao nível de 95% de probabilidade, para a diferenciação das médias.

Na segunda etapa foram comparados os painéis de partículas aglomeradas entre si, através das médias encontradas para cada tratamento.

O software utilizado foi o ASSISTAT - 7.5 beta, de uso livre e disponibilizado em [www.assistat.com](http://www.assistat.com).

As etapas das análises estatísticas realizadas, 1 e 2, consideraram cada os tratamentos descritos a seguir:

- **Tratamentos avaliados na Análise 01:** painel novo (PN); painel usado ambiente interno (PI); e painel usado ambiente externo (PE);
- **Tratamentos avaliados na Análise 02:** painel de partículas aglomeradas de uma camada (P1) e painel de partículas aglomeradas de três camadas (P3).

As análises de variância realizadas foram inseridas no Anexo 1.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Densidade aparente

Na Tabela 1 foram inseridos os resultados encontrados para a variável densidade aparente para os tratamentos avaliados.

Tabela 1. Resultados de densidade aparente (g/cm<sup>3</sup>):

Repetição	Densidade Aparente (g/cm <sup>3</sup> )				
	PN	PI	PE	P1	P3
1	0,633	0,592	0,402	0,848	0,814
2	0,572	0,659	0,401	0,862	0,661
3	0,586	0,587	0,437	0,737	0,719
4	0,575	0,593	0,364	0,829	0,790
5	0,558	0,670	0,432	0,774	0,797
6	0,607	0,625	0,445	0,836	0,830
7	0,579	0,657	0,458	0,781	0,753
8	0,563	0,578	0,400	0,858	0,717
9	0,582	0,550	0,512	0,778	0,718
10	0,547	0,626	0,514	0,866	0,776
11	----	0,600	0,441	0,861	0,791
12	----	0,586	0,436	0,868	0,796
Média	0,575	0,610	0,437	0,825	0,764
desv. pad.	0,018	0,037	0,044	0,045	0,050
C.V. (%)	3,22	6,08	10,09	5,49	6,55

PN: painel novo; PI: painel usado ambiente interno; PE: painel usado ambiente externo; P1: painel aglomerado uma camada; P3: painel aglomerado três camadas.

Nas avaliações da densidade aparente foi observada uma redução significativa quando comparados os dois primeiros tipos de painéis avaliados (novos e usados em ambiente interno) com os painéis utilizados em ambiente externo. A incidência de intempéries ambientais e exposição externa fizeram com que esses painéis perdessem massa em relação a uma unidade fixa de volume em comparação aos demais.

Nos painéis aglomerados confeccionados a partir da reciclagem das chapas usadas em ambiente externo, ocorreu uma densificação nos produtos obtidos, característica esperada devido ao processo de concepção de novas chapas e introdução de novo adesivo junto às partículas utilizadas como matéria-prima.

Na Tabela 2 são mostrados os resultados médios obtidos, para a variável densidade aparente, para os tratamentos considerados na análise 01 entre os diferentes painéis OSB: novo (PN), usado em ambiente interno (PI) e usado em ambiente externo (PE).

Tabela 2. Resultados da análise 01 (PN, PI e PE) para média das densidades aparentes ( $\text{g/cm}^3$ ):

Médias do Tratamento ( $\text{g/cm}^3$ )*		
PN	0,575 a	nr = 10
PI	0,610 a	nr = 12
PE	0,437 b	nr = 12

\* onde nr é o número de repetições do tratamento. As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si ao nível de 95% de probabilidade segundo o teste de Tukey.

No período levantado, de aproximadamente um ano de utilização, os painéis utilizados em ambiente coberto não demonstraram redução na densidade aparente, apesar de não significativa em relação aos painéis novos, foi constatada uma média maior de densidade aparente nos painéis PI, fato que pode ser explicado pelas impurezas (principalmente respingos de tinta e cimento) observados nos painéis coletados na obra.

Na Tabela 3 são mostrados os resultados médios obtidos, para a variável densidade aparente, para os tratamentos considerados na análise 02 entre os painéis OSB e aglomerados. Foram verificadas diferenças entre os dois tipos de painéis considerados; entre os aglomerados, o painel de uma camada apresentou maior densidade do que o aglomerado de três camadas. Na metodologia empregada, a separação granulométrica da camada interna não contribuiu para o aumento da densidade do painel obtido.

Tabela 3. Resultados da análise 02 (P1 e P3) para média das densidades aparente ( $\text{g/cm}^3$ ):

Médias de Tratamento ( $\text{g/cm}^3$ )		
P1	0,825	nr = 12
P3	0,764	nr = 12

## 5.2 Flexão estática

Na Tabela 4 e Figura 22 foram inseridos os resultados encontrados para as avaliações de MOR e MOE na flexão estática para os tratamentos ou materiais estudados.

Tabela. 4. Valores de MOR e MOE na flexão estática (kgf/cm<sup>2</sup>):

Rep.	MOR e MOE (kgf/cm <sup>2</sup> )									
	PN		PI		PE		P1		P3	
	MOR	MOE	MOR	MOE	MOR	MOE	MOR	MOE	MOR	MOE
1	135,20	50316,40	56,40	138573,64	25,00	6576,94	20,10	7778,76	19,60	7800,67
2	115,20	40354,20	109,20	39243,27	28,80	6591,49	44,90	16649,13	19,70	12721,86
3	111,10	33827,90	84,00	108553,31	21,60	0,00	22,10	6066,84	20,20	13500,81
4	249,90	123308,76	121,80	208449,38	27,80	4493,53	37,50	12720,82	28,40	11516,70
5	95,60	37362,67	75,60	38862,31	20,00	2825,54	28,70	8044,37	28,40	13873,54
6	75,60	23186,41	126,00	58105,15	29,80	0,00	37,30	9935,42	25,50	6966,33
7	89,30	25991,69	78,90	90982,44	24,10	14813,51	31,60	8392,39	16,40	4395,54
8	125,40	39385,85	128,20	47050,82	24,10	6850,88	19,80	7061,68	7,60	6338,22
9	116,60	45128,32	158,40	108824,59	8,60	0,00	29,70	9961,18	13,80	7420,69
10	119,70	32791,41	119,30	66433,41	17,60	0,00	60,60	17870,36	23,10	4817,38
11	---	---	88,70	198971,41	23,50	0,00	30,50	7324,36	19,10	8122,32
12	---	---	103,50	95090,74	8,40	0,00	38,20	15998,36	13,20	6258,30
Média	123,36	45165,36	104,17	99928,37	21,61	3512,66	33,42	10650,31	19,58	8644,36
desv. pad.	47,89	28640,91	28,51	57537,05	7,05	4604,24	11,54	4123,91	6,26	3368,48
C.V. (%)	38,82	63,41	27,37	57,58	32,63	131,08	34,52	38,72	31,98	38,97

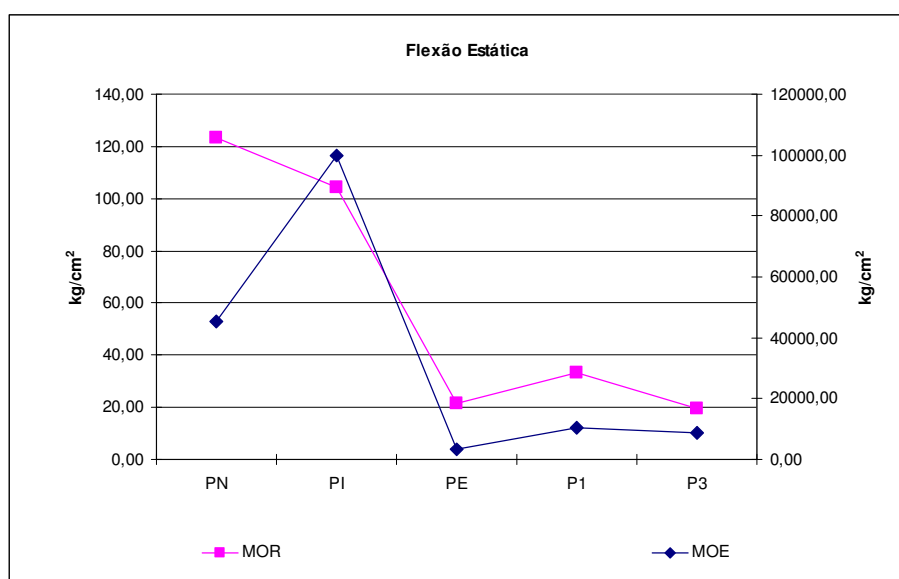


Figura 22. Gráfico das médias de MOR e MOE na flexão estática dos painéis OSB e aglomerados.

Como forma de comparação e discussão dos resultados encontrados, na Tabela 5 foram inseridos os valores de referência, descritos norma EN 300, para painéis OSB não estruturais e OSBs estruturais para uso externo.

Tabela. 5. Valores mínimos para painéis OSB indicados pela norma européia (EN 300) para uso não estrutural e uso estrutural em ambiente externo (uso externo), flexão estática (kgf/cm<sup>2</sup>):

Variável	OSB não estrutural	OSB para uso externo
MOR paralelo	183,5	285,5
MOR perpendicular	91,8	152,9
MOE paralelo	25492,5	48945,6
MOE perpendicular	12236,4	19374,3

Os valores encontrados nos ensaios de flexão estática do painel sem uso ou novo foram condizentes com os valores estipulados pela norma EN 300 para painéis OSB. Os valores do MOR foram decrescentes para os painéis usados em ambiente interno e sucessivamente em ambiente externo, sendo que esta diferença entre as utilizações (interna e externa) foi bastante significativa conforme observado na Tabela 6.

Tabela. 6. Resultados da análise 01 (PN, PI e PE) para médias do MOR na flexão estática (kgf/cm<sup>2</sup>):

Médias de Tratamento (kgf/cm <sup>2</sup> ) *		
PN	123,36 a	nr = 10
PI	104,17 a	nr = 12
PE	21,61 b	nr = 12

\* onde nr é o número de repetições do tratamento. As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si ao nível de 95% de probabilidade segundo o teste de Tukey.

Já para os resultados de MOE, que indicam a rigidez dos painéis avaliados, os resultados encontrados mostraram maiores valores para os dois primeiros tratamentos e foram observadas diferenças significativas entre todos os painéis, Tabela 7. Os valores extremamente baixos para os painéis usados em ambiente externo ocorreram devido a dificuldade dos corpos-de-prova sofrerem deformação elástica, ou seja, as deformações sofridas pela amostra logo no início do ensaio foram permanentes, caracterizando regime de deformação plástica. Algumas repetições apresentaram valores nulos, ou seja, de rigidez zero, o que indica que este tipo de painel foi severamente danificado em relação a sua rigidez devido à exposição ao ambiente externo pelo período de um ano.

Tabela 7. Resultados da análise 01 (PN, PI e PE) para médias do MOE na flexão estática (kgf/cm<sup>2</sup>):

Médias de Tratamento (kgf/cm <sup>2</sup> ) *		
PN	45165,36 b	nr = 10
PI	99928,37 a	nr = 12
PE	3512,66 c	nr = 12

\* onde nr é o número de repetições do tratamento. As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si ao nível de 95% de probabilidade segundo o teste de Tukey.

Na Tabela 8 são mostrados os resultados médios obtidos para o MOR na flexão estática, para os tratamentos considerados na análise 02. O painel aglomerado de camada única mostrou a maior resistência à ruptura entre os painéis avaliados, apresentando média superior ao painel OSB que gerou as partículas recicladas (Tabela 4 – PE).

Tabela 8. Resultados da análise 02 (P1 e P3) para médias do MOR na flexão estática (kgf/cm<sup>2</sup>):

Médias de Tratamento (kgf/cm <sup>2</sup> )		
P1	33,42	nr = 12
P3	19,58	nr = 12

Na Tabela 9 são mostrados os resultados médios obtidos para o MOE na flexão estática, para os tratamentos considerados na análise 02. Quanto à rigidez na flexão, indicada pelo MOE, os painéis aglomerados apresentaram também valores superiores ao painel que originou as partículas recicladas. A classificação da granulometria e confecção de três camadas no tratamento P3 não melhorou, significativamente, segundo a análise estatística, a rigidez do painel reciclado produzido segundo esta metodologia.

Tabela 9. Resultados da análise 02 (P1 e P3) para médias do MOE na flexão estática (kgf/cm<sup>2</sup>):

Médias de Tratamento (kgf/cm <sup>2</sup> )		
P1	10650,31	nr = 12
P3	8644,34	nr = 12

### 5.3 Ligação Interna

Na Tabela 10 e Figura 23 foram inseridos os resultados encontrados para as avaliações de MOR para a tração perpendicular ou ligação interna para os tratamentos ou materiais estudados.

Tabela 10. Resultados de ligação interna para os painéis OSB e aglomerados (kgf/cm<sup>2</sup>):

Ligação Interna (kgf/cm <sup>2</sup> )					
Repetição	PN	PI	PE	P1	P3
1	1,4	0,5	1,0	0,3	1,0
2	2,3	1,1	0,1	1,7	0,9
3	0,4	0,7	0,2	0,4	0,7
4	2,4	0,6	0,2	1,7	1,2
5	3,1	1,0	0,2	0,4	1,3
6	2,0	0,4	0,2	0,4	1,0
7	0,1	0,6	0,2	1,0	0,2
8	0,8	0,7	0,3	2,4	0,4
9	2,3	1,2	0,2	0,6	1,2
10	1,0	0,8	0,1	0,6	4,1
11	---	1,0	0,1	0,7	1,0
12	---	1,0	0,6	0,5	1,0
Média	1,580	0,800	0,283	0,892	1,167
desv. pad.	0,986	0,256	0,262	0,676	0,979
C.V. (%)	62,43	31,98	92,57	75,83	83,93

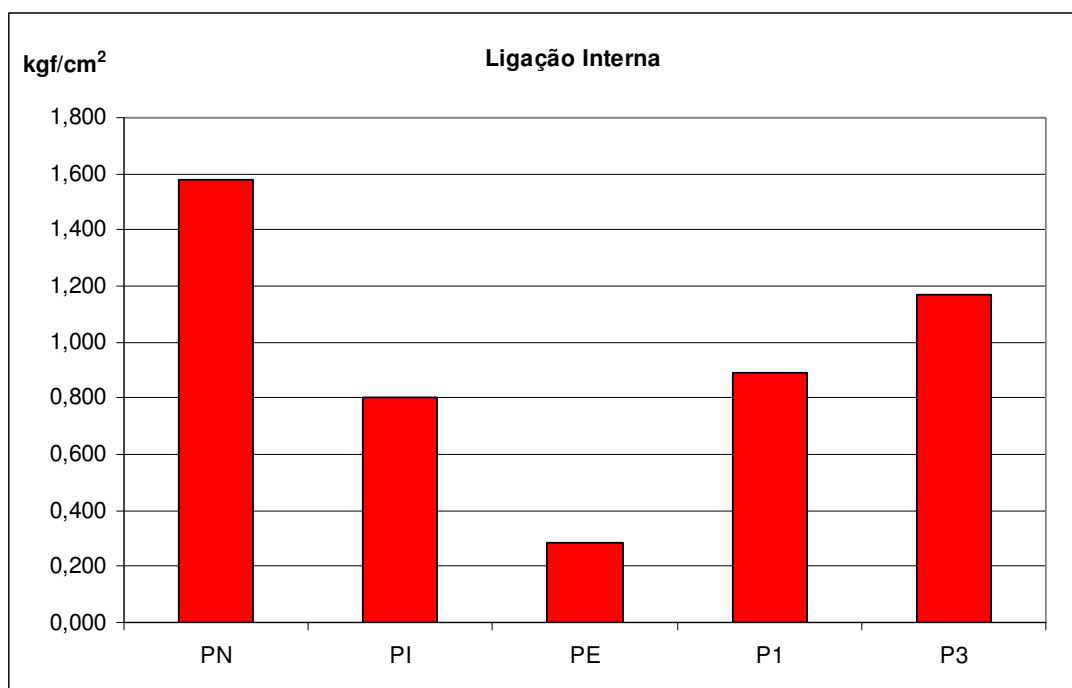


Figura 23. Gráfico das médias de MOR na ligação interna dos painéis OSB e aglomerados.

Nos dados de ligação interna, os maiores valores foram observados nos corpos-de-prova produzidos a partir do painel OSB sem uso ou novo. Os painéis usados perderam a resistência em relação a esta característica; segundo a Tabela 11 a diferença foi significativa entre o tratamento painel novo e os demais (painéis usados em ambiente interno e externo). Novamente, também para as análises de ligação interna o painel usado em ambiente externo obteve os resultados mais baixos.

Tabela 11. Resultados da análise 01 (PN, PI e PE) para médias da ligação interna:

Médias de Tratamento (kgf/cm <sup>2</sup> ) *		
PN	1,58 a	nr = 10
PI	0,80 b	nr = 12
PE	0,28 b	nr = 12

\* onde nr é o número de repetições do tratamento. As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si ao nível de 95% de probabilidade segundo o teste de Tukey.

Na Tabela 12 verifica-se que, com relação aos painéis aglomerados, estes apresentaram valores de ligação interna superiores ao painel OSB que gerou as partículas recicladas (PE - Tabela 10), porém os valores de ligação interna foram menores que os painéis OSB novos e usados somente em ambiente interno, mostrando que os painéis usados nesta última condição mencionada ainda apresentam razoável condição de ligação entre as partículas.

Tabela 12. Resultados da análise 02 (P1 e P3) para médias da ligação interna:

Médias de Tratamento (kgf/cm <sup>2</sup> )		
P1	0,90	nr = 12
P3	1,17	nr = 12



## 6. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos neste estudo foi possível destacar o seguinte conjunto de conclusões:

- painéis OSB quando expostos ao ambiente sofrem redução em sua densidade. Sendo assim sua utilização na construção civil com relação ao tempo e a exposição são restritos;
- a não ser para o MOR do painel usado em ambiente externo, os resultados indicaram claramente a queda de resistência em função da utilização do OSB como material provisório;
- para a ligação interna dos painéis, novamente ficou evidente a queda das propriedades de resistência com o passar da tempo de uso dos painéis. Os painéis utilizados em ambiente externo apresentaram partículas em fase de delaminação, notando-se a queda da resistência da ligação entre os “strands”, o que foi confirmado com os valores dos testes de tração normal ou ligação interna;
- a reciclagem das chapas já usadas, na forma de confecção de painéis aglomerados deve ser ainda melhor estudada;
- quanto a densidade dos painéis aglomerados produzidos a partir da reciclagem do OSB usado, não se mostrou interessante a classificação em três camadas de diferentes granulometrias entre o miolo e as camadas externas.

### 6.1 Recomendações

- com a experiência adquirida neste trabalho é possível recomendar futuras pesquisas que avaliem a deterioração dos painéis OSB em ensaios de deterioração acelerada, comparando-se diferentes tipos de painéis, confeccionados com diferentes tipos de adesivo; atualmente existem muito pouca informação a respeito deste tipo de avaliação.
- outras avaliações propostas para futuras pesquisas seriam análises de custo e viabilidade técnica-financeira mais aprofundadas, que tratem da reciclagem de chapas OSB descartadas pela construção civil pela utilização de forma provisória dos painéis, já que este volume de material tem aumentado dia a dia.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

TOMASELLI, I. **A indústria de painéis no Brasil e no mundo: tendências de mudanças do perfil de produção e usos.** In: Seminário Internacional Sobre Produtos Sólidos de Madeira de Alta Tecnologia, 1998, Belo Horizonte-MG. Anais...Viçosa-MG: SIF/UFV/DEF, p. 55-64, 1998.

JANSSENS, D.P. **The increasing recognition of oriented strand board (OSB) as a preferred structural panel.** In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRA DE ALTA TECNOLOGIA, 1998, Belo Horizonte-MG. Anais...Viçosa-MG: SIF/ UFV/DEF, p. 169-172, 1998.

SELLERS, T. **Wood adhesive: innovations and applications in North America.** Forest Products Journal, v. 51, n. 6, june 2001, p. 12-22.

CLOUTIER, A. **Oriented strandboard (OSB): raw material, manufacturing process, properties and use.** In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRA DE ALTA TECNOLOGIA, 1998, Belo Horizonte-MG. Anais...Viçosa-MG: SIF/UFV/DEF, p. 173-185, 1998.

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

ABIMCI - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA. **Estudo setorial.** Curitiba, 1999. 54p.

CICHINELLI, G. **História do OSB.** Masisa do Brasil, PR. 2005. Disponível em [www.portalosb.com.br](http://www.portalosb.com.br). Acesso em 3 de junho de 2007.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood: structure, properties, utilization.** New York: Chapman & Hall, 1991. p. 309-339.

BORTOLETTO JÚNIOR,G. **Produção de compensados com 11 espécies do gênero Eucalyptus, avaliação das suas propriedades físico-mecânicas e indicações para utilização.** Scientia Forestalis, n.63, p.65-78, jun.2003.

SELLERS, T. **Wood adhesive: innovations and applications in North America.** Forest Products Journal, v. 51, n. 6, p.12-22, june 2001.

CICHINELLI, G. **História do OSB**. Masisa do Brasil, PR. 2005. Disponível em [www.portalosb.com.br](http://www.portalosb.com.br). Acesso em 4 de junho de 2009.

GOUVEIA, F. N.; SANTANA, M. A. E.; SOUZA, M. R. **Utilização da madeira de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* na fabricação de chapas de partículas orientadas (OSB) e não-orientadas**. Revista *Árvore*, v.24, n.1, p. 7-12, 2000.

WALKER, J.C.F. **Primary wood processing: principles and practice**. London: Chapman & Hall, p. 377-416, 1993.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **CEN 02.26**. 1993.

GOUVEIA, F. N.; SANTANA, M. A. E.; SOUZA, M. R. **Utilização da madeira de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* na fabricação de chapas de partículas orientadas (OSB) e não-orientadas**. Revista *Árvore*, v.24, n.1, p. 7-12, 2000.

**OSB: engineered to perform for renovation and remodeling**. SBA, Canadá. 2005. Disponível em [www.osbguide.com](http://www.osbguide.com). Acesso em 9 de junho de 2009.

BRITO, E.O. **Estimativa da produção de resíduos na indústria brasileira de serraria e laminação de madeira**. Revista da Madeira, Caxias do Sul, v.26, p.34-39, 1996.

MOSLEMI, A.A. **Particleboard**. Illinois: Southern Illinois University Press, 1974. 244p.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood. Structure, properties, utilization**. New York: Chapman & Hall, 1991. 494p.

MALONEY, T.M. **Modern particleboard & dry process fiberboard manufacturing**. San Francisco: Miller Freeman Inc. 1993. 681p.

KELLY, M.W. **Critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboard**. U.S. Department of Agriculture. Wisconsin: FPL, 1977. 66p.

KAWAI, S.; SASSAKI, H. **Low density particleboard. Recent research on wood and wood-based materials**. Current Japanese materials research. Elsevier Applied Science, London, v.11, p.33-41, 1993.

IMAMURA, Y. **Estimation of the fungal resistance of wood composites of structural use – Recent research on wood and wood-based materials.** Current Japanese Material Research. Elsevier Applied Science, London, v.11, p.75-84, 1993.

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

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

ZHANG, M. **Manufacture and properties of high performance oriented strand board composite using thin strands.** Japan Wood Science, Tokyo, n. 44, p. 191-197, 1998.

ROFFAEL, E. **Die Formaldehyd-Abgabe von Spanplatten und anderen Werkstoffen.** DRW-Verlag, Stuttgart, 154p. 1982.

PIZZI, A. Natural Phenolic adhesive I: Tannin. In: **Handbook of adhesive technology.** Marcel Dekker, New York, 347-358, 1994.

TOSTES, A.S.; LELIS, R. C. C. **Extratos da casca de *Eucalyptus pellita* como fonte de adesivos para colagem de madeira.** In: I SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PÓSGRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL, Anais ..., Cd Room, 2001.

SANTOS, A., ENRICONI, A.M., DOGNINI, E.P. **Reciclagem em cascata: Estudo de caso no desenvolvimento de acessórios com resíduos florestais.** CONGRESSO INTERNACIONAL DE PESQUISA EM DESIGN. Anais. ANPE Design – Rio de JANEIRO, 2007.

ROQUE, C. A. L., VALENÇA, A. C. V. **Painéis de Madeira Aglomerada.** BNDES Setorial. 1998. Disponível em <http://www.bndes.gov.br/conhecimento/bnset/set805.pdf>. Acesso em outubro de 2005.

GONÇALVES, M. T. T. **Processamento da madeira.** Bauru: SP, 2000. 242 p.

FINOTTI, A. R., SCHNEIDER, V. E., WANDER, P. R., HILLIG, É., SILVA, M. D’A. **Uso energético de resíduos de madeira na cadeia produtiva de madeira/móveis e possibilidades de geração de créditos de carbono.** In: Pólo Moveleiro da Serra

Gáúcha - Sistemas de gerenciamento ambiental na indústria moveleira. Schneider, V. E., Nehme, M. C., Ben. F. Orgs. Educ., 2006, p. 191-230.

ARIMA, E.; VERÍSSIMO, A. & SOUZA JR., C. **A Atividade Madeireira e Desmatamento na Amazônia**, 1999.

FONTES, P. J. P. **Auto-suficiência energética em serraria de *Pinus* e aproveitamento dos resíduos**. Curitiba, 1994. 104f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

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.

ANEXO

Tabela 13. Quadro da ANOVA para a análise 01 (PN, PI e PE) - MOE na flexão estática:

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	2	56079255172,84	28039627586,4	19,7410 **
Resíduo	31	44031537736,41	1420372185,05	
Total	33	100110792909,2		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < .01$ )

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $.01 \leq p < .05$ )

ns, não significativo ( $p \geq .05$ )

Tabela 14. Quadro da ANOVA para a análise 01 (PN, PI e PE) - MOR na flexão estática:

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	2	66708,84634	33354,42317	34.3122 **
Resíduo	31	30134,71983	972,08774	
Total	33	96843,56618		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < .01$ )

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $.01 \leq p < .05$ )

ns, não significativo ( $p \geq .05$ )

Tabela 15. Quadro da ANOVA para a análise 01 (PN, PI e PE) - MOR na flexão ligação interna:

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	2	9,21204	4,60602	13,9540 **
Resíduo	31	10,23267	0,33009	
Total	33	19,44471		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < .01$ )

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $.01 \leq p < .05$ )

ns, não significativo ( $p \geq .05$ )

\* \* \*