



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

CARLOS ROBERTO FERNANDES DA SILVA FILHO

**ENSAIOS DE USINAGEM APLICADOS À
PAINÉIS À BASE DE MADEIRA**

Prof. Dr. Alexandre Monteiro de Carvalho
Orientador

SEROPÉDICA - RJ
Julho de 2010



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

CARLOS ROBERTO FERNANDES DA SILVA FILHO

**ENSAIOS DE USINAGEM APLICADOS À
PAINÉIS À BASE DE MADEIRA**

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

Prof. Dr. Alexandre Monteiro de Carvalho
Orientador

SEROPÉDICA - RJ
Julho de 2010

**ENSAIOS DE USINAGEM APLICADOS À
PAINÉIS À BASE DE MADEIRA**

Comissão examinadora:

Monografia aprovada em: 13/07/2010

Professor Dr. Alexandre Monteiro de Carvalho
UFRRJ/IF/DPF
Orientador

Professor Dr. Edvã Oliveira Brito
UFRRJ/IF/DPF
Titular

Professora M.Sc. Natália Dias de Souza
UFRRJ/IF/DPF
Titular

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela dádiva da vida.

Aos meus pais, Carlos Roberto Fernandes da Silva e Maria das Graças Santana Fernandes, pelo amor, carinho, compreensão e força nos momentos mais difíceis.

À minha avó e madrinha, Dona Nelci, pelas orações e palavras de apoio.

Ao mano, Cadu, que mesmo longe esteve sempre ao meu lado.

Ao professor, orientador e amigo, Alexandre Monteiro de Carvalho, pela paciência, incentivo, disponibilidade e dedicação neste trabalho.

Aos amigos e amigas, Carolina Moreira, André, Renata, Agostinho, Bruno, Ludmila, Amanda, Reinaldo, Alessandra, Gabriel, Amauri, preservando nossa amizade em todos esses anos.

Aos estagiários do laboratório, Vítor, Rodrigo e Gustavo, pela contribuição e ajuda nos ensaios de usinagem.

Aos funcionários do laboratório, Sebastião e Dinaldo, pelo suporte e colaboração durante os testes.

A todas as pessoas que contribuíram, mesmo que indiretamente, na realização deste trabalho, tornando possível a concretização do mesmo.

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar os processos de ensaios de usinagem em diferentes amostras de painéis à base de madeira, comparando os resultados com a testemunha (madeira maciça de Pinus), e avaliar o comportamento, para cada ensaio, dos materiais avaliados segundo as normas e procedimentos abordados nesse estudo. Foram avaliadas chapas de compensado, OSB, MDF e madeira de Pinus (testemunha), para cada material foram analisadas 10 amostras com dimensões de 30 cm x 12 cm x 2,0 cm e foram obtidos na marcenaria e na prefeitura da UFRRJ, município de Seropédica/RJ. As avaliações dos testes de usinagem foram feitas seguindo a norma ASTM- D 1666-87. As amostras foram submetidas aos seguintes testes de usinagem: lixamento, furação pra cavilha e dobradiça, rasgo e fendilhamento por pregos. Nos testes de usinagem, os painéis de compensado tiveram melhor aceitação ao lixamento, os painéis de OSB obtiveram menores ocorrências de defeitos ao teste de furação pra cavilha e dobradiça, as amostras de MDF apresentaram resultados satisfatórios ao teste de rasgo e o ensaio que causou menores imperfeições a todos os materiais foi o teste de fendilhamento por pregos.

Palavras-chave: painéis à base de madeira, processamento da madeira, derivados da madeira, ensaios de usinagem.

ABSTRACT

This work had as objective to evaluate the processes of workability in different samples of wood based panels, comparing the results with the Pinus sawnwood, and to evaluate the behavior, for each test, of the materials evaluated according to the norms and procedures approached in that study. Were evaluated samples of plywood, oriented strand lumber - OSB, medium density fiberboard - MDF and Pinus sawnwood. For each material 10 samples were analyzed with dimensions of 30 cm x 12 cm x 2,0 cm and they were obtained in the Wood Processing Laboratory – DPF/IF/UFRRJ. The evaluations of the workability tests were made following the norm ASTM - D 1666-87. The samples were submitted to the following workability tests: sandpaper, boring, tear and nails application. In the workability tests, the plywood samples had better acceptance to the sandpaper process, the OSB panels obtained smaller occurrences of defects for boring, the MDF samples presented satisfactory results to the tear test and the best result was for the nails application procedure.

Key-words: wood panels, wood processing, wood based material, wood workability.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	ix
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	2
2.1. Painéis e chapas de madeira	2
2.1.1. OSB “Oriented Strand Board”	2
2.1.2. MDF “Medium Density Fiberboard”	3
2.1.3. Painel de Compensado	4
2.2. Usinagem da madeira	5
3 OBJETIVOS	6
3.1 Objetivo geral	6
4 MATERIAL E MÉTODOS	6
4.1 Material	6
4.2 Metodologia	6
4.2.1 Testes de usinagem	7
4.2.1.1 Teste de lixa	7
4.2.1.2 Teste de furação para cavilha e para dobradiça	7
4.2.1.3 Teste de rasgo	8
4.2.1.4 Teste de fendilhamento com prego	8

5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	9
	5.1 Teste de lixa	9
	5.2 Teste de furação pra cavilha e dobradiça em compensados	12
	5.3 Teste de furação pra cavilha e dobradiça em painéis de OSB	15
	5.4 Teste de furação pra cavilha e dobradiça em painéis de MDF	18
	5.5 Teste de furação pra cavilha e dobradiça em madeira de Pinus (testemunha).....	21
	5.5.1 Comparação dos resultados dos painéis nos testes de furação pra cavilha e dobradiça	24
	5.6 Teste de rasgo	24
	5.7 Teste de fendilhamento por pregos	27
6	CONCLUSÕES	30
7	Recomendações	31
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Corpo-de-prova com a esquematização dos ensaios	8
Figura 2. Detalhes do ensaio de lixamento	11
Figura 3. Detalhes do ensaio de furação nos painéis compensados	14
Figura 4. Detalhes dos testes de furação nos painéis OSB	17
Figura 5. Detalhes dos testes de furação nos painéis MDF	20
Figura 6. Detalhes dos testes de furação em madeira de Pinus (testemunha)	23
Figura 7. Detalhes dos testes de rasgo	26
Figura 8. Detalhes dos testes de fendilhamento por prego	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Resultados dos Testes de Lixa e avaliação dos corpos-de-prova	10
Tabela 2.	Resultados dos Testes de Furação e avaliação dos corpos-de-prova do painel compensado	13
Tabela 3.	Resultados dos Testes de Furação e avaliação dos corpos-de-prova do painel OSB	16
Tabela 4.	Resultados dos Testes de Furação e avaliação dos corpos-de-prova do painel MDF	19
Tabela 5.	Resultados dos Testes de Furação e avaliação dos corpos-de-prova da madeira de Pinus	22
Tabela 6.	Resultados dos Testes de Rasgo e avaliação dos corpos-de-prova dos painéis e da testemunha	25
Tabela 7.	Resultados dos Testes de Fendilhamento por pregos e avaliação dos corpos-de-prova dos painéis e da testemunha	28

1. INTRODUÇÃO

A madeira através de seus múltiplos usos pode ser trabalhada e processada de diversas formas para a obtenção de uma ampla gama de produtos.

Segundo descreve Palermo (2010) o termo trabalhabilidade pode ser definido como o grau de facilidade em se processar a madeira com ferramentas manuais e/ou mecânicas. O autor ainda comenta que a madeira apresenta propriedades anatômicas, físicas, químicas e mecânicas diferentes entre espécies, entre árvores e dentro de árvores da mesma espécie, na hora de se avaliar a trabalhabilidade da madeira devemos considerar que a madeira pode apresentar comportamento diferente durante as operações de usinagem.

Uma chapa de madeira de boa trabalhabilidade apresentará pouco ou nenhum defeito no processo de usinagem. Os principais defeitos no processo de usinagem da madeira estão ligados a quatro fontes básicas. Primeiramente, têm-se as variações das propriedades da madeira, seguido das características de funcionamento das máquinas e das ferramentas de corte e por último o treinamento da mão-de-obra.

O Brasil apresenta excelentes condições para a produção madeireira de espécies florestais em função, principalmente, da disponibilidade do cultivo em larga escala, das práticas silviculturais e de rápido crescimento. A madeira é um recurso natural renovável e imprescindível para as atividades humanas, pois possui uma amplitude de utilização diversa diante de outros materiais utilizados no setor industrial. Outra vantagem de se trabalhar com a madeira é o fato de a mesma requerer um baixo consumo de energia em seu processamento, em relação a outro material..

As atividades da indústria florestal são grandes geradoras de resíduos. Os resíduos provenientes das indústrias de processamento de madeira podem ser utilizados para a produção de chapas de madeira (OSB, MDF, chapas de aglomerado), os resíduos utilizados na confecção dos painéis do presente trabalho foram de *Pinus sp.* O aproveitamento destes resíduos tem muitos aspectos positivos, dentre os quais, diminui o impacto sobre o meio ambiente e oferece um destino mais nobre a esta valiosa matéria-prima. As propriedades das chapas de madeira podem ser aperfeiçoadas com a pesquisa, garantindo um produto de boa qualidade e com os custos de produção minimizados.

O setor florestal vem procurando minimizar os impactos ao meio ambiente, e a produção de painéis à base de madeira possivelmente atrai consumidores com a intenção de colaborar e incentivar o uso desses derivados.

O melhor aproveitamento da madeira na indústria moveleira advém do conhecimento de suas propriedades associado ao domínio de sua trabalhabilidade.

Palermo (2010) comenta que o interesse daqueles que trabalham a madeira é otimizar a produção e diminuir custos e desperdícios durante o seu processo de beneficiamento. O mesmo autor relata que pode-se considerar que na preparação preliminar do material, o uso de ferramentas aperfeiçoadas, velocidades de corte adequadas são apenas exemplos do grande número de parâmetros que devem ser considerados para obtenção de uma boa qualidade da superfície usinada.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Painéis de madeira

Os termos chapas, painéis e placas são comumente empregados por engenheiros, fabricantes de produtos à base de madeira e comerciantes, para definir o mesmo material. No entanto, cada palavra designa um único elemento de construção. Sendo assim, Nutsch (1992) apresenta a definição de chapas da norma alemã DIN 4079, como sendo lâminas delgadas de madeira obtidas pelo desdobro do tronco de árvore através da laminação do tronco. Esta definição denomina as lâminas que formarão um elemento que poderá ser estrutural ou não.

As chapas de madeira são feitas a partir da madeira reconstituída, ou seja, o tronco da árvore é processado, a depender do tipo de chapa que se pretende produzir, em lâminas, cavacos, partículas, fibras, sarrafos ou em tábuas. Este produto começou a ser produzido industrialmente, no início do século vinte, a partir de 1905, conforme Carnos (1988), tanto na Europa como nos Estados Unidos da América.

2.1.1 OSB “Oriented Strand Board”

As chapas de madeira aglomerada com partículas orientadas OSB (“*Oriented Strand Board*” – chapa de “lascas” orientadas) estão no mercado, desde o início da década de 1980, e seus antecessores foram às chapas de “*waferboard*” (chapas de partículas não orientadas), conforme Albuquerque (2000). Este produto é usualmente comercializado nos países da América do Norte com as seguintes dimensões: 1220 x 2440 mm. Os Estados Unidos e o Canadá são responsáveis por cerca de 95% da produção mundial deste tipo de chapas, segundo Tomaselli (1998), por ser o seu processo produtivo mais econômico do que os de compensado, uma vez que utilizam madeiras macias como o “*aspen*” e “*spruce*” de menor resistência mecânica. Dos troncos destas árvores são retirados as partículas (“*strands*”) de 1mm de espessura por 25mm de largura e comprimento variando de 80 a 150mm.

Estas chapas são mais resistentes, quando comparadas com as das chapas aglomeradas comuns. A partir da década de 1990, este produto passou a competir em larga escala com as chapas de compensado, nestes países, conforme Einsfed et. al (1998). Acredita-se que este produto venha ultrapassar a produção de compensado, em razão da dificuldade em se obter toras de madeiras com qualidade e dimensões para extrair as lâminas de madeira, uma vez que, no processo de produção das chapas de compensado o tronco é utilizado em torno de 50 a 60% do diâmetro da tora, o que também contribui para a elevação do custo deste produto.

Enquanto as chapas de compensado requerem madeira de melhor qualidade, ou seja, diâmetros grandes e retilíneos, as chapas de OSB podem ser produzidas com madeira de qualidade inferior. Isto quer dizer que os troncos podem ser de pequenos diâmetros. No entanto, algumas características devem ser garantidas, como a forma do tronco, tipo dos anéis

de crescimento e teor de umidade, (Albuquerque, 2000). Segundo este mesmo autor, a densidade da madeira é o fator mais importante, pois está diretamente relacionado à densidade das chapas e às suas propriedades mecânicas.

Os valores de densidade das espécies de madeira para produção de chapas de OSB giram em torno de 0,25 - 0,45 g/cm³. Espécies com densidades entre 0,45 – 0,55 g/cm³ podem ser utilizadas, no entanto, não são as preferidas, podendo estas ser empregadas em misturas com madeiras de densidades menores. As toras de madeira devem ser preferencialmente retas com um mínimo de conicidade, pois é recomendável manter a direção principal das partículas tal qual a direção da árvore, para com isto favorecer a estabilidade dimensional da chapa, de acordo com Albuquerque e Einsfeld, descrevem o processo de produção deste tipo de chapa, iniciando com a retirada da casca das toras de madeira e desbaste do tronco.

Os painéis de madeira com partículas orientadas têm como conceito de produto a transformação de troncos de árvores de pequenos diâmetros, com baixa e/ou média densidade, em partículas de madeira. Estas partículas são misturadas com cola e dispostas na esteira de prensagem de forma orientada para formar camadas com partículas na direção principal da esteira, alternadas com camadas perpendiculares à direção principal do equipamento e assim sucessivamente, até se obter o número de camadas desejadas para serem prensadas e cortadas, formando chapas de largura e comprimento maiores e com menores espessuras.

2.1.2 MDF “Medium Density Fiberboard”

Iwakiri (2005) define como painéis de fibras de média densificação, os painéis produzidos a partir de fibras de madeira encoladas normalmente com resina uréia – formaldeído e consolidados através de prensagem a quente.

A Norma ABNT NBR 15316-1:2006 define o Painel de Média Densidade como “Chapa de fibras de madeira com umidade menor que 20% na linha de formação e densidade > 450 kg/m³. Essa chapa é produzida basicamente sob ação de calor e pressão com a adição de adesivo sintético”. Para fins mercadológicos, pode ser classificada em:

- a) HDF: chapa com densidade > 800 kg/m³;
- b) Standard: chapa com densidade > 650 kg/m³ e < 800 kg/m³; (2)
- c) Light: chapa com densidade < 650 kg/m³;
- d) Ultra light: chapa com densidade < 550 kg/m³

Essa norma é utilizada pelos fabricantes Brasileiros de Painel MDF e é baseada nas Normas Européias.

O MDF é um painel cuja característica principal é sua grande estabilidade dimensional e excepcional capacidade de usinagem, tanto nas bordas, quanto nas faces. Com densidade adequada e perfeita homogeneidade proporcionada pelas fibras, o painel de MDF pode ser facilmente pintado e revestido, torneado, entalhado e perfurado.

Além disso, por não possuir nós, veios e imperfeições típicas de uma madeira natural, o painel tem a vantagem de poder ser usinado de diferentes formas (ABIPA,2008).

Pelas suas características, o MDF é amplamente utilizado na indústria moveleira em frontais de portas, frentes de gaveta e outras peças mais elaboradas, com usinagens em bordas ou faces, como tampos de mesa, *raks* e estantes. Na construção civil é utilizada como pisos, rodapés, almofadas de portas, batentes, portas usinadas, peças torneadas como balaústres de escadas, pés de mesas e também em embalagens. Amplamente utilizado na indústria moveleira e construção civil, o MDF pode ser facilmente pintado e revestido, torneado, entalhado e perfurado (ABIPA, 2008).

Uma das características favoráveis dos painéis de MDF é a homogeneidade, capacidade de receber acabamentos como tintas e vernizes, trabalhabilidade e resistência ao arrancamento das fibras (ELEOTÉRIO, 2000).

Os painéis de alta densidade são considerados melhores para a usinagem e mais adequados para definir as suas características de acabamento. Favorece a utilização dos painéis para a fabricação de componentes especializados, de cozinhas de alta qualidade e portas de quartos com perfis complicados, e também para algumas aplicações estruturais substituindo a madeira maciça.

2.1.3 Painel de Compensado

É um produto obtido pela colagem de lâminas de madeira sobrepostas, com fibras de uma camada, o que propicia grande resistência física e mecânica. O compensado é produzido sob duas principais especificações: a) para uso interno com colagem à base de resina uréia-formol, sendo empregado basicamente na indústria moveleira; e b) para uso externo com colagem à base de resina fenol-formol, sendo normalmente utilizado na construção civil.

A madeira compensada, é um derivado composto por finas lâminas unidas por adesivo, sendo uma lâmina posicionada sempre perpendicular à lâmina adjacente. Sua composição com lâminas a 90º, também chamada laminação cruzada, permite uma melhor distribuição das propriedades da madeira, visto que as propriedades de resistência e rigidez da madeira maciça na direção das fibras são muito maiores que na direção normal às fibras. Assim, essa laminação cruzada confere ao compensado altas resistências tanto ao longo quanto através das fibras, tornando-o mais resistente ao cisalhamento, ao fendilhamento e ao impacto do que a madeira maciça (STAMATO, 2002).

Outra vantagem do compensado é a possibilidade de se produzir chapas de grandes dimensões, a partir de toras de pequena seção, possibilitando a construção de grandes estruturas.

Por ser um material composto, as propriedades elásticas do compensado estão diretamente relacionadas com o material que a compõe. BODIG & JAYNE (1982), porém, afirmam que a influência de lâmina de cola nas propriedades elásticas é desprezível, sendo o

comportamento do compensado definido exclusivamente pelas propriedades das lâminas de madeira. Cabe ainda ressaltar que a lâmina de cola deve ter resistência igual ou superior à da madeira, pois o comportamento estrutural do compensado depende da perfeita união entre as lâminas.

O painel de compensado tem múltiplas aplicações: construção civil, móveis, formas para concreto, embalagens, etc. Suas características mecânicas, grandes dimensões e variedades de tipos adaptáveis a cada uso, constituem os principais atributos para justificar a ampla utilização deste material.

A utilização da madeira compensada como elemento permanente de estruturas de madeira ainda é pouco difundida no Brasil, apesar de possuir um grande parque produtor de chapas de compensado instalado no país. O estudo desse material como alternativa para as construções correntes em madeira ainda é recente no Brasil, porém já se apresenta como uma interessante possibilidade para a atualização dos métodos construtivos aqui empregados, abrindo espaço para a industrialização dessas estruturas e, conseqüentemente, fornecendo novas alternativas para o mercado da construção civil.

Sob o ponto de vista do ciclo de vida da indústria, o painel de compensado pode ser considerado como um produto maduro. Assim, em alguns nichos de mercado, como em móveis seriados, vem sendo substituído pelo painel de aglomerado e/ou o MDF. O consumo mundial é declinante, uma vez que vem sofrendo restrições ambientais, escassez de matéria-prima e elevação dos custos de produção.

2.2. Usinagem da madeira

O termo usinagem ou trabalhabilidade refere-se ao grau de facilidade de processar a madeira mediante o uso de instrumentos (BURGER & RICHTER, 1991), tendo como objetivo não somente cortá-la, mas produzir uma forma desejada quanto às dimensões e à qualidade da superfície, tão exato e econômico quanto for possível (LATORRACA, 2003).

Para conhecer a trabalhabilidade de cada madeira é preciso conhecer a interação de suas propriedades com os parâmetros de usinagem (SILVA et al., 2005).

Segundo SILVA et al. (2002) e ISKRA & TANAKA (2005), os principais defeitos no processo de usinagem da madeira estão ligados aos seguintes parâmetros: variações das propriedades da madeira, condições das máquinas (desgastes dos componentes das máquinas - balanceamento e alinhamento), ferramentas de corte (conservação do gume de corte e a escolha da ferramenta mais adequada) e treinamento do operador (regulagem e o ajuste das máquinas).

A madeira isenta de defeitos naturais, o controle no desdobro e na secagem da madeira reduzem a ocorrência de defeitos de precisão dimensional das peças usinadas. A utilização de geometrias e condições de corte impróprias contribui para a redução da eficiência, pois estas

condições estão associadas ao aumento nas falhas nas operações de usinagem (LUCAS FILHO, 2004).

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo geral

Este estudo teve como objetivo geral avaliar os processos de usinagem em diferentes painéis à base de madeira, OSB, MDF e compensado, comparando os resultados com a testemunha (madeira maciça de Pinus) e avaliando o comportamento desses materiais aos ensaios segundo as normas e procedimentos abordados nesse estudo.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Material

Nesse estudo foram utilizadas diferentes procedências de painéis de madeira. Eles foram obtidos na marcenaria e na prefeitura da UFRRJ, município de Seropédica/RJ.

Estes materiais foram levados para o Laboratório de Usinagem de Madeira do Instituto de Florestas, onde foram beneficiados para a obtenção de corpos-de-prova com dimensões pré-estabelecidas. Foram confeccionadas 10 amostras de cada material: 30 cm x 12 cm x 2 cm de compensado; 30 cm x 12 cm x 1,5 cm de OSB; 30 cm x 12 cm x 2 cm de MDF; 30 cm x 12 cm x 2 cm de madeira de Pinus (testemunha).

4.2. Metodologia

As amostras beneficiadas no Laboratório de usinagem e beneficiamento da madeira foram utilizadas para a condução dos testes de usinagem, seguindo o procedimento utilizado em IBAMA (1997), o qual descreve uma adaptação da norma ASTM D 1666-87: “Standard method for conducting machining tests of wood and wood base materials”.

Os corpos-de-prova foram avaliados segundo um critério de notas de 1 a 5, onde 1 significou amostra sem defeitos e as demais notas foram dadas em função da intensidade dos mesmos.

4.2.1. Testes de usinagem:

4.2.1.1 Teste de lixa

O teste de lixa foi realizado em lixadeira de esteira no Laboratório de Usinagem e Beneficiamento da Madeira, que possui 2,70 m entre a roda motriz e a roda guia, com uma lixa de grão 80. O teste de lixa foi conduzido na face oposta à que foi utilizada no teste de plaina, sendo a superfície da madeira lixada por aproximadamente 20 segundos.

Neste teste foi avaliado o riscamento de superfície e grã felpuda, onde foram dadas notas conforme o detalhamento a seguir:

Nota 1 (excelente) – superfície sem defeitos;

Nota 2 (boa) – superfície com riscamento ou grã felpuda em apenas uma parte pequena da peça;

Nota 3 (regular) – presença de riscamento ou grã felpuda em metade da superfície da peça;

Nota 4 (ruim) – presença de riscamento ou grã felpuda na maior parte da peça;

Nota 5 (muito ruim) – presença de riscamento ou grã felpuda em quase que a totalidade da peça.

4.2.1.2 Teste de furação para cavilha e para dobradiça

No teste de cavilha foi utilizada uma furadeira vertical de coluna, com velocidade de avanço manual e frequência de rotação do motor de 3100 min⁻¹.

Na furação para cavilha a furadeira foi equipada com brocas do tipo helicoidal de aço, com os respectivos tamanhos: 10 mm; 5/16 mm; 6 mm de largura, sendo realizados três furos passantes em cada amostra, um para cada broca. Os furos dispostos com uma distância mínima de 25 mm entre eles e também das bordas.

No teste de furação para dobradiça foram utilizadas 3 tamanhos distintos de brocas chatas. São eles: 1”; 5/8; 9/16. Sendo confeccionados dois furos para cada broca, um passante e outro não em cada amostra.

Na furação para dobradiça foi avaliada a presença de: grã felpuda, arrancamento de grã, marcas de cavaco e de grã levantada.

Para avaliação da furação foram dadas as seguintes:

Nota 1 (excelente) – ausência de defeito em qualquer um dos furos;

Nota 2 (boa)– superfície defeito leve em apenas um, ou dois dos furos;

Nota 3 (regular) – presença de defeito leve em metade dos furos, ou presença de defeito médio;

Nota 4 (ruim) – presença de defeito severos em um furo, ou presença de defeito médio na maior parte dos furos;

Nota 5 (muito ruim) – presença de defeito severo em mais de um furo.

4.2.1.3 Teste de rasgo

O rasgo foi feito na lateral da peça, com a utilização de uma furadeira horizontal acoplada a um equipamento de múltiplas funções (serra circular, tupia e furadeira), com uma broca helicoidal de 6 mm. Para avaliação foram atribuídas notas de um a cinco, em função do levantamento de fibras presente nas superfícies do rasgo presente nos corpos de prova utilizados. Foram dadas para as amostras as seguintes notas nesse teste:

Nota 1 (excelente) – ausência de levantamentos de fibras em qualquer das quatro bordas e no fundo;

Nota 2 (boa) – presença de levantamento leve em uma ou duas faces quaisquer;

Nota 3 (regular) – presença de levantamento forte em uma e leve em outra;

Nota 4 (ruim) – presença de levantamento forte em duas a quatro faces quaisquer e fundo isento de levantamento;

Nota 5 (muito ruim) – presença de levantamento forte nas quatro faces e no fundo.

4.2.1.4 Teste de fendilhamento com prego

Para realização deste teste foram utilizados pregos com dimensões de 15 x 15 cm de 30 mm de comprimento e 2,4 mm de diâmetro. Os pregos foram inseridos com espaçamento de 20 mm entre si e a 10 mm das bordas das peças, com a utilização de um martelo de 250g.

As avaliações foram feitas levando-se em consideração a presença de rachas ou trincas observadas na superfície de penetração. Sendo que os resultados foram classificados como:

Peça que aceita pregos: amostra sem rachas ou trincas, ou dimensões insignificantes destes, não alcançando o topo das amostras;

Peça que não aceita pregos: com trincas ou rachas.

Na Figura 1 é mostrado um corpo-de-prova com a esquematização dos ensaios.



5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para avaliar a superfície das peças usinadas utilizou-se um critério de avaliação visual, semelhantemente ao utilizado por Palermo (2010) que descreve que esse critério baseia-se na sensibilidade humana e no ponto de vista particular do observador, onde verificamos os tipos de defeitos ocorridos durante a operação de usinagem. Seguindo as referências do trabalho de Palermo, que adotou metodologia similar a utilizada neste trabalho as peças visualizadas e classificadas em pela presença ou ausência de lascamento ou arrancamento das fibras, superfície felpuda, marcas de cavaco, grã levantada, presença ou não de trincas ou rachas e firmeza dos pregos.

5.1. Teste de lixa

Na Tabela 1 foram inseridos os resultados avaliados e encontrados para o teste de lixamento para cada tipo de painel, mais a testemunha, analisando a ocorrência de grã felpuda.

Tabela 1. Resultados dos Testes de Lixa e avaliação dos corpos-de-prova:

Material	CP	Teste de Lixa	
		Nota	Grã Felpuda Sim / Não
Compensado	1	2	menor intensidade
	2	2	menor intensidade
	3	2	menor intensidade
	4	3	intensidade média
	5	2	menor intensidade
	6	2	menor intensidade
	7	3	intensidade média
	8	2	menor intensidade
	9	4	maior intensidade
	10	3	intensidade média
	Média	2,5	
OSB	11	3	Riscamento
	12	4	Sim
	13	3	Sim
	14	3	Sim
	15	3	Sim
	16	4	Sim
	17	3	Riscamento
	18	3	Riscamento
	19	3	Sim
	20	3	Sim
	Média	3,2	
MDF	21	5	Total
	22	3	Metade
	23	5	Total
	24	5	Total
	25	5	Total
	26	5	Total
	27	3	Metade
	28	4	maior parte
	29	3	Metade
	30	2	menor parte
	Média	4,0	
Testemunha (<i>Pinus</i>)	31	2	menor parte
	32	3	Metade
	33	3	Metade
	34	2	menor parte
	35	2	menor parte
	36	3	Metade
	37	4	maior parte
	38	4	maior parte
	39	2	menor parte
	40	2	menor parte
	Média	2,7	

Os painéis de compensado apresentaram grã felpuda em pequena ou igual parte em relação ao tamanho das peças, tendo apresentado levantamento de grã com menor intensidade.

Foi observada presença de riscamento e grã felpuda em boa parte dos painéis de OSB.

Os corpos-de-prova de MDF se comportaram mal em relação usinabilidade do material no ensaio de lixa, muitos painéis apresentaram levantamento de grã felpuda em quase a totalidade das peças.

As chapas de madeira de Pinus (testemunha) apresentaram boa usinabilidade, alguns ensaios feitos nos painéis com presença de nós, responderam com alto levantamento de grã felpuda após os testes de lixamento.

Na Figura 2 foram inseridos detalhes do ensaio de lixamento realizado.



Figura 2. Detalhes do ensaio de lixamento.

De acordo com as avaliações feitas visualmente e com as médias de cada painel, podemos afirmar que os corpos-de-prova de compensado, assim como os da testemunha que também foram ensaiados, responderam melhor aos testes de lixamento, obtendo melhor usinagem das chapas ao ensaio, em relação aos corpos-de-prova de OSB e MDF.

Os corpos-de-prova de MDF foram os que pior se comportaram em relação aos testes de lixa, foram observados nessas amostras, após os ensaios, forte rugosidade na

superfície testada, sendo este material pouco apropriado para este tipo de teste, com a lixa utilizada.

As amostras de compensado obtiveram melhor usinagem dentre os painéis avaliados, alcançando inclusive, notas melhores em relação à testemunha, comprovando ter boa aceitação em testes com lixa.

Segundo Taylor et al. (1999) os mais importantes parâmetros do processo de lixamento são a espécie de madeira, a pressão exercida, o tipo de mineral abrasivo, a orientação do movimento da lixa e a dimensão dos grãos abrasivos.

De acordo com Hall & Heard (1982) e Lihra & Ganey (1999), apud Palermo (2010), as irregularidades deixadas por uma lixa mais grosseira diminuem com a aplicação de uma nova etapa de lixamento, isto é, com lixa de granulometria mais fina.

5.2 Teste de furação para cavilha e dobradiça em compensados

Na Tabela 2 foram inseridos os resultados avaliados e encontrados para o teste de furação para cada corpo-de-prova de compensado, analisando as ocorrências de: grã felpuda, grã arrancada, levantamento de grã e marcas de cavaco.

Tabela 2. Resultados dos Testes de Furação e avaliação dos corpos-de-prova do painel compensado:

Material	CP	Testes de Furação																	
		1" Chata				5/8 Chata				9/16 Chata				10mm Helic.		5/16 Helic.		6mm Helic.	
		passante		ñ passante		passante		ñ passante		passante		ñ passante		Nota	Tipo Def.	Nota	Tipo Def.	Nota	Tipo Def.
Nota	Tipo Def.	Nota	Tipo Def.	Nota	Tipo Def.	Nota	Tipo Def.	Nota	Tipo Def.	Nota	Tipo Def.	Nota	Tipo Def.	Nota	Tipo Def.	Nota	Tipo Def.		
Compensado	1	4	grã levantada	4	grã arrancada e felpuda	2	grã levantada	4	grã arrancada e felpuda	2	grã levantada	5	grã levantada, arrancada e felpuda	3	grã levantada	2	gã levantada	3	Grã levantada
	2	3	grã levantada	3	grã arrancada, levantada e felpuda	2	grã levantada	4	grã arrancada e felpuda	3	grã levantada	5	grã levantada, arrancada e felpuda	4	grã levantada	3	gã levantada	3	Grã levantada
	3	2	grã levantada	2	grã arrancada	2	grã levantada	3	grã arrancada e felpuda	2	grã levantada	4	grã levantada, arrancada e felpuda	4	grã levantada	2	gã levantada	2	Grã levantada
	4	4	grã levantada	2	grã arrancada e felpuda	2	grã levantada	3	grã arrancada e felpuda	2	grã levantada	4	grã levantada, arrancada e felpuda	4	grã levantada e marcas de cavaco	2	gã levantada	2	Grã levantada
	5	5	grã levantada	3	grã arrancada, levantada e felpuda	2	grã levantada	4	grã arrancada, felpuda e levantada	2	grã levantada	4	grã levantada, arrancada e felpuda	4	gã levantada	2	gã levantada	3	Grã levantada
	6	3	grã levantada	4	grã arrancada	2	grã levantada	5	grã arrancada, felpuda e levantada	3	grã levantada	3	grã arrancada e felpuda	4	grã levantada e marcas de cavaco	3	gã levantada	3	Grã levantada
	7	3	grã levantada	4	grã arrancada	3	grã levantada	5	grã arrancada, felpuda e levantada	4	grã levantada	5	grã levantada, arrancada e felpuda	4	gã levantada	4	gã levantada	4	Grã levantada
	8	4	grã levantada	4	grã arrancada e felpuda	3	grã levantada	5	grã arrancada, felpuda e levantada	2	grã levantada	2	grã levantada	5	grã levantada e marcas de cavaco	3	gã levantada	4	Grã levantada
	9	4	grã levantada	5	grã arrancada, levantada e felpuda	4	grã levantada	5	grã arrancada, felpuda e levantada	2	grã levantada	3	grã levantada, arrancada e felpuda	5	grã levantada e marcas de cavaco	4	gã levantada	4	Grã levantada
	10	3	grã levantada	4	grã arrancada e felpuda	2	grã levantada	4	grã arrancada, felpuda e levantada	3	grã levantada	4	grã levantada, arrancada e felpuda	4	grã levantada e marcas de cavaco	4	gã levantada	3	Grã levantada
	Média	3,5		3,5		2,4		4,2		2,5		3,9		4,1		2,9		3,1	

Os testes de furação para cavilha e dobradiça em corpos-de-prova de painéis compensado demonstraram que os materiais responderam ao ensaio de maneira diferente de acordo com o tamanho e forma das brocas.

Nos furos passantes observamos a ocorrência de levantamento de grã com maior intensidade em relação aos furos não passantes. Sendo este defeito detectado em todos os corpos-de-prova testados com brocas chatas, caracterizando má usinabilidade do material.

Nos testes de furação não passantes com brocas chatas, os defeitos ocorreram com menor intensidade, porém, observou-se o surgimento de outros defeitos, além de levantamento de grã, após os ensaios, como arrancamento de grã e grã felpuda.

Para os ensaios de furação para cavilha e dobradiça utilizando brocas helicoidais, observou-se maior intensidade dos defeitos nos furos feitos com broca de maior espessura (10 mm), notando-se também a presença de marcas de cavaco em alguns corpos-de-prova, além do aparecimento de levantamento de grã em todas as amostras.

A qualidade da superfície furada depende do tipo de madeira, da ponta da broca, da densidade e da velocidade de avanço da broca. As madeiras de maior densidade tendem a apresentar menos defeitos de grã arrancada e grã levantada durante a operação de furação. No entanto, existem algumas madeiras que fogem a regra, pois elas possuem alto conteúdo de extrativos e sílica que interferem no fio da ferramenta de corte, gerando defeitos de usinagem (CASTILHO & CUETO, 1996, apud PALERMO, 2010).

Na Figura 3 foram inseridos detalhes dos testes de furação nos painéis compensados.



Figura 3. Detalhes do ensaio de furação nos painéis compensados.

Conforme demonstraram os ensaios, de maneira geral, o levantamento de grã foi o defeito mais observado nas bordas do furo, mostrando baixa aceitação deste material em testes feitos com brocas.

Defeitos como marcas de cavaco foram encontradas em muitos corpos-de-prova, ocorrendo forte incidência dessas marcas nas amostras em painéis de compensado.

5.3 Teste de furação para cavilha e dobradiça em painéis de OSB

Na Tabela 3 foram inseridos os resultados encontrados para o teste de furação para cada corpo-de-prova de OSB, analisando as ocorrências de: grã felpuda, grã arrancada, levantamento de grã e marcas de cavaco.

Tabela 3. Resultados dos Testes de Furação e avaliação dos corpos-de-prova do painel OSB:

Material	Testes de Furação																		
	CP	1" Chata				5/8 Chata				9/16 Chata				10mm Helic.		5/16 Helic.		6mm Helic.	
		Passante		ñ passante		passante		ñ passante		Passante		ñ passante		Nota	Tipo Def.	Nota	Tipo Def.	Nota	Tipo Def.
		Nota	Tipo Def.	Nota	Tipo Def.	Nota	Tipo Def.	Nota	Tipo Def.	Nota	Tipo Def.	Nota	Tipo Def.	Nota	Tipo Def.	Nota	Tipo Def.	Nota	Tipo Def.
OSB	11	5	grã levantada e marcas de cavaco	5	grã arrancada, felpuda, levantada e marcas de cavaco	3	grã levantada e marcas de cavaco	4	grã arrancada e levantada	2	grã levantada	2	grã levantada, arrancada e felpuda	2	grã levantada	4	grã levantada e marcas de cavaco	3	grã levantada
	12	2	grã levantada	3	grã arrancada, felpuda, levantada e marcas de cavaco	2	grã levantada	4	grã arrancada e levantada	2	grã levantada	3	grã felpuda, levantada e marcas de cavaco	3	grã levantada	4	grã levantada e marcas de cavaco	2	grã levantada e marcas de cavaco
	13	4	grã levantada e marcas de cavaco	3	grã arrancada, felpuda e levantada	3	grã levantada	3	grã levantada e marcas de cavaco	2	grã levantada e marcas de cavaco	2	grã levantada e arrancada	3	grã levantada e marcas de cavaco	2	grã levantada	2	grã levantada
	14	3	grã levantada	2	grã arrancada e felpuda	2	grã levantada e marcas de cavaco	2	grã arrancada e levantada	4	grã levantada e marcas de cavaco	3	grã arrancada, felpuda, levantada e marcas de cavaco	2	grã levantada	2	grã levantada	4	grã levantada e marcas de cavaco
	15	4	grã levantada e marcas de cavaco	4	grã arrancada, felpuda, levantada e marcas de cavaco	5	grã levantada e marcas de cavaco	5	grã arrancada, felpuda, levantada e marcas de cavaco	3	grã levantada e marcas de cavaco	3	grã arrancada, felpuda, levantada	2	grã levantada	3	grã levantada e marcas de cavaco	2	grã levantada
	16	5	grã levantada e marcas de cavaco	5	grã arrancada, felpuda, levantada e marcas de cavaco	2	grã levantada e marcas de cavaco	2	grã arrancada e felpuda	5	grã levantada e marcas de cavaco	5	grã felpuda, levantada e marcas de cavaco	4	grã levantada e marcas de cavaco	2	grã levantada	2	grã levantada
	17	2	grã levantada	3	grã levantada e arrancada	3	grã levantada	2	grã arrancada e felpuda	2	grã levantada	3	grã levantada e felpuda	3	grã levantada e marcas de cavaco	2	grã levantada	2	grã levantada
	18	2	grã levantada	4	grã arrancada, felpuda, levantada e marcas de cavaco	2	grã levantada e marcas de cavaco	2	grã arrancada e felpuda	2	grã levantada	2	grã arrancada, felpuda, levantada e marca de cavaco	2	grã levantada	3	grã levantada e marcas de cavaco	2	grã levantada
	19	3	grã levantada	3	grã levantada e arrancada	3	grã levantada	3	grã arrancada e felpuda	3	grã levantada	3	grã levantada e felpuda	2	grã levantada e marcas de cavaco	3	grã levantada	2	grã levantada
	20	3	grã levantada	4	grã arrancada, felpuda, levantada e marcas de cavaco	2	grã levantada e marcas de cavaco	3	grã arrancada e felpuda	2	grã levantada	3	grã arrancada, felpuda, levantada e marca de cavaco	3	grã levantada	2	grã levantada e marcas de cavaco	2	grã levantada
	Média	3,3		3,6		2,7		3,0		2,7		2,9		2,6		2,7		2,3	

Para os testes de furação pra cavilha e dobradiça em painéis de OSB, observou-se presença de grã levantada em praticamente todas as furações.

Nos painéis de OSB, muitos defeitos encontrados foram possivelmente devido a desestabilidade da orientação das partículas que compõem os materiais.

A geometria das partículas “strand”, a sua orientação e formação em três (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).

Na Figura 4 foram inseridos detalhes dos testes de furação nos painéis de OSB.



Figura 4. Detalhes dos testes de furação nos painéis OSB.

Os defeitos mais visualizados nas amostras foram:

- Para testes com brocas chatas: grã arrancada, grã felpuda, levantamento de grã e marcas de cavaco.
- Para testes com brocas helicoidais: grã levantada e marcas de cavaco.

Não foram observadas presenças de queima da madeira e de esmagamento de grã em nenhuma das amostras, apresentando bom desempenho na avaliação feita para dobradiça.

5.4 Teste de furação para cavilha e dobradiça em painéis de MDF

Na Tabela 4 foram inseridos os resultados encontrados para o teste de furação para cada corpo-de-prova de MDF, analisando as ocorrências de: grã felpuda, levantamento de grã e marcas de cavaco.

Tabela 4. Resultados dos Testes de Furação e avaliação dos corpos-de-prova do painel MDF:

Material	Testes de Furação																		
	CP	1" Chata				5/8 Chata				9/16 Chata				10mm Helic.		5/16 Helic.		6mm Helic.	
		passante		ñ passante		passante		ñ passante		passante		ñ passante		Nota	Tipo Def.	Nota	Tipo Def.	Nota	Tipo Def.
		Nota	Tipo Def.	Nota	Tipo Def.	Nota	Tipo Def.	Nota	Tipo Def.	Nota	Tipo Def.	Nota	Tipo Def.						
MDF	21	2	grã levantada	4	grã levantada e felpuda	5	grã levantada	4	grã levantada e felpuda	5	grã levantada	4	grã levantada e felpuda	5	grã levantada e marcas de cavaco	4	grã levantada	5	grã levantada
	22	2	grã levantada e marcas de cavaco	4	grã levantada e felpuda	4	grã levantada	5	grã levantada e felpuda	4	grã levantada	4	grã levantada e felpuda	5	grã levantada	5	grã levantada	5	grã levantada
	23	2	grã levantada	4	grã levantada e felpuda	4	grã levantada	5	grã levantada e felpuda	4	grã levantada	3	grã levantada e felpuda	5	grã levantada	4	grã levantada	5	grã levantada
	24	5	grã levantada e marcas de cavaco	5	grã levantada, felpuda e marcas de cavaco	5	grã levantada	4	grã levantada e felpuda	4	grã levantada	4	grã levantada e felpuda	5	grã levantada	4	grã levantada	4	grã levantada
	25	3	grã levantada	4	grã levantada e felpuda	5	grã levantada	5	grã levantada e felpuda	4	grã levantada	5	grã levantada e felpuda	5	grã levantada	4	grã levantada	5	grã levantada
	26	2	grã levantada	3	grã levantada e felpuda	5	grã levantada	5	grã levantada e felpuda	4	grã levantada	5	grã levantada e felpuda	5	grã levantada	4	grã levantada	4	grã levantada
	27	1	ausência de defeito	3	grã felpuda	5	grã levantada	4	grã levantada e felpuda	2	grã levantada	3	grã levantada e felpuda	4	grã levantada	2	grã levantada	2	grã levantada
	28	2	grã levantada	3	grã felpuda	4	grã levantada	4	grã levantada e felpuda	2	grã levantada	2	grã levantada e felpuda	4	grã levantada	2	grã levantada	3	grã levantada
	29	1	ausência de defeito	2	grã felpuda	4	grã levantada	3	grã levantada e felpuda	2	grã levantada	3	grã levantada e felpuda	4	grã levantada	2	grã levantada	2	grã levantada
	30	2	grã levantada	3	grã felpuda	3	grã levantada	3	grã levantada e felpuda	3	grã levantada	3	grã levantada e felpuda	3	grã levantada	2	grã levantada	3	grã levantada
	Média	2,2		3,5		4,4		4,2		3,4		3,6		4,5		3,3		3,8	

Para os testes de furação pra cavilha e dobradiça em painéis MDF, observamos que os corpos-de-prova apresentaram médias altas na maioria dos furos, principalmente nos ensaios feitos com brocas de maiores diâmetros, onde a ocorrência de grã felpuda e grã levantada foram evidentes e significativas.

As avaliações das médias possibilitaram afirmar que as amostras de MDF não se comportaram bem nesta usinagem, devido a maior intensidade das imperfeições encontradas nos furos.

Os ensaios demonstraram que as características físicas do painel não desempenharam boa resposta à furadeira utilizada, sendo pouco eficiente à usinagem, fazendo necessário um provável aumento na rotação do aparelho.

Na Figura 5 foram inseridos detalhes dos testes de furação nos painéis MDF.



Figura 5. Detalhes dos testes de furação nos painéis MDF.

Foi verificada presença de grã felpuda e levantada na maioria dos corpos-de-prova, causando intensos defeitos nas furações após o teste.

A composição das fibras de densidade média, que caracteriza o tipo de painel, demonstraram que os ensaios com furação permitem o aparecimento de grã felpuda com alta incidência nos furos não passantes, proporcionando fraco desempenho das amostras ao teste.

Neste ensaio não foram observadas presenças de queima da madeira e de esmagamento de grã em nenhuma das amostras testadas.

Nos furos passantes confeccionados com broca chata de 1 polegada, obtivemos a melhor média das notas em relação a todas as outras brocas (chatas e helicoidais) utilizadas nos testes.

Pelas suas características, o MDF é amplamente utilizado na indústria moveleira em frontais de portas, frentes de gaveta e outras peças mais elaboradas, com usinagens em bordas ou faces, como tampos de mesa, *raks* e estantes. Na construção civil é utilizada como pisos, rodapés, almofadas de portas, batentes, portas usinadas, peças torneadas como balaústres de escadas, pés de mesas e também em embalagens. Amplamente utilizado na indústria moveleira e construção civil, o MDF pode ser facilmente pintado e revestido, torneado, entalhado e perfurado (ABIPA, 2008).

Algumas características favoráveis dos painéis MDF são a homogeneidade, capacidade de receber acabamentos como tintas e vernizes, trabalhabilidade e resistência ao arrancamento de grã (ELEOTÉRIO, 2000).

5.5 Teste de furação para cavilha e dobradiça em madeira de Pinus (testemunha)

Na Tabela 5 foram inseridos os resultados avaliados e encontrados para o teste de furação para cada corpo de prova de madeira de Pinus (testemunha), analisando as ocorrências de: grã felpuda, levantamento de grã e marcas de cavaco.

Tabela 5. Resultados dos Testes de Furação e avaliação dos corpos-de-prova da madeira de Pinus:

Material	Testes de Furação																		
	CP	1" Chata				5/8 Chata				9/16 Chata				10mm Helic.		5/16 Helic.		6mm Helic.	
		passante		ñ passante		passante		ñ passante		passante		ñ passante		Nota	Tipo Def.	Nota	Tipo Def.	Nota	Tipo Def.
	Nota	Tipo Def.	Nota	Tipo Def.	Nota	Tipo Def.	Nota	Tipo Def.	Nota	Tipo Def.	Nota	Tipo Def.	Nota	Tipo Def.	Nota	Tipo Def.	Nota	Tipo Def.	
Testemunha (Pinus)	31	4	grã levantada e marcas de cavaco	4	grã arrancada, felpuda, levantada e marcas de cavaco	2	grã levantada	2	grã levantada e felpuda	2	grã levantada	4	grã arrancada, felpuda e levantada	3	grã levantada e marcas de cavaco	2	grã levantada	2	grã levantada
	32	2	grã levantada	4	grã arrancada, felpuda, levantada e marcas de cavaco	2	grã levantada e marcas de cavaco	3	grã arrancada, felpuda e levantada	2	grã levantada e marcas de cavaco	3	grã arrancada, felpuda e levantada	2	grã levantada	2	grã levantada	2	grã levantada
	33	4	grã levantada e marcas de cavaco	4	grã arrancada, felpuda e levantada	3	grã levantada	4	grã arrancada, felpuda e levantada	2	grã levantada	2	grã arrancada, felpuda e levantada	3	grã levantada	2	grã levantada	2	grã levantada
	34	3	grã levantada	3	grã arrancada, felpuda e levantada	2	grã levantada	3	grã arrancada, felpuda e levantada	2	grã levantada	3	grã arrancada, felpuda e levantada	4	grã levantada	2	grã levantada	2	grã levantada
	35	4	grã levantada e marcas de cavaco	3	grã arrancada, felpuda e levantada	2	grã levantada	2	grã arrancada, felpuda e levantada	2	grã levantada	3	grã arrancada, felpuda e levantada	3	grã levantada e marcas de cavaco	2	grã levantada e marcas de cavaco	2	grã levantada
	36	3	grã levantada e marcas de cavaco	3	grã arrancada, felpuda e levantada	2	grã levantada	3	grã arrancada, felpuda e levantada	2	grã levantada	2	grã arrancada, felpuda e levantada	2	grã levantada e marcas de cavaco	2	grã levantada	2	grã levantada
	37	2	grã levantada e marcas de cavaco	3	grã arrancada, felpuda e levantada	2	grã levantada	2	grã arrancada, felpuda e levantada	2	grã levantada	3	grã arrancada, felpuda e levantada	2	grã levantada e marcas de cavaco	4	grã levantada e marcas de cavaco	2	grã levantada
	38	4	grã levantada e marcas de cavaco	4	grã arrancada, felpuda, levantada e marcas de cavaco	3	grã levantada	3	grã arrancada, felpuda e levantada	2	grã levantada e marcas de cavaco	3	grã felpuda e arrancada	2	grã levantada e marcas de cavaco	2	grã levantada	2	grã levantada
	39	4	grã levantada e marcas de cavaco	4	grã arrancada, felpuda e levantada	3	grã levantada e marcas de cavaco	3	grã arrancada, felpuda, levantada e marcas de cavaco	4	grã levantada e marcas de cavaco	4	grã felpuda e arrancada	4	grã levantada e marcas de cavaco	2	grã levantada	2	grã levantada
	40	3	grã levantada e marcas de cavaco	4	grã arrancada, felpuda e levantada	2	grã levantada	3	grã arrancada, felpuda e levantada	2	grã levantada	3	grã arrancada, felpuda e levantada	3	grã levantada e marcas de cavaco	2	grã levantada	3	grã levantada
	Média	3,3		3,6		2,3		2,8		2,2		3,0		2,8		2,2		2,1	

A madeira de Pinus (testemunha) respondeu bem nas furações helicoidais em boa parte das chapas, nos testes com brocas chatas a madeira apresentou muita grã arrancada em boa parte do fundo nos furos não passantes.

As médias das notas dos ensaios para furação de cavilha e dobradiça em amostras de Pinus foram as melhores dentre os painéis estudados, a usinagem foi boa em praticamente todos os furos, apenas a confecção feita nos furos passantes e não passantes utilizados com broca chata de 1 polegada que responderam mal ao teste.

Foram também observadas marcas de cavaco nos furos feitos com brocas chatas de 1 polegada (passante e não passante), causando maior desestabilidade da peça ao tratamento.

Na Figura 6 foram inseridos detalhes dos testes de furação nos corpos-de-prova em madeira de Pinus (testemunha).



Figura 6. Detalhes dos testes de furação em madeira de Pinus (testemunha).

Observou-se na avaliação a ocorrência, com maior incidência, de defeitos como levantamento e arrancamento de grã. Esses defeitos foram mais evidentes nos furos não passantes.

Não foram observadas presenças de queima da madeira e de esmagamento de grã em nenhuma das amostras confeccionadas.

Nos testes com brocas helicoidais de 10 mm foram notificadas o aparecimento de marcas de cavaco e levantamento de grã mais significativos, podendo assim, recomendar um provável aumento na rotação do aparelho.

Devido à presença de nós em alguns corpos de prova, foi possível verificar que os furos confeccionados nesses locais, responderam pior ao ensaio, em decorrer da presença de resinas predominante nas madeiras de Pinus, causando usinabilidade ruim ao ensaio e impregnação dessas resinas nas brocas utilizadas.

Del Menezzi (1999) relatou que autores como Steele e Wade apontam a tendência de aumento do rendimento em madeira serrada em função do aumento do diâmetro, uma vez que em toras de maior diâmetro o volume de madeira perdida como costaneira e no canteamento é percentualmente menor em relação ao volume da tora.

5.5.1 Comparação dos resultados dos painéis nos testes de furação para cavilha e dobradiça

Os corpos-de-prova de madeira de Pinus (testemunha) obtiveram melhores respostas ao ensaio, comprovado através do aparecimento de levantamento de grã e a ocorrência de grã felpuda com menores incidências.

As amostras de OSB responderam melhor a usinagem obtendo notas melhores e mais significativas, em relação aos outros painéis testados e a testemunha, demonstrando boa aceitação aos ensaios com utilização de brocas.

As avaliações comprovaram nos testes de furação pra cavilha e dobradiça em corpos de prova de compensados e MDF, que possivelmente esses materiais necessitam ser testados com uma rotação maior do aparelho, podendo assim minimizar os defeitos que surgiram nas peças.

5.6 Teste de rasgo

Na Tabela 6 foram inseridos os resultados encontrados para o teste de rasgo para cada corpo-de-prova dos três diferentes tipos de painéis à base de madeira, mais a testemunha, analisando as ocorrências de: levantamento de fibras e marcas de cavaco.

Tabela 6. Resultados dos Testes de Rasgo e avaliação dos corpos-de-prova dos painéis e da testemunha:

Material	CP	Teste de Rasgo	
		Broca de 6mm	
		Nota	Tipo Def.
Compensado	1	2	levantamento de fibras
	2	3	levantamento de fibras e marcas de cavaco
	3	3	levantamento de fibras e marcas de cavaco
	4	4	levantamento de fibras e marcas de cavaco
	5	5	levantamento de fibras e marcas de cavaco
	6	4	levantamento de fibras
	7	5	levantamento de fibras e marcas de cavaco
	8	4	levantamento de fibras
	9	2	levantamento de fibras e marcas de cavaco
	10	3	levantamento de fibras e marcas de cavaco
	Média	3,5	
OSB	11	5	levantamento de fibras e marcas de cavaco
	12	2	levantamento de fibras e marcas de cavaco
	13	3	levantamento de fibras e marcas de cavaco
	14	5	levantamento de fibras e marcas de cavaco
	15	3	levantamento de fibras e marcas de cavaco
	16	5	levantamento de fibras e marcas de cavaco
	17	3	levantamento de fibras e marcas de cavaco
	18	4	levantamento de fibras e marcas de cavaco
	19	3	levantamento de fibras e marcas de cavaco
	20	3	levantamento de fibras e marcas de cavaco
	Média	3,0	
MDF	21	2	levantamento de fibras
	22	3	levantamento de fibras
	23	4	levantamento de fibras
	24	2	levantamento de fibras
	25	2	levantamento de fibras
	26	1	levantamento de fibras
	27	3	levantamento de fibras
	28	2	levantamento de fibras
	29	3	levantamento de fibras
	30	2	levantamento de fibras
	Média	2,4	
Testemunha (Pinus)	31	5	levantamento de fibras e marcas de cavaco
	32	3	levantamento de fibras
	33	4	levantamento de fibras
	34	5	levantamento de fibras e marcas de cavaco
	35	4	levantamento de fibras e marcas de cavaco
	36	4	levantamento de fibras
	37	5	levantamento de fibras e marcas de cavaco
	38	3	levantamento de fibras
	39	5	levantamento de fibras e marcas de cavaco
	40	3	levantamento de fibras
	Média	4,1	

Nos testes de rasgo, as amostras apresentaram diferenças no comportamento e nas análises, após os procedimentos do ensaio.

As médias das notas dos materiais foram distintas, comprovando divergência à aceitação das peças aos ensaios de rasgo.

As amostras de MDF responderam melhor a usinagem, em comparação aos testes feitos nos outros painéis, demonstrando levantamento de fibras com pouca intensidade, qualificando o material à este tipo de ensaio. Foi possível observar nos corpos-de-prova de compensado e OSB que esses materiais tiveram comportamento mediano ao teste, provavelmente, esses defeitos puderam ser mais expressivos devido à conformação das características físicas desses materiais, causando desarranjo nos furos confeccionados nas peças.

A madeira de Pinus (testemunha), apresentou pior usinagem ao ensaio, promovendo alta incidência dos defeitos e menor aceitação ao equipamento.

Na Figura 7 foram inseridos detalhes dos testes de rasgo.

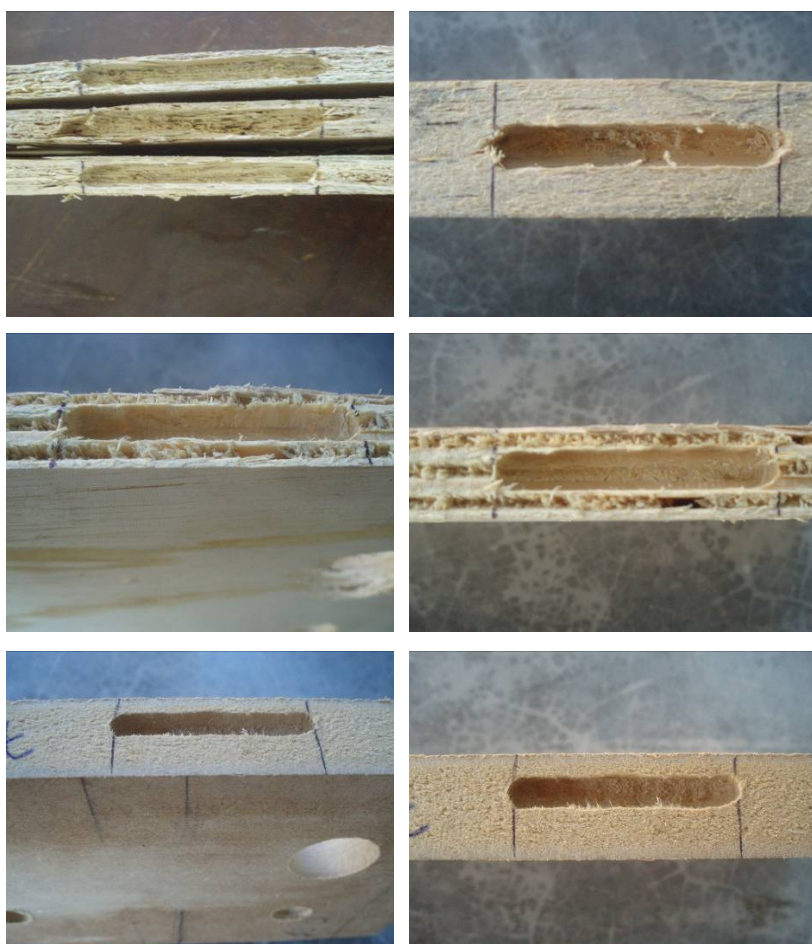


Figura 7. Detalhes dos testes de rasgo.

Nos corpos-de-prova de compensado foram observados alto levantamento das fibras e marcas de cavaco em função das lâminas que compõem o painel, interferindo na usinabilidade do material.

Nas amostras de OSB os resultados demonstraram que as chapas responderam mal ao ensaio de rasgo devido a orientação das partículas deste material quando fabricado, ocorrendo intensidade forte no levantamento de fibras e marcas de cavaco.

5.7 Teste de fendilhamento por pregos

Na Tabela 7 foram inseridos os resultados avaliados e encontrados para o teste de fendilhamento por pregos para cada corpo de prova dos três diferentes tipos de painéis à base de madeira, mais a testemunha, analisando as ocorrências de: trincas ou rachas, firmeza dos pregos e estabilidade nas espessuras das amostras.

Tabela 7. Resultados dos Testes de Fendilhamento por pregos e avaliação dos corpos-de-prova dos painéis e da testemunha:

Material	CP	Fendilhamento de Pregos	
		Trincas	
		Sim / Não	Defeitos
Compensado	1	Não	Nenhum
	2	Não	Nenhum
	3	Não	Nenhum
	4	Não	Nenhum
	5	Não	Nenhum
	6	Não	Nenhum
	7	Não	Nenhum
	8	Não	Nenhum
	9	Não	Nenhum
	10	Não	Apresentou dilatação entre as lâminas.
OSB	11	Sim	Trincas em mais de uma borda, dois pregos sem firmeza.
	12	Sim	Trincas em mais de uma borda.
	13	Não	Um prego sem firmeza.
	14	Não	Nenhum
	15	Não	Dois pregos sem firmeza.
	16	Não	Nenhum
	17	Sim	Dois pregos sem firmeza.
	18	Não	Mais de três pregos sem firmeza.
	19	Sim	Trincas em mais de uma borda.
	20	Não	Nenhum
MDF	21	Não	Dilatação das fibras que compõem o painel, pregos não tão firmes.
	22	Não	Dilatação das fibras que compõem o painel.
	23	Não	Dilatação das fibras que compõem o painel.
	24	Não	Dilatação forte das fibras que compõem o painel.
	25	Não	Dilatação das fibras que compõem o painel.
	26	Não	Dilatação das fibras que compõem o painel.
	27	Não	Dilatação forte das fibras que compõem o painel.
	28	Não	Nenhum
	29	Não	Nenhum
	30	Não	Dilatação das fibras que compõem o painel.
Testemunha (<i>Pinus</i>)	31	Não	Nenhum
	32	Não	Nenhum
	33	Sim	Trinca leve em uma borda.
	34	Sim	Trinca leve em uma borda.
	35	Sim	Trinca forte em uma borda.
	36	Não	Nenhum
	37	Não	Nenhum
	38	Sim	Trinca leve em uma borda.
	39	Não	Nenhum
	40	Sim	Trincas em dois pregos.

Na Figura 8 foram inseridos detalhes dos testes de fendilhamento por prego.

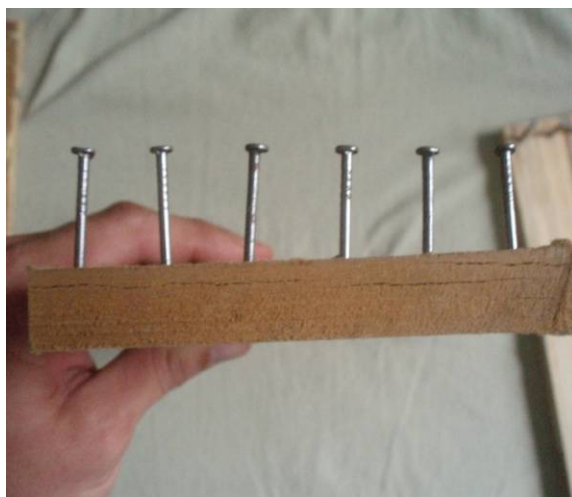
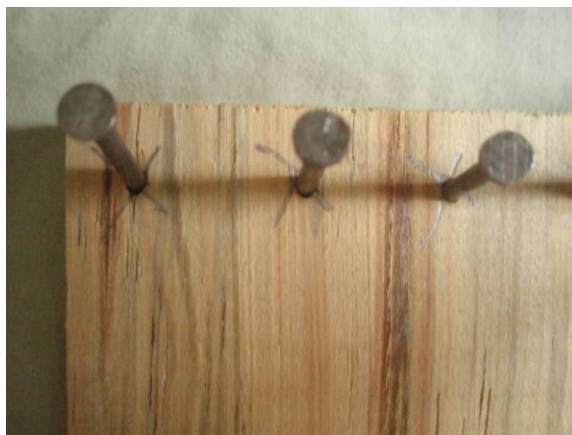


Figura 8. Detalhes dos testes de fendilhamento por prego.

Para os testes de fendilhamento por pregos, os painéis à base de madeira, obtiveram boa usinagem ao ensaio. Apresentando inclusive resultados satisfatórios ao surgimento de trincas ou rachas nas amostras de compensados e MDF.

As amostras de compensado se comportaram perfeitamente aos testes, apresentando excelente aceitação de pregos à superfície do material.

Os painéis de MDF apresentaram dilatação das fibras, até certo ponto forte, podendo ser notado deslocamento nas suas espessuras, esse defeito pode ser relevante, causando problemas significativos na utilização de pregos nessas chapas.

Nas chapas de OSB, foi possível avaliar maior incidência de trincas ou rachas, no processo de usinagem de fendilhamento por pregos, tendo sido possível observar que em vários corpos-de-prova alguns pregos apresentaram fraca fixação ao material.

Nos ensaios realizados na testemunha (Pinus), o aparecimento de trincas foi o mais significativo dentre todas as amostras, conferindo a ocorrência do defeito em metade das chapas.

6. CONCLUSÕES

- As amostras de compensado obtiveram melhor usinagem ao lixamento com relação aos painéis OSB e MDF e mesmo em relação a testemunha (Pinus);
- Os corpos-de-prova de compensado comprovaram melhor aceitação ao ensaio de fendilhamento por pregos - usinagem perfeita do painel ao teste realizado;
- Nos testes de furação para cavilha e dobradiça, os corpos-de-prova de OSB responderam melhor a rotação do equipamento, o que pôde ser verificado pela intensidade dos defeitos ocorridos nos outros painéis;
- Os defeitos encontrados nos corpos de prova de MDF foram os menos expressivos dentre as amostras ensaiadas no teste de rasgo, o que foi avaliado como boa usinagem desse material à esse procedimento mecânico;
- O ensaio de furação para cavilha e dobradiça em chapas de MDF demonstrou maior incidência de defeitos, obtendo médias significativas nos testes;
- O teste de fendilhamento por pregos foi o ensaio que causou menor ocorrência de imperfeições nas amostras;
- Os equipamentos do Laboratório de Processamento da Madeira utilizados neste trabalho, apesar de possibilitar a realização dos ensaios, ainda necessitam de melhorias para

aprimoramento e confiabilidade de alguns dos procedimentos sugeridos pelas normas utilizadas.

7. RECOMENDAÇÕES

- Sugere-se a continuidade de estudos de usinagem em painéis à base de madeira, visto que, os painéis vem conquistando mais espaço no setor florestal, sendo cada vez mais importante conhecer seus atributos em processos de usinagem;

- Recomenda-se avaliação mais detalhada em outros ensaios de usinagem nas amostras de MDF, que apresentaram alta incidência de imperfeições nos testes de furação, sendo recomendado uma adequação na velocidade de rotação dos equipamentos.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIPA. **Nossas unidades industriais.** Disponível em: <<http://www.abipa.org.br/industrias.php>>. Acesso em: 17 de julho de 2004.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15316-1:** Chapas de fibras de média densidade. Parte 1: Terminologia. Rio de Janeiro, 2006.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D 1666-87: **Standard method for conducting machining tests of wood and wood base materials** (reapproved 1994). Philadelphia, 1995. p. 226 - 245.

ALBUQUERQUE, C.E.C.de. OSB alternativa para uso estrutural. **Revista da madeira.** Ano 9, Nº 50. p. 60 - 66. 2000.

ALBUQUERQUE, C. E. C.; FERREIRA, R. O.; MARTINS, B. C.; FONSECA, C. C.; GRIPP, D. O. **Painéis OSB e cimento-madeira para construção civil.** UFRRJ, 2003. Disponível em: <http://www.remade.com.br>. Acesso em 18 de maio de 2007.

BODIG, J.; JAYNE, B.A. **Mechanics of wood and wood composites.** New York: Van Nostrand Reinhold, 1982. 711p.

BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da Madeira.** São Paulo: Nobel, 1991. 180p.

CARNOS, B. **Madeira Aglomerada: conceito e utilização.** 1ed. Porto Alegre, Sagra, 1988.

CLOUTIER, A. **Oriented strandboard (OSB): raw material, manufacturing process, properties of wood-base fiber and particle materials.** In: 1st International Seminar on Solid Wood Products of High Technology. Belo Horizonte-MG, p.173-185, 1998.

EINSFELD, R. A., *et al.*; Manufatura e características das chapas OSB (oriented strand board).In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 6, 22 a 24 julho de 1998. Florianópolis: **Anais**. Florianópolis: IBRAMEM.

ELEOTÉRIO JR., J. R. **Propriedades físicas de painéis MDF de diferentes densidades e teores de resina.** 121 p. Dissertação de mestrado. Escola Superior de Agricultura “Luís de Queiroz”. Universidade de São Paulo. Piracicaba; São Paulo, 2000.

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - **Madeiras da Amazônia: características e utilização - Amazônia Oriental.** Brasília, vol. 3. 141p, 1997.

ISKRA, P.; TANAKA, C. The influence of wood fiber direction, feed rate, and cutting width on sound intensity during routing. **Holz als Roh-und Werkstoff**, v.63, n.3, p.167-172, 2005.

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

LUCAS FILHO, F.C. **Análise da usinagem da madeira visando a melhoria de processos em indústrias de móveis.** 2004. 176f. Tese (Doutorado em Gestão do *Design* e do Produto) - Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

NUTSCH,W. **Tecnologia de la madera y Del muble.** Barcelona: Ed. Editorial Reverté, S.A., 1992. 509p.

PALERMO, G. P. M. **Propriedades e Comportamento Tecnológico da Madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill Ex-Maiden Visando a sua Utilização em Produtos de Maior Valor Agregado.** 2010. ___f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais e Florestais), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica - R.J.

SILVA, J. R. M. **Relações da usinabilidade e aderência do verniz com as propriedades fundamentais do *Eucalyptus grandis* hill ex. Maiden.** 2002. 179f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais), Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, Curitiba - PR.

SIVA, J. R. M.; MUÑIZ, G. I. B; LIMA, J. T; BONDUELLE, A. F. Influência da morfologia das fibras na usinabilidade da 49 madeira de *Eucalyptus urophylla* Hill ex. Maiden. **Revista Árvore**, Viçosa, v.29, n.3, p.479-487, 2005.

STAMATO, G. C. **Ligações em estruturas de madeiras compostas por chapas de madeira compensada**. 2002. 159f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas), Escola de Engenharia de São Carlos - SP.

TAYLOR, J. B.; CARRANO, A. L.; LEMASTER, R. L. Quantification of process parameters in wood sanding operation. **Forest Products Journal**, v. 49, n. 5, p. 41-46, 1999.

TIBURCIO, U.F.deO. & GONÇALVES, M.T.T.; Descrição dos processos Produtivos de chapas de madeira compota e suas tendências tecnológicas. In: VI ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, **Anais.**, Florianópolis, 22 a 24 julho de 1998.

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.

* * *