

PAINÉIS COMPENSADOS PRODUZIDOS A PARTIR DA RECICLAGEM RESÍDUOS DA INDÚSTRIA MADEIREIRA

PLYWOOD MADE BY WOOD INDUSTRIAL WASTE RECYCLING

Gabriel P. Oliveira ⁽¹⁾, **Jhonattan R. Santos** ⁽¹⁾, **Pablo H. G. Araujo** ⁽¹⁾, **Maristela Gava** ⁽²⁾,
Cristiane I. Campos ⁽²⁾

(1) Graduando, Universidade Estadual Paulista, Itapeva-SP, Brasil.

(2) Prof. Dr., Universidade Estadual Paulista, Itapeva- SP, Brasil

Endereço de contato: mgava@itapeva.unesp.br

Código de identificação: T4-20

Resumo

Este trabalho teve como objetivo estudar a viabilidade da produção de painéis compensados a partir da reciclagem de lâminas e de adesivo à base de ureia-formaldeído. Foram produzidas chapas com 5 camadas de lâminas de *Pinus* provenientes de refugo industrial e encoladas com adesivo à base de ureia-formaldeído que estava destinado ao descarte. Foi realizada uma caracterização físico-mecânica através dos ensaios de massa específica aparente, teor de umidade, flexão estática e cisalhamento, seguindo as recomendações das normas brasileiras para compensado. Os resultados obtidos foram comparados com o catálogo técnico de compensado de *Pinus* fornecido pela Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente - ABIMCI, obtendo-se dois resultados dentro dos padrões comerciais e os outros abaixo do esperado.

Palavras chave: lâminas de pinus; adesivo; aproveitamento de resíduos

Abstract

The objective this work was to study the feasibility of the production of compensated panels from the recycling of blade and urea-formaldehyde based adhesive. Plates were produced with 5 layers of Pinus sp blade from industrial refuse and glued with urea-formaldehyde based adhesive that was destined for waste. A physical-mechanical characterization was performed through the tests of apparent specific mass, moisture content, static bending and shear, following the recommendations of the Brazilian standards for compensated. The results obtained were compared with the technical catalog of Pinus plywood supplied by the Brazilian Association of the Mechanically Processed Wood Industry - ABIMCI, obtaining two results within commercial standards and the others below expectations.

Keywords: pinus blades; adhesive; refuse management

1. INTRODUÇÃO

Os painéis derivados de madeira foram desenvolvidos a partir da necessidade de maior aproveitamento da madeira e melhoria de suas propriedades físico-mecânicas, reduzindo a influência dos defeitos comumente encontrados nas peças de madeira serrada, tais como, nós, grã reversa, dentre outros. Esse tipo de produto visa suprir a procura constante de madeira serrada, possuindo vantagens desde o aproveitamento máximo da tora, obtendo altos índices de rendimento, bem como, o seu dimensionamento, uma vez que ele não se limita a largura da árvore. Outras características favoráveis aos painéis são suas estruturas homogêneas e a sua alta versatilidade.

Existem diferentes tipos de painéis derivados de madeira, para os mais variados usos. O que os diferencia é, principalmente, a forma como a madeira é empregada em sua composição, podendo ser em partículas, fibras, lascas ou lâminas. Também a forma como as partículas são aglutinadas, confere diferentes características aos painéis à base de madeira. Dessa forma, tem-se:

1.1 Chapas de fibras de média densidade (MDF)

Na produção desse tipo de painel, são utilizadas fibras de madeira que são misturadas com adesivo e prensadas a altas temperaturas e pressão. Segundo Ferreira (2003) [1], essas chapas apresentam superfície plana e lisa, adequada a diferentes acabamentos. Esse tipo de painel permite ser usinado, serrado, torneado, lixado, furado, recebendo bem pregos e parafusos, possuindo também uma boa aderência a cola. Essas características atribuíram a ele condições diferenciadas dos demais painéis, proporcionando assim um destaque para sua aplicação, especialmente no setor moveleiro.

1.2 Chapa dura (HDF)

Esse tipo de painel é caracterizado por possuir uma alta densidade, segundo Ferreira (2003) [1] seu processo de síntese parte do aglutinamento das fibras, originárias dos cavacos. A diferença dessa fabricação está no não recebimento de resina sintética, uma vez que ela usufrui da lignina como aglutinante, através do processo úmido de prensagem a quente que reativa o aglutinante natural da madeira.

1.3 Chapa de partículas de média densidade (MDP)

Conforme Lahr e Christoforo (2013) [2], na produção desse tipo de painel, a madeira é transformada em partículas que são classificadas e secas, para posteriormente serem misturadas com resina. As partículas encoladas são prensadas a determinadas temperatura e pressão, produzindo o painel, que é popularmente conhecido como “aglomerado”, sendo também bastante utilizado pela indústria moveleira.

1.4 Painéis de partículas orientadas (OSB)

Os painéis de partículas orientadas (OSB) possuem elevada resistência mecânica a qual é exigida para fins estruturais. Pode ser formado por camadas de partículas ou feixe de fibras, que são orientados em uma mesma direção na camada, porém entre as camadas são orientados perpendicularmente. Essas tiras são unidas com resinas aplicadas sob alta temperatura e pressão.

1.5 Painel compensado

Segundo Iwakiri (2005) [3], a origem da utilização da lâmina de madeira data-se de 3.000 a.C., com os artesãos egípcios que utilizavam este material na manufatura de móveis clássicos e artesanais. As lâminas eram obtidas através de serras manuais, cujo processo, apresenta algumas vantagens como a desnecessidade de aquecimento da madeira, lâminas de mesma qualidade nas

duas faces e condições mais favoráveis para obtenção de lâminas espessas. No entanto, comparada aos processos atuais de laminação, a produção era bem menor, com maior geração de resíduos na forma de serragem.

Segundo Iwakiri (2005) [3], o processo de obtenção do compensado começa na floresta com a classificação da madeira em seguida passa por um sistema de produção de lâminas, de acordo com as seguintes etapas:

- Recebimento e armazenagem de toras;
- Descascamento das toras;
- Seccionamento e desdobro das toras;
- Aquecimento das toras;
- Laminação – desenrolamento ou faqueamento;
- Transporte de lâminas e guilhotinagem;
- Secagem de lâminas;
- Classificação das lâminas;
- Armazenamento de lâminas secas.
- Junção das lâminas e colagem das bordas;
- Aplicação do adesivo;
- Prensagem do compensado.

Observa-se nesse processo de fabricação as posições das laminas, sempre em número ímpar, as quais devem estar dispostas perpendicularmente entre si, conforme esquema da Figura 1.

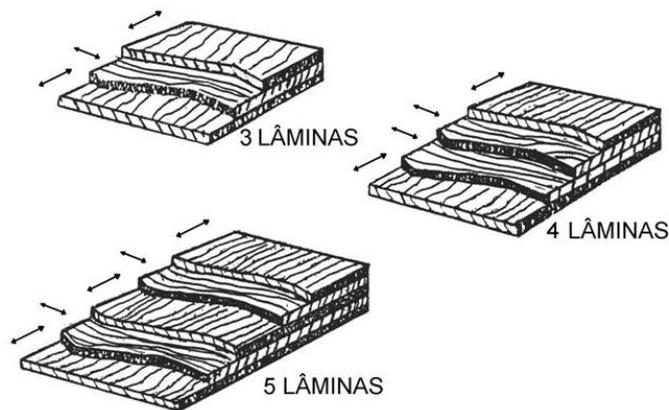


Figura 1: Posição das laminas no painel de compensado

O compensado é produzido sob duas principais especificações: a) para uso interno com colagem à base de resina ureia-formaldeído, sendo empregado basicamente na indústria moveleira; b) para uso externo com colagem à base de resina fenol-formaldeído, sendo normalmente utilizado na construção civil (LAHR; CHRISTOFORO, 2013) [2].

O adesivo à base de ureia-formaldeído é um adesivo sintético pertence à classe dos termoendurecedores, os quais sob aquecimento se tornam rígidos e insolúveis. Conforme IWAKIRI (2005) [3], essa resina é utilizada em mais de 90% de painéis de madeira, tendo em vista o seu baixo custo em relação as demais. Algumas de suas características são a sua coloração branca leitosa, o pH na faixa de 7,4 a 7,8, viscosidade elevada de 400 a 1000cp (25°C), menor resistência a água (durabilidade), menor resistência mecânica e rigidez e um ritmo de cura mais lento.

Durante o processo de produção de compensados, algumas lâminas podem ser descartadas por não atenderem aos padrões de qualidade ou por terem sido contaminadas com fungos ou outros

agentes biológicos. No caso da produção em laboratório, cujo volume de chapas produzidas é sempre pequeno se comparado com a indústria, verificam-se também, freqüentes sobras de adesivo devido à expiração do prazo de validade, mas que, muitas vezes ainda é possível sua utilização para fins menos nobres.

2. OBJETIVOS

O objetivo desse trabalho foi estudar a viabilidade técnica da utilização de materiais de descarte (lâminas e adesivo) para a produção de painéis compensados.

3. MATERIAIS E MÉTODO

3.1 Produção dos painéis

Foram produzidas cinco painéis de compensado, utilizando material (lâminas e adesivo) que estavam destinados ao descarte pelo laboratório. Para a produção dos painéis e realização dos ensaios, foram utilizados os seguintes materiais e equipamentos:

- Lâmina de *Pinus*sp doadas por uma empresa parceira;
- Adesivo à base de ureia-formaldeído;
- Água deionizada;
- Pré-prensa com capacidade de 15 toneladas;
- Prensa hidráulica termo-aquecida com capacidade de 80 toneladas;
- Balança semi-analítica;
- Serra de bancada
- Espátula
- Béquer de 1 Litro
- Paquímetro
- Estufa para secagem e esterilização
- Máquina universal de ensaios com capacidade de 300KN

Para a montagem do painel, as lâminas foram, inicialmente, marcadas e esquadrejadas, nas dimensões de 50 x 50 cm, sendo alternadas e classificadas segundo as normas NBR ISO 1096 e ASTM D 1037 [5].

Após o processo de classificação visual foram realizadas as medições de espessuras, com a ajuda de um paquímetro obtendo a espessura de 2,32 mm e levadas à estufa durante um período de 24 horas.

Foi aplicado 0,045Kg de adesivo em cada face, seguindo a gramatura de 0,360 Kg/m² (linha dupla), conforme recomendado por Iwakiri (2005) [3], para lâminas com espessura de 2 mm. O adesivo foi preparado conforme recomendações do fabricante e aplicadas com uma espátula conforme mostrados na Figura 2.

A montagem do painel foi feita com cinco lâminas dispostas de forma perpendicular em relação à direção das fibras entre camadas adjacentes. Em seguida, o painel foi submetido a uma pré-prensagem, realizada manualmente, por 10 minutos e depois transportado para a prensa hidráulica termoaquecida. Para a prensagem final foi utilizada uma pressão de 10Kg/cm² e uma temperatura de 150°C durante 180 segundos, com intervalo de degasagem de 30 segundos.



Figura 2: Aplicação do adesivo

Após prensagem e climatização, realizou-se o esquadrejamento do painel (Figura 3) e obtenção dos corpos de prova para caracterização físico-mecânica através dos ensaios para determinação da massa específica aparente, teor de umidade, resistência à flexão estática e cisalhamento. Nesse momento já foi possível observar algumas imperfeições que ocorreram na colagem das lâminas.



Figura 3: Esquadrejamento do painel

3.2 Determinação da massa específica aparente

A determinação da massa específica aparente foi realizada segundo as recomendações da NBR 9485 [6] a qual especifica que o corpo de prova apresente uma forma retangular com 100 mm por 50 mm nominais e sejam amostrados no mínimo 5 corpos de prova. Com o auxílio de um paquímetro aferiu-se o comprimento, a largura, a espessura, calculando-se uma média dessas dimensões. A pesagem foi realizada através de uma balança semi-analítica. A massa específica aparente foi calculada de acordo com a Equação (1).

$$\rho = \frac{m}{(c \times l \times e)} \quad (1)$$

ρ = massa específica aparente (g/mm^3)
 m = massa do corpo de prova (g)
 c = comprimento do corpo de prova (mm)
 l = largura do corpo de prova (mm)
 e = espessura do corpo de prova (mm)

3.3 Determinação do teor de umidade

A determinação do teor de umidade foi realizada segundo as recomendações das normas NBR 9484 [7] e ASTM1037-37 [5]. Ambas especificam que seja utilizada uma estufa dotada de termostato para garantir uma temperatura de $103^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$, dessecador e que a massa do corpo de prova apresente no mínimo 10 gramas. Com o auxílio uma balança semi-analítica, pesaram-se os corpos de prova que, na sequência foram levados à estufa até a estabilização de suas massas. Com esses dados foi possível calcular o teor de umidade a segundo a Equação (2).

$$TU = \frac{(m_i - m_f)}{m_f} \times 100 \quad (2)$$

TU = Teor de umidade do corpo de prova (%);
 M_i = massa inicial do corpo de prova (g);
 M_f = massa do corpo de prova após a secagem (g).

3.4 Determinação da resistência à flexão estática

A determinação da resistência à flexão estática foi realizada segundo especificações das normas ABNT NBR9533 [8] e ASTM D 1037-9 [5] que recomendam que sejam retirados no mínimo 5 corpos de prova em cada direção (paralela e perpendicular às fibras), a uma distância mínima de 50mm das bordas do painel, possuir uma largura de 75 mm e comprimento segundo a Equação (3).

$$C = 25 X e + 50 \text{ mm} \geq 150 \text{ mm} \quad (3)$$

C = Comprimento (mm);
 e = espessura (mm).

O módulo de elasticidade na flexão foi determinado com base na Equação (4).

$$Eb = \frac{L^3 \times (F_2 - F_1)}{4 \times l \times e^3 (S_2 - S_1)} \quad (4)$$

E_b = módulo de elasticidade (Mpa);
 L = distância entre os centros de apoios (vão) (mm);
 l = largura do corpo de prova (mm);
 e = espessura do corpo de prova (mm);
 $F_2 - F_1$ = incremento de carga no trecho reto da curva carga-deformação (N);
 $S_2 - S_1$ = incremento de deflexão no ponto central do vão, correspondente a $F_2 - F_1$, (mm).

Na determinação da tensão de ruptura à flexão estática dos corpos de prova, utilizou-se a Equação (5).

$$Tr = \frac{3 \times F_{\text{máx}} \times L}{2 \times l \times e^2} \quad (5)$$

T_r = tensão de ruptura à flexão estática (MPa);
 $F_{máx}$ = carga de ruptura (N);
 L = distância entre os centros de apoios (vão) (mm);
 l = largura do corpo de prova (mm);
 e = espessura do corpo de prova (mm).

3.5 Determinação da resistência ao cisalhamento

A determinação da resistência ao cisalhamento foi realizada segundo especificações das normas ABNT NBR12466-1 [9] que recomenda que sejam obtidos no mínimo 5 corpos de prova com geometria e dimensões nela especificadas. Os valores de resistência foram calculados com base na Equação (6).

$$t = \frac{F}{l \times b} \quad (6)$$

t = cisalhamento (MPa);
 F = força no momento da ruptura do corpo de prova (N);
 l = comprimento da área sujeita ao cisalhamento (mm);
 b = largura da área sujeita ao cisalhamento (mm).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Massa específica aparente

Observa-se pelo gráfico da Figura 4, foi obtida uma média de densidade $0,523 \text{ g/cm}^3$, para os painéis produzidos com as lâminas e adesivo que seriam descartados. Essa média foi superior à média da madeira maciça de *Pinus sp* que se encontra entre $0,45$ a $0,47 \text{ g/cm}^3$. Essa variação superior foi atribuída à cola e ao endurecedor, os quais agregam massa e volume ao compensado, gerando assim uma densidade diferente da madeira maciça.

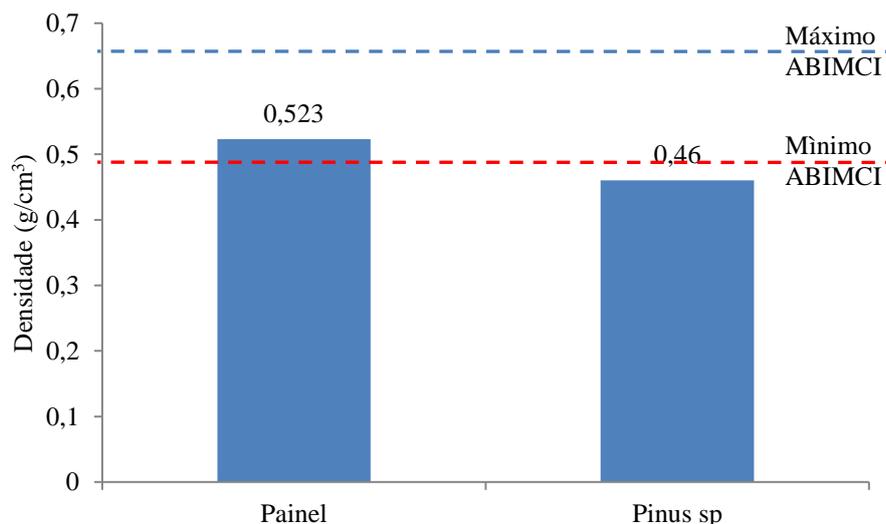


Figura 4: Média da densidade dos painéis compensados produzidos com material de refugo

Analisando o resultado da média da densidade e comparando com o catálogo técnico de compensado de *Pinus* fornecido pela ABIMCI (2016) [10], que apresenta a padronização da densidade de compensado comercial com cinco lâminas e exige um mínimo de $0,476 \text{ g/cm}^3$, média

de $0,552\text{g/cm}^3$ e um máximo de $0,641\text{g/cm}^3$, observou-se que a média obtida está dentro do esperado, sendo compatível com painéis comerciais.

4.2 Teor de umidade

Verifica-se pelo gráfico da Figura 5, que a média do teor de umidade dos painéis produzidos com material de refugo, foi de 7,996 %.

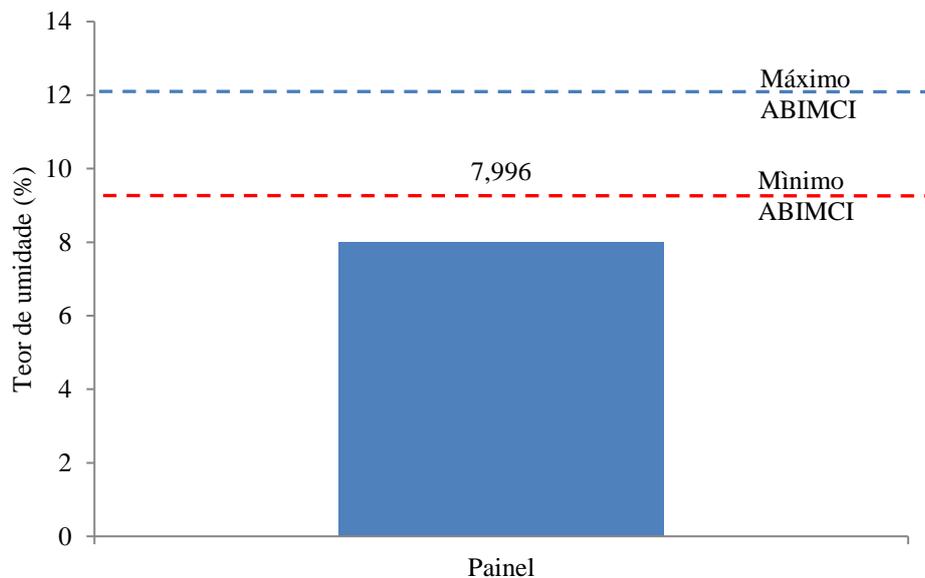


Figura 5: Média do teor de umidade dos painéis compensados produzidos com material de refugo

Comparando o resultado obtido com o catálogo técnico de compensado de *Pinus* fornecido pela ABIMCI (2016) [10], constatou-se que o teor de 7,996% está abaixo do mínimo exigido para um compensado comercial de cinco lâminas. Segundo a ABIMCI (2016) [10] os painéis devem apresentar teor umidade mínimo de 9%, média de 10% e máximo de 12%.

4.3 Resistência à flexão estática

De acordo com os gráficos das Figuras 6 e 7, o valor médio do Módulo de Elasticidade (MOE) e do Módulo de Ruptura (MOR) na flexão estática para os corpos de prova cuja orientação das lâminas externas foram direcionadas de forma paralela à direção das fibras, ficou abaixo do admissível pela ABIMCI (2016) [10] para os padrões comerciais, cujos valores encontram-se entre 3.100,72MPa e 7.063,29MPa para o MOE e 27,38 e 63,59MPa para o MOR.

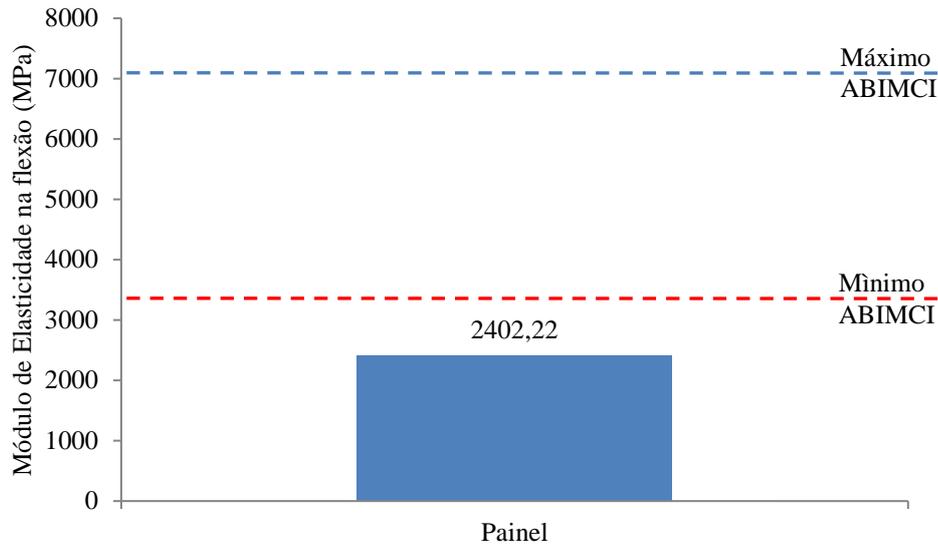


Figura 6: Média do Módulo de Elasticidade (MOE) na flexão estática para corpos de prova na direção paralela às fibras, dos painéis compensados produzidos com material de refugo

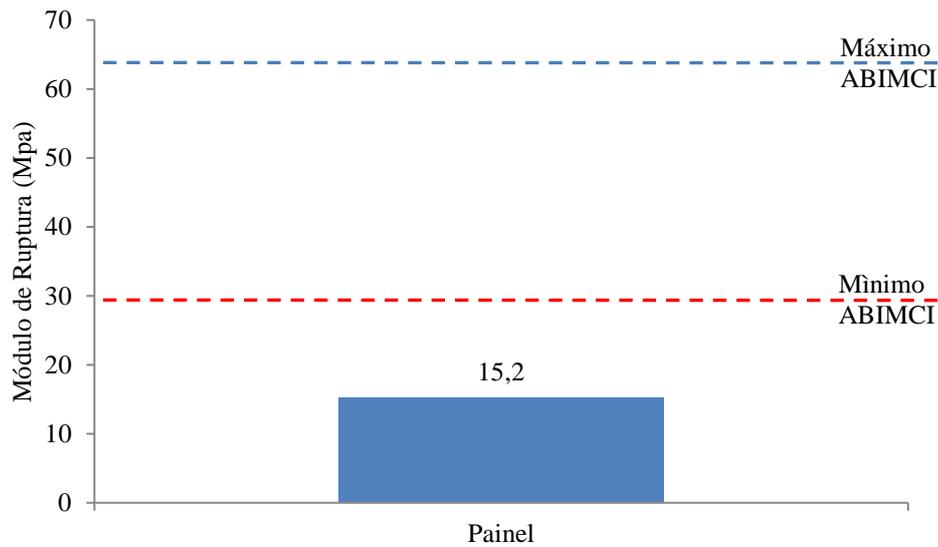


Figura 7: Média do Módulo de Ruptura (MOR) na flexão estática para corpos de prova na direção paralela às fibras, dos painéis compensados produzidos com material de refugo

No que se refere aos corpos de prova na direção perpendicular às fibras das lâminas externas, observa-se pelos gráficos das Figuras 8 e 9, que os valores de MOE e MOR, respectivamente, também ficaram abaixo do aceitável para os painéis comerciais. Segundo a ABIMCI (2016) [10], tais valores devem estar entre 1.762,90 e 4.047,22MPa para o MOE e 20,58 e 45,27 MPa para o MOR.

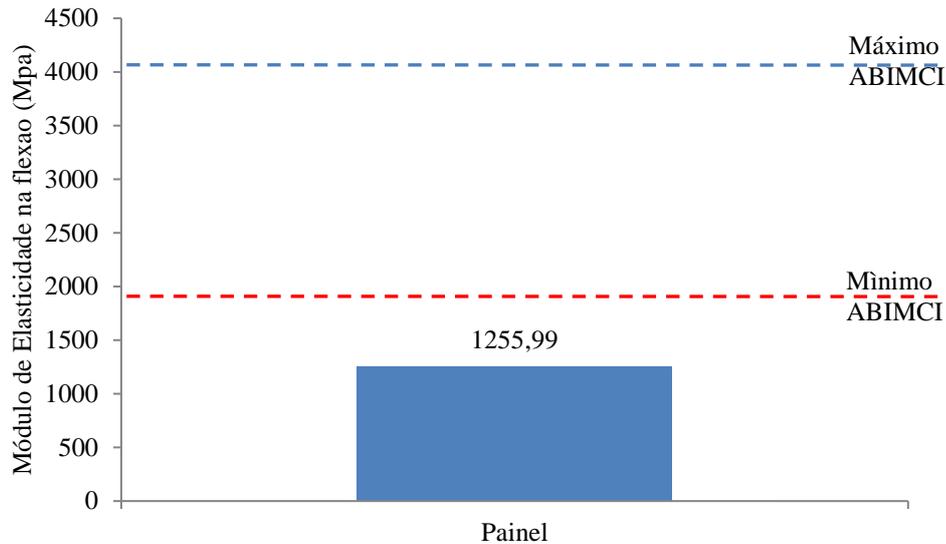


Figura 8: Média do Módulo de Elasticidade (MOE) na flexão estática para corpos de prova na direção perpendicular às fibras, dos painéis compensados produzidos com material de refugo

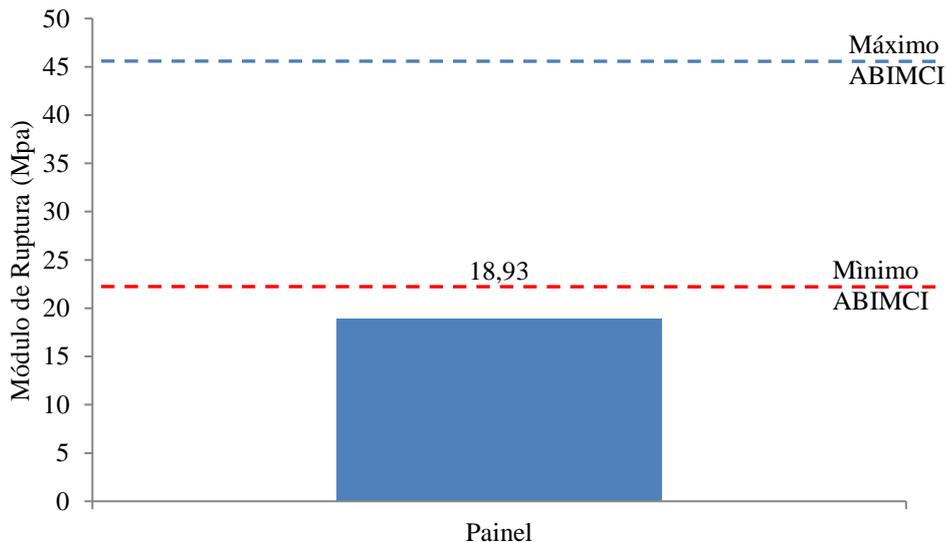


Figura 9: Média do Módulo de Ruptura (MOE) na flexão estática para corpos de prova na direção perpendicular às fibras, dos painéis compensados produzidos com material de refugo

Há que se considerar que, os valores fixados pela ABIMCI (2016) [10] referem-se às chapas produzidas com resina à base de fenol-formaldeído, enquanto que as chapas estudadas foram produzidas com resina à base de uréia-formaldeído, que possui propriedades diferenciadas, não sendo indicada, por exemplo, para fins estruturais.

4.4 Resistência ao cisalhamento

De acordo com o gráfico da Figura 10, o valor médio da resistência ao cisalhamento das chapas produzidas neste estudo, ficou dentro dos limites aceitáveis para as chapas comerciais, situados entre os valores de 1,76 e 3,62MPa, significando que o adesivo utilizado, mesmo estando vencido ainda conserva suas propriedades. Isso indica ainda, a necessidade de novos estudos para verificar o

tempo máximo que este adesivo poderia ser utilizado, após vencer o prazo de validade, sem perder, consideravelmente suas propriedades de adesão.

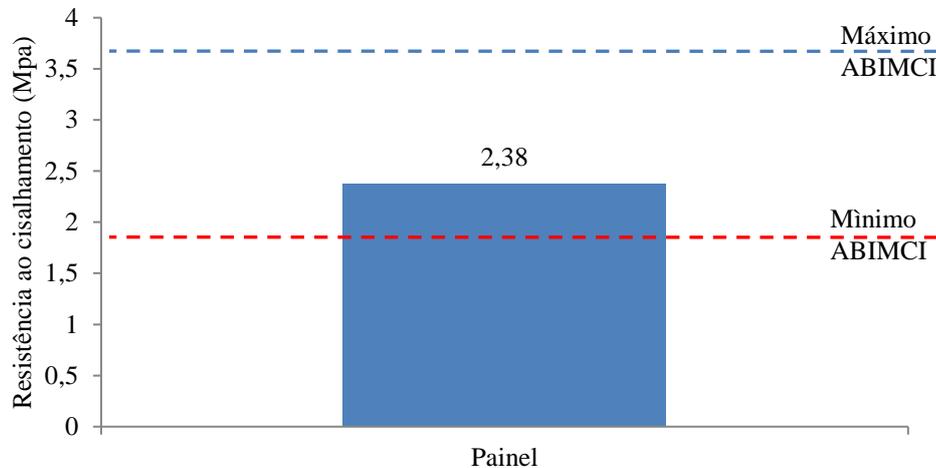


Figura 10: Média da resistência ao cisalhamento dos painéis compensados produzidos com material de refugo

5. CONCLUSÕES

A produção de painéis compensados utilizando lâminas e adesivos inicialmente destinados ao descarte, embora não atenda a todos os requisitos para os painéis comerciais, é tecnicamente viável, visto que o adesivo mantém ainda parte de suas propriedades. Entretanto, recomenda-se que tais painéis sejam destinados a usos menos nobres, pois apresentam baixas resistência estrutural e qualidade estética. Ressalta-se ainda que o presente estudo configura-se como uma exploração inicial e que novos estudos nesse sentido necessitam ser desenvolvidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] FERREIRA, O. P. Madeira: uso sustentável na construção civil. 1 ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, SVMA, SindusCon-SP, 2003. 59 p.
- [2] LAHR, F. A. R.; CHRISTOFORO, A. L. Painéis de partículas. 1 ed. São Carlos: EESC/USP, 2013.
- [3] IWAKIRI, S. Painéis de madeira reconstituída. 1 ed. Curitiba: FUPEF, 2005. 254 p.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 1096:2014. Disponível em: <<http://www.abntcolecao.com.br/normavw.aspx?id=309979>>. Acesso em: 25 mai. 2016.
- [5] ASTM COMPASS. ASTM D 1037. Disponível em: <https://compass-astm.ez87.periodicos.capes.gov.br/edit/html_print_full.cgi?d1037+12#s00317>. Acesso em: 12 dez. 2016.
- [6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9485. Disponível em: <<http://www.abntcolecao.com.br/normavw.aspx?ID=88531>>. Acesso em: 25 mai. 2016.
- [7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9484. Disponível em: <<http://www.abntcolecao.com.br/normavw.aspx?ID=88513>>. Acesso em: 25 mai. 2016.
- [8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9533: Chapas de madeira compensada. Rio de Janeiro, 1986.
- [9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12466 - 1. Disponível em: <<http://www.abntcolecao.com.br/normavw.aspx?ID=90608>>. Acesso em: 25 mai. 2016.
- [10] ABIMCI. Catálogo técnico. Disponível em: <http://www.abimci.com.br/wp-content/uploads/2014/02/catalogo_tecnico_compensado_pinus.pdf>. Acesso em: 25 mai. 2016.