

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-MECÂNICA DE PAINÉIS OSB PRODUZIDOS COM LASCAS DE MADEIRA TRATADAS COM CCA

Maria Beatriz Macedo Simon Sola E-mail: beatriz.ssola@gmail.com
Prof. Dr^a. Cristiane Inácio de Campos E-mail: cristiane.campos@unesp.br
Prof. Dr^a. Maria Salete Marcon Gomes Vaz E-mail: salete@uepg.br

Resumo: O crescente uso de painéis à base de madeira na construção civil cria a necessidade de aumentar a vida útil deles sem comprometimento nas propriedades físicas e mecânicas. Assim, para que não ocorra deterioração destes painéis existem disponíveis alguns métodos preservantes que buscam aumentar a resistência contra organismos xilófagos. Dentre os tratamentos mais utilizados, os preservantes químicos hidrossolúveis aplicados utilizando o método célula cheia, que visa empregar o maior número de células com a solução preservante, são os mais empregados com uso de arseniato de cobre cromatado. O presente trabalho teve por objetivo produzir chapas OSB com madeira de *Pinus taeda* utilizando resina fenol-formaldeído, realizando o procedimento de tratamento preservativo no painel já conformado bem como o tratamento das lascas e, posteriormente, produção do painel. O estudo previu avaliar a ocorrência de mudança nas propriedades físicas e mecânicas dos painéis, utilizando como referência para análise dos resultados chapas produzidas sem o tratamento químico e valores comerciais e normativos para o OSB. Neste estudo foi realizada a caracterização físico-mecânica atendendo as especificações dos documentos normativos EN 322/2000, EN 323/2000, EN 317/2000, EN 310/2000, EN 319/2000. A partir dos testes realizados foi possível concluir que o tratamento dos painéis assim como o tratamento das lascas resultou em mudanças nas propriedades físico-mecânicas. Porém o tratamento das lascas, mesmo não atendendo todos os aspectos de desempenhos normativos, obteve resultados mais próximos à testemunha o que indica que com ajustes se torna viável seu uso no processo produtivo.

Palavras-chave: Painéis OSB, *Pinus taeda*, Arseniato de Cobre Cromatado

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-MECÂNICA DE PAINÉIS OSB PRODUZIDOS COM LASCAS DE MADEIRA TRATADAS COM CCA

1. Introdução

Com a diminuição da disponibilidade de madeiras nativas e seu encarecimento, houve a necessidade de se obter métodos alternativos que garantissem propriedades físicas e mecânicas semelhantes. Assim os painéis de madeira reconstituída foram inseridos ao mercado visando além de diminuir os custos e o desperdício, apresentar características físicas e mecânicas, fatores estes dependentes do tamanho e geometria das partículas bem como o tipo de resina utilizada, que possibilita diversos usos, até mesmo estrutural (FERRAZ et al., 2009).

Um dos painéis que apresenta demanda ascendente no país é o *Oriented Strand Board* (OSB), um painel de lascas orientadas, onde a camada central é defasada em 90° das camadas externas. Por apresentar desempenho mecânico satisfatório é um painel que vem ocupando uma faixa do mercado antes ocupada somente por painéis de madeira compensada. É um painel que atende diversos nichos de mercado, indo desde a construção civil à indústria moveleira.

Um dos problemas recorrentes quando se trata do uso da madeira e seus derivados está na durabilidade quando expostos às adversidades climáticas e a ação de agentes xilófagos. Para que a durabilidade seja maior se faz necessário o uso de métodos de preservação e, os mais eficientes e de maior aplicação no Brasil são os preservantes químicos

hidrossolúveis, dentre os quais se destaca o Arseniato de Cobre Cromatado (CCA). Estes são normalmente aplicados sobre a madeira utilizando o método de célula cheia, que consiste na aplicação de vácuo e pressão com o objetivo de preencher, com o preservativo, o maior número de células possíveis (ARAÚJO; MAGALHÃES; OLIVEIRA, 2012). Como se trata de procedimento químico, a madeira quando exposta a tal situação tem suas características alteradas, tais como a composição química, propriedades físicas e mecânicas e coloração, isso ocorre devido a fixação do CCA nos elementos químicos pertencentes a parede celular da madeira, isto é, carboidratos, lignina e extrativos. Assim existe a necessidade de desenvolver um método otimizado para o tratamento das lascas de madeira e do painel, verificando se as mudanças nas propriedades físico-mecânicas são relevantes a ponto de inviabilizar o uso do painel em estruturas.

2. Revisão bibliográfica

2.1 Painéis de madeira

O uso crescente de painéis à base de madeira vem sendo uma resposta positiva ao grande desenvolvimento tecnológico que surgiu no século XX, que visava além de possibilitar o uso mais eficiente da madeira e reduzir a geração de resíduos, utilizar árvores com menores dimensões para assim diminuir o tempo de espera de seu crescimento. Outro fator importante foi a busca por propriedades mais homogêneas para a madeira, buscando reduzir a heterogeneidade, anisotropia, instabilidade dimensional em suas direções preferenciais, além de melhorar as propriedades térmicas, e acústicas (FERRAZ et al., 2009).

De acordo com a Iwakiri, Mendes e Saldanha (2003) o desenvolvimento tecnológico possibilitou a criação de uma variedade de painéis, que diferem em suas propriedades físicas, mecânicas, tolerância ao contato com a água, variando suas indicações para uso interno e externo, fixação de parafusos e aplicações mais específicas como para construção civil e a indústria moveleira.

As indústrias de madeira processada mecanicamente bem como a de painéis de madeira industrializada apresentam uma parcela socioeconômica muito importante no país, seja na geração de renda, seja no seu papel vital na sustentabilidade dos recursos florestais e na permanência do homem no campo.

2.2 *Oriented Strand Board*

Entende-se por *Oriented Strand Board* (OSB) como sendo um painel de lascas finas e longas, orientadas que possui como principal característica boa resistência mecânica em suas duas principais direções, sendo desenvolvido para aplicações estruturais na construção civil, como por exemplo, em paredes, forros, divisórias, decks, almas de estruturas "I", dentre outras aplicações (IWAKIRI, 2005).

A composição deste tipo de painel é bastante similar à do compensado, uma vez que apresenta defasagem entre as camadas. No caso do OSB são divididos, usualmente, em apenas três camadas, nas camadas externas as lascas são orientadas com a maior direção das lascas paralela a direção de formação do painel, enquanto a interna apresenta orientação perpendicular em relação às faces do painel. Segundo César (2011), essa composição análoga ao compensado, faz com que o OSB apresente desempenho semelhante no que diz respeito à resistência e rigidez à flexão estática, bem como a sua estabilidade dimensional.

O processo produtivo de painéis OSB, de acordo com Souza (2012), possibilita diminuir os custos de produção, sem deixar de atingir bons resultados físico-mecânicos, e proporciona o aproveitamento de 96% das toras de madeira. Além de possibilitar o uso de madeira oriunda de desbastes de troncos finos e tortuosos, assim como de espécies de

menor valor comercial, diferindo da qualidade da madeira necessária para produção de compensados, que apresentam custos relativamente superiores.

A produção de OSB no Brasil ainda é muito recente, a primeira fábrica foi instalada em 2002, onde a maior parte desta produção era destinada ao mercado interno, empregadas especialmente pela indústria de móveis, embalagens, construção a seco, dentre outros. Atualmente, a empresa pertence à Louisiana-Pacific Corporation, uma empresa norte-americana. Segundo estudos realizados pelo BNDES (2014) mostraram que o consumo de OSB no Brasil oscilou entre 120.000 m³ e 300.000 m³, até o ano de 2014, revelando o quanto a indústria brasileira ainda está em fase de introdução e aceitação deste painel quando comparada a crescimento do consumo do mesmo produto na América do Norte e Europa.

2.3 Tratamento preservativo da madeira

Sendo o OSB um produto de base florestal, principalmente, produzido a partir de madeira de reflorestamento que apresenta durabilidade natural menor que uma madeira nativa, os painéis podem vir a sofrer algum tipo de deterioração quando expostos a condições desfavoráveis, como por exemplo, umidade elevada, ventilação ineficiente, contato direto com o solo, dentre outros. Assim se faz necessário, para que o produto tenha uma vida útil aumentada, a aplicação de algum tratamento preservativo, seja ele através da inserção de fungicidas e inseticidas na composição do adesivo, seja aplicado por meio de vácuo-pressão (MENDES et al., 2013b).

Os métodos de tratamento industriais existentes são basicamente classificados em processos de célula cheia e de célula vazia, entretanto, o mais utilizado tanto no Brasil como o mundo é método célula cheia, que consiste na aplicação de vácuo e pressão com o objetivo de preencher com o preservativo o maior número de células possíveis (ARAÚJO; MAGALHÃES; OLIVEIRA, 2012).

Além da solução preservante garantir proteção à madeira, é necessário que esta possua outras características que são tão importantes quanto, por exemplo, devem possuir baixa toxidez, elevada permanência, a fim de que não ocorra alterações em suas propriedades sob ações das intempéries, não ser corrosiva, não apresentar impacto ambiental e social, além de não alterar as propriedades físicas e mecânicas da madeira (CALIL JR, 2002).

O produto mais utilizado para o tratamento de madeiras em nível mundial, é o Arseniato de Cobre Cromatado (CCA), uma vez que possui alta eficiência, grande fixação, além de que sua composição garante ação fungicida e inseticida (MENDES et al., 2013). O CCA é encontrado no mercado em três composições diferentes, em que há variação nas proporções de arsênio e cromo, sendo alteradas conforme a necessidade do tratamento (MORESCHI, 2011).

Segundo Bertolini (2011), a fixação do CCA na madeira se dá através da penetração dos elementos químicos e seu estabelecimento nas paredes celulares para que estes reajam com os carboidratos, lignina e extrativos, de forma a se tornar insolúvel. Cada componente apresenta uma função em particular. O cromo tem por objetivo promover a fixação no cobre e do arsênio nos elementos celulares, enquanto que o cobre desempenha papel fungicida e o arsênio inseticida. Ao final do tratamento a madeira obtém coloração esverdeada e confere proteção contra fungos, insetos e brocas marinhas.

A realização da preservação da madeira com CCA permite que esta seja utilizada em ambientes internos e externos, com ou sem contato com o solo e umidade, por exemplo, postes, estacas, mourões, componentes de construção civil, *decks*, pergolados, dentre outros (ARAÚJO; MAGALHÃES; OLIVEIRA, 2012).

3. Materiais e método

O presente estudo foi realizado com três tratamentos distintos, sendo eles:

- Painéis testemunha sem tratamento (T1);
- Painéis tratados com CCA (T2);
- Painéis produzidos com lascas tratadas com CCA (T3).

O processo de fabricação, tratamento preservativo e, posteriormente, a caracterização foram realizados conforme as seguintes etapas.

3.1 Seccionamento das tábuas e geração das lascas

A matéria-prima, recebida através de doação da empresa Sguario Madeiras, chegou na forma de tábuas. Estas, com auxílio de uma seccionadora, foram transformadas em peças de dimensões menores para que fossem acomodadas corretamente no picador de disco. Para que a formação das lascas ocorresse mais facilmente, além de diminuir o desgaste da ferramenta e evitar o encurvamento das lascas, as peças foram imersas em água por um período de 24 horas, assim depois de umedecidas as lascas foram geradas.

3.2. Secagem do material

Depois de produzidas as lascas foram acomodadas em ambiente com livre circulação de ar, mas protegida contra chuva e umidade, para que houvesse secagem natural prévia. Posteriormente, as lascas foram levadas para secagem em estufa por um período de 24 horas a $103 \pm 0,5$ °C.

3.3 Produção dos painéis

A produção dos painéis propriamente se iniciou com a pesagem, em balança semi-analítica, das lascas, ao total foram utilizados 1800g. Em seguida, preparou-se o adesivo através da mistura de fenol-formaldeído e água, respeitando a proporção de 10:1, onde o peso total do adesivo corresponde a 10% do peso seco das lascas. Assim foram pesados 180g de fenol-formaldeído e 18g de água para a composição de cada painel. A aplicação do adesivo por aspersão se deu pelo uso de uma encoladeira do tipo tambor rotativo, para garantir maior homogeneidade de distribuição das partículas de adesivo. Após a retirada das lascas da encoladeira iniciou-se o processo de montagem do colchão. Para isso utilizou-se uma caixa formadora que tem por objetivo auxiliar a orientação preferencial das camadas. As três camadas foram formadas respeitando a proporção 20:60:20, ou seja, 20% do peso do material foi depositado nas camadas externas, enquanto, que 60% constituiu o miolo do colchão. Em seguida, o colchão foi submetido ao processo de pré-prensagem a frio, ou seja, a temperatura ambiente. Foi aplicada pressão de 2,0 kgf/cm² por um período de 10 minutos.

A última etapa de produção consistiu em submeter o colchão a prensagem a quente em prensa hidráulica termo-mecânica. Esse processo, assim como a pré prensagem ocorreu, por um período de 10 minutos subdivididos em três ciclos com alívio de pressão de 30 segundos entre cada novo ciclo. A pressão aplicada foi de 40 kgf/cm² com uma temperatura de 180°C. Após a fabricação, os painéis foram armazenados para a cura final do adesivo. Após esse período, os painéis foram esquadrejados.

3.4 Tratamento preservativo

Depois de produzidos os painéis, passou-se então para o processo de tratamento preservativo, este foi realizado em autoclave industrial. Foi utilizado como preservativo Arseniato de Cobre Cromatado (CCA), tipo C, com 2% de ingrediente ativo.

Para o tratamento das lascas foi necessário primeiramente submeter as partículas por sistema de peneiramento através de uma peneira granulométrica com abertura de 5 mesh. Depois de peneirada as lascas foram acomodadas em sacos plásticos para que estes pudessem ser inseridos na autoclave sem que houvesse perda de material nem contaminação da solução preservante.

O processo de tratamento se iniciou com a acomodação das cargas. Em seguida, foi aplicado um vácuo inicial a 560 mmHg por um período de 30 minutos, e, em seguida, foi inserida a solução preservante e aplicada pressão de 12kgf/cm² por 90 minutos. Novamente, foi aplicado vácuo também a 560 mmHg, por 15 minutos, sendo esta a etapa final do tratamento. Após a realização destas etapas a autoclave se manteve fechada por 5 dias para impregnação completa e total eliminação do excesso de solução.

Em seguida, tanto os painéis já conformados quanto as lascas foram acomodados em ambiente com livre circulação do ar para que houvesse a redução do teor de umidade. Depois deste período as lascas passaram por todas as etapas descritas acima para a produção dos painéis, ambos os tratamentos passaram pela etapa final de caracterização.

3.5 Caracterização dos painéis

Os painéis produzidos passaram por testes físicos e mecânicos para a sua caracterização. Os testes físicos realizados foram teor de umidade, densidade e inchamento. Os testes mecânicos realizados foram resistência à flexão estática paralela e perpendicular, e tração perpendicular. Como não há normas brasileiras para caracterização, optou-se pelo uso da Norma Europeia como referência.

3.5.1 Densidade aparente

Para determinação da densidade aparente dos painéis OSB foi utilizado a norma europeia EN 323 (1993), para isso foi necessário determinar as dimensões da amostra bem como realizar sua pesagem. O cálculo da densidade se deu através das Equações 1 e 2.

$$M/V * 106 = D \quad (1) \quad \text{Sendo: } b1 * b2 * e = V \quad (2)$$

Onde: D: densidade da amostra (kg/m³); M: massa do corpo-de-prova (g); V: volume do corpo-de-prova (mm³); b1 e b2: dimensões do corpo-de-prova (mm); e: espessura do corpo-de-prova (mm).

3.5.2 Teor de umidade

Para determinação do teor de umidade dos painéis OSB foi utilizado a norma europeia EN 323 (1993), para isso foi necessário determinar a relação entre a massa de água contida nos painéis e sua massa depois da secagem em estufa. A secagem ocorreu por um período de tempo necessário para que o corpo-de-prova atingisse uma massa constante. O teor de umidade foi determinado a partir da Equação 3.

$$(Mu - Ms) / Ms = U \quad (3)$$

Onde: U: umidade residual do corpo-de-prova (%); Mu: massa úmida do corpo-de-prova (g); Ms: massa seca do corpo-de-prova (g).

3.5.3 Inchamento

Para determinação do inchamento em espessura dos painéis OSB foi utilizado a norma europeia EN 317 (1993), para isso foi necessário submeter as amostras à imersão em água destilada por um período de tempo de 24 horas. Foi realizado medições da espessura do corpo-de-prova antes e depois da imersão, assim o cálculo se deu através da Equação 4.

$$[(t_2 - t_1) / t_1] * 100 = I \quad (4)$$

Onde: I: valor de inchamento (%); t1: espessura antes da imersão (mm); t2: espessura depois da imersão (mm).

3.5.4 Flexão estática

Foi utilizada a norma europeia EN 310 (1993) para realizar o ensaio de flexão estática, este por sua vez tem por propósito determinar o Módulo de Elasticidade (MOE) e o Módulo de Ruptura (MOR). Este ensaio foi realizado em uma Máquina Universal de Ensaio (EMIC) e para isso foi necessário determinar as dimensões da seção transversal do corpo-de-prova, e acomodá-lo corretamente no equipamento, uma vez que a amostra deve se encontrar bi apoiado tendo um vão livre equivalente a 20 vezes a espessura da amostra. O cálculo se deu através das Equações 5 e 6, é válido ressaltar que estes equacionamentos são inseridos no software apresentado na EMIC, assim os resultados dos ensaios são calculados diretamente.

$$[(1,5 * P * D) / (B * E)] = MOR \quad (5)$$

Onde: MOR: módulo de ruptura (MPa); P: carga de ruptura lida no indicador de cargas (N); D: distância entre apoios do aparelho (mm); B: largura do corpo-de-prova (mm); E: espessura média tomada em três pontos do corpo-de-prova (mm).

$$\{[(F_2 - F_1) * D^3] / [4 * (a_2 - a_1) * B * E^3]\} = MOE \quad (6)$$

Onde: MOE: módulo de elasticidade (MPa); F2 – F1: incremento de carga no limite proporcional lida no indicador de cargas (N); D: distância entre apoios do aparelho (mm); a2 – a1: deflexão correspondente a carga F2 – F1 (mm); B: largura do corpo-de-prova (mm); E: espessura média tomada em três pontos do corpo-de-prova (mm).

3.5.5 Tração perpendicular

Foi utilizada a norma europeia EN 319 (1993) para realizar o ensaio de tração perpendicular. Este ensaio foi realizado em uma Máquina Universal de Ensaio (EMIC) e para isso foi necessário determinar as dimensões da seção transversal do corpo-de-prova, em seguida a amostra foi posicionada entre dois suportes para que assim iniciaram os ensaios. O cálculo se deu através da Equação 7, é válido ressaltar que este equacionamento é inserido no software apresentado na EMIC, assim os resultados dos ensaios são calculados diretamente.

$$F_{max} / (a * b) = f_t \quad (7)$$

Onde: f_t: tensão à tração perpendicular (MPa); F_{max}: Carga de ruptura do corpo-de-prova (N); a e b: dimensões de largura e comprimento da amostra (mm).

4. Resultados

A seguir estão apresentados os resultados obtidos nos ensaios de caracterização físico-mecânicos para todas as chapas produzidas, os valores alcançados foram comparados à literatura e com a norma vigente.

4.1 Densidade aparente

A Tabela 1 apresenta os valores médios de densidade aparente juntamente com a análise de variância pelo teste de Tukey com 95% de confiabilidade, desvio padrão, coeficiente de variação e número de amostras.

Através da Tabela 1 pode-se perceber que não houve diferença estatística entre a densidade aparente nos tratamentos T1 e T2, porém estes diferiram do tratamento T3. Este ganho de densidade nas amostras que receberam o preservante nas lascas antes da consolidação do painel pode ser explicado pela maior retenção do produto quando comparado com o painel tratado, uma vez que há maior área superficial em contato e maior facilidade do preservantes atingirem todas as lascas.

Tabela 1 – Valores de densidade aparente obtidos nos ensaios realizados

Tratamento	Média (kg/m ³)	D.P. (kg/m ³)	C.V.(%)	n
T1	666a*	90	13,55	10
T2	656a	35	5,41	10
T3	828b	160	19,38	10

Marco, Ballarin e Palma (2016) que realizaram um estudo preliminar com compensado de Pinus taeda L. em que as lâminas foram tratadas com CCA observaram valores de densidade maior do que o encontrado nos painéis não tratados, passando de 622 kg/m³ para 657 kg/m³, o que também foi explicado pela retenção do material preservativo nas lâminas.

De acordo com Mendes et al. (2013b), que estudaram o efeito do tratamento preservativo de painéis compensados sobre suas propriedades físico-mecânica, não observaram diferenças significativas para a massa específica entre os painéis tratados tanto com CCA quanto com CCB em relação aos painéis testemunhas. Bertolini et al (2014b) que realizaram um estudo sobre a produção e caracterização de painéis de partículas provenientes de rejeitos de Pinus sp. tratado com CCA, puderam observar que o uso de madeira tratada na produção influenciou diretamente a densidade, isso porque a densidade dos painéis com madeira sem tratamento foi em média de 760 kg/m³ enquanto que para os painéis tratados atingiram 880 kg/m³.

4.2 Teor de Umidade

A Tabela 2 apresenta os valores médios de teor de umidade juntamente com a análise de variância pelo teste de Tukey com 95% de confiabilidade, desvio padrão, coeficiente de variação e número de amostras.

Tabela 2 – Valores de teor de umidade obtidos nos ensaios realizados.

Tratamento	Média (%)	D.P. (%)	C.V.(%)	n
T1	7,86b*	1,10	14,02	10
T2	16,47a	2,20	13,37	10
T3	4,71c	1,06	22,61	10

Conforme apresentado na Tabela 2 os valores de teor de umidade diferiram

estatisticamente para os três tratamentos. Segundo a Norma Europeia (EN-322, 2000) os requisitos para teor de umidade para as classes 1 e 2 podem variar de 2% a 12% enquanto que para as classes 3 e 4 variam entre 5% e 12%. Assim, os tratamentos T1 e T3 atenderam estes requisitos para o uso em ambiente úmido, porém o tratamento T2 se apresentou fora da faixa de utilização por apresentar valor acima do limite normativo.

O maior teor de umidade no tratamento T2 pode ter ocorrido devido a impregnação do preservante ter sido realizada após a consolidação do painel, assim o ganho de água foi extremamente alta e como não houve etapas posteriores de secagem, a perda de água ocorreu somente pela diferença de umidade com o ambiente, diferente do que ocorreu com as lascas, visto que depois do tratamento estas foram secas em estufa garantindo que o excesso de água gerado pela preservação fosse eliminado.

O mesmo fenômeno foi observado por Mendes et al. (2013b) em que os valores médios de teor de umidade foram menores nos painéis sem tratamento quando comparados com os painéis com CCA. Esse comportamento não era esperado visto que os preservantes se ligam na estrutura química da madeira o que deveria diminuir os valores de umidade. Contudo, aliado ao excesso de água não eliminado o processo de preservação, possivelmente causado pela aplicação de pressão, pode ocasionar mudanças anatômicas nas lascas de madeira expondo maiores números de áreas higroscópicas.

Ferro et al. (2016a) realizou um estudo sobre as propriedades físicas de painéis OSB produzidos com madeira de *Schizolobium amazonicum* (Paricá), tratadas com CCA e CCB. Neste trabalho a preservação foi realizada em nas peças de madeira antes da produção das lascas, assim os teores de umidade encontrados foram satisfatórios com os encontrados na literatura, variando entre 7,49% e 8,81% sendo superiores aos valores encontrados, referente ao tratamento das lascas, neste trabalho.

4.3 Inchamento em espessura

A Tabela 3 apresenta os valores médios de inchamento juntamente com a análise de variância pelo teste de Tukey com 95% de confiabilidade, desvio padrão, coeficiente de variação e número de amostras.

Tabela 3 – Valores de inchamentos em espessura obtidos nos ensaios realizados.

Tratamento	Média (%)	D.P. (%)	C.V.(%)	n
T1	37,28a*	7,28	19,531	10
T2	6,20b	5,13	82,77	10
T3	38,89a	9,24	23,76	10

Analisando os dados da Tabela 3 pode-se perceber que não houve diferença estatística entre os tratamentos T1 e T3, mas houve diferença destes em relação ao tratamento T2. Tal fato pode ser justificado pela diferença quanto ao ganho de espessura causado pelo tratamento preservativo. O mesmo fenômeno foi encontrado por Mendes et al (2013b) em painéis de madeira compensada, em que se verificou uma tendência de diminuição no inchamento em espessura após o tratamento dos mesmos. Esta diminuição pode estar relacionada com o método de preservação, visto que há um inchaço inicial estimulado pelo processo vácuo-pressão-vácuo e, isto fez com que as amostras apresentassem menor inchamento durante a realização dos testes.

Bertolini et al (2014b) também verificou diminuição no inchamento em espessura em painéis de partícula aglomerada produzidos com resíduos de madeira tratada com CCA, 16,3% para painéis testemunha e 8,65% para os painéis com preservante. Outra

possível explicação para esta tendência está associada à retenção dos constituintes do preservativo que ocupa os sítios higroscópicos presentes na madeira.

De acordo com documento normativo, Norma Europeia (EN-322, 2000), somente o tratamento T2 alcançou valor de inchamento compatível com os requisitos apresentados pela norma, podendo ser classificado, quanto a esta característica física, como classe 4 onde para espessuras entre 10 e 18 mm é indicado o limite de 12% de inchamento em espessura.

3.4 Flexão estática

As Tabelas 4 e 5 apresentam os valores médios de Módulo de Elasticidade (MOE) paralelo e perpendicular e as Tabelas 6 e 7 os valores médios de Módulo de Ruptura (MOR) paralelo e perpendicular, respectivamente juntamente com a análise de variância pelo teste de Tukey com 95% de confiabilidade, desvio padrão, coeficiente de variação e número de amostras.

Tabela 4 – Valores de MOE paralelo obtidos nos ensaios realizados.

Tratamento	Média (MPa)	D.P. (Mpa)	C.V.(%)	n
T1	4960a*	410	8,26	5
T2	1524b	345	22,63	5
T3	2820b	1301	46,14	5

Tabela 5 – Valores de MOE perpendicular obtidos nos ensaios realizados

Tratamento	Média (MPa)	D.P. (Mpa)	C.V.(%)	n
T1	3295a*	293	8,89	5
T2	1473b	211	14,35	5
T3	2722a	1174	43,12	5

Tabela 6 – Valores de MOR paralelo obtidos nos ensaios realizados.

Tratamento	Média (MPa)	D.P. (Mpa)	C.V.(%)	n
T1	40,07a*	3,85	9,60	5
T2	17,07c	2,20	12,88	5
T3	25,62b	6,89	26,89	5

Tabela 7 – Valores de MOR perpendicular obtidos nos ensaios realizados.

Tratamento	Média (MPa)	D.P. (Mpa)	C.V.(%)	n
T1	34,91a*	6,25	17,89	5
T2	16,06b	2,25	14,00	5
T3	21,80b	4,11	18,87	5

Para os valores de MOE e MOR obtidos tanto paralelo como perpendicularmente, observou-se que o tratamento do painel após sua consolidação prejudicou de forma mais significativa seu desempenho, quando comparada aos demais tratamentos. Isso se deve ao fato da maior presença de água nos painéis, provenientes do tratamento preservativo, que não foram eliminadas no período de secagem ao ar livre.

De acordo com Moreschi (2012a), de maneira geral as propriedades mecânicas da madeira tendem a diminuir com o aumento no teor de umidade, isto porque à medida que ocorre a entrada de moléculas de água nos espaços vazios do material este se torna inchado e plasticizado. Ou seja, pequenas deformações elásticas em um curto período de tempo se tornam deformações plásticas.

A perda de resistência à flexão estática nas duas direções também pode ter sido ocasionada em função do tratamento químico, visto que há fixação dos ingredientes ativos no interior da madeira e, estes dificultam e/ou prejudicam a qualidade da colagem

dos painéis, ou seja, a impregnação dos adesivos no substrato. O estudo realizado por Mendes et al. (2013b) observou redução nos valores de MOR e MOE para painéis compensados tratados tanto com CCA quanto com CCB. Neste estudo a redução mais drástica ocorreu no MOE paralelo, obtendo valores médios menores que a metade dos valores obtidos para os painéis testemunha.

Marco, Ballarin e Palma (2016) obtiveram resultados contrários aos obtidos no presente trabalho, uma vez que o tratamento preservativo das lâminas para produção de painéis de compensados não resultaram em diferenças significativas destes para com os painéis testemunha, tanto para MOR quanto para MOE em ambas as direções.

Bertolini et al. (2014b) verificou, para painéis de partículas produzidas com rejeitos de *Pinus sp* tratados com CCA, que não houve diferenças estáticas significativas entre os painéis com e sem tratamento, porém neste estudo foi observado uma melhora nestas propriedades quando se fez uso de maiores teores de adesivo. O que pode ser uma sugestão de melhoria para que se possa atingir melhores desempenhos mecânicos em painéis OSB tratados com CCA.

Segundo a EN 300 (2002) para painéis OSB os valores normativos de referência para a classe 4 são: MOE paralelo 4800 MPa, MOR paralelo 28,00 MPa, MOE perpendicular 1900 MPa, MOR perpendicular 15,00 MPa. Com base nos valores apresentados anteriormente somente os painéis testemunha T1 atingiram os critérios estabelecidos para utilização estrutural especial em ambiente úmido. O tratamento T3 permite classificar os painéis como pertencentes a classe 1, indicados para uso geral e painéis para componentes interiores para uso em ambiente seco. Para esta classe os valores de referências são: MOE paralelo 2500 MPa, MOR paralelo 18,00 MPa, MOE perpendicular 1200 MPa, MOR perpendicular 9,00 MPa. Assim verificou-se que para o T2 somente o MOE paralelo não atingiu os critérios estabelecidos pela norma europeia, não podendo assim ser categorizado em nenhuma classe de uso.

4.5 Tração perpendicular

A Tabela 8 apresenta os valores médios de tração perpendicular juntamente com a análise de variância pelo teste de Tukey com 95% de confiabilidade, desvio padrão, coeficiente de variação e número de amostras.

Tabela 9 – Valores de tração perpendicular obtidos nos ensaios realizados.

Tratamento	Média (MPa)	D.P. (Mpa)	C.V.(%)	n
T1	0,54a*	0,19	34,98	5
T2	0,57a	0,12	21,06	5
T3	0,36b	0,13	34,84	5

Conforme os resultados apresentados na Tabela 9 verifica-se uma redução considerável entre a adesão interna do tratamento T3 em relação aos painéis dos tratamentos T1 e T2. Esta redução pode ser explicada pela fase de preservação ter sido realizada nas lascas, ou seja, antes da consolidação do painel, o que interfere no processo de interação entre o adesivo e a madeira.

Bertolini et al (2014b) obteve resultados, para painéis aglomerados, com a mesma tendência obtida no presente trabalho. Uma vez que o uso de resíduos de madeira tratadas com CCA resultou em uma menor resistência em relação a adesão interna, caindo de 2,41 MPa, obtidos para os painéis testemunha, para 1,59 MPa para os painéis com CCA. É interessante destacar que os estudos realizados pelo autor demonstraram que o uso de um maior percentual de resina auxilia na obtenção de valores de adesão interna mais satisfatórios, se aproximando significativamente dos valores referenciais.

Segundo Vick e Kuster (1992) esse comportamento se deve ao fato dos componentes do

preservativo (cobre, cromo e arsênio) se ligam quimicamente as paredes celulares do material, bloqueando parte significativa das forças moleculares que normalmente atuam entre o adesivo e a madeira.

5. Conclusão

O uso dos painéis à base de madeira na construção civil tem mostrado aplicações relevantes especialmente em sistemas construtivos leves como o Wood Frame e Steel Frame. No entanto, alguns aspectos importantes relacionados à durabilidade dos painéis para este uso se tornam importantes. Sendo assim, o uso de tratamento químico preservativo nos painéis OSB foi a proposta deste estudo visando maior durabilidade dos mesmos para tal aplicação.

Com base nos resultados obtidos para os painéis tratados, assim como para as lascas tratadas, verificou-se mudanças no desempenho tanto melhorando como piorando suas propriedades. No aspecto geral pode-se dizer que o tratamento T2 (tratamento do painel) apresentou melhor desempenho somente no teste de inchamento em espessura e, isto pode ser justificado pelo teor de umidade elevado dos painéis antes da realização dos testes. Analisando tal processo, industrialmente o mesmo não se mostra viável e interessante por apresentar uma etapa a mais no processo e requer maiores espaços para o tratamento químico do material.

O tratamento das lascas (T3) apresentou redução tanto nas propriedades físicas como mecânicas de forma geral. O tratamento T3 (tratamento das lascas) embora tenha apresentado resultados que não atenderam as normas vigentes observou-se no aspecto geral desempenho mais próximo quando comparado ao painel não submetido a tratamento químico, o que sinaliza a possibilidade de uso com ajustes realizados no processo produtivo. Destaca-se que neste estudo foi utilizado para todos os tratamentos a porcentagem de adesivo de 10%, no entanto, verificou-se que durante a aplicação do mesmo ocorreram perdas, pois o adesivo não foi totalmente aplicado nas lascas ficando impregnado no recipiente de aplicação. Após a fabricação verificou-se que a porcentagem efetiva de adesivo aplicado foi de 8%. Como mencionado no item Resultados e Discussões, uma proposta para estudos futuros é o aumento da porcentagem de adesivo de modo a garantir que efetivamente sejam aplicados 10% de resina.

Referências

ARAÚJO, H. J. B. de; MAGALHÃES, W. L. E.; OLIVEIRA, L. C. de. Durabilidade de madeira de Eucalipto citriodora (*Corymbia citriodora* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson) tratada com CCA em ambiente amazônico. *Acta Amazônia*, Acre, v. 42, n. 1, p.49-58, mar. 2012.

Banco Nacional de Desenvolvimento (**BNDS**). Painéis de madeira no Brasil: panorama e perspectivas. Rio de Janeiro, n. 27, p. 121-156, mar. 2009.

BARILLARI, C. T. Durabilidade da madeira do gênero *Pinus* tratada com preservantes: Avaliação em campo de apodrecimento. 2002. 79 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Florestal, Tecnologia de Produtos Florestais, Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2002.

BERTOLINI, M. S. Emprego de resíduos de *Pinus* spp. tratado com preservante CCB na produção de chapas de partículas homogêneas utilizando resina poliuretana à base de mamona. 2011. 129 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Materiais, Desenvolvimento, Caracterização e Aplicação de Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

BERTOLINI, M. S. et al. PAINÉIS DE PARTÍCULAS PROVENIENTES DE

REJEITOS DE *Pinus* sp. TRATADO COM PRESERVANTE CCA E RESINA DERIVADA DE BIOMASSA. *Revista Árvore*, Viçosa-mg, v. 38, n. 2, p.339-346, 2014a.

BRITISH STANDARDS. EN 300: Oriented Strand Boards (OSB) — Definitions, classification and specifications. Bruxelas: BSI, 2006. 24 p.

BRITISH STANDARDS. EN 310: Wood-based panels — Determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength. Bruxelas: BSI, 1993. 14 p.

BRITISH STANDARDS. EN 317: Particleboards and fiberboards — Determination of swelling in thickness after immersion in water. Bruxelas: BSI, 1993. 12 p.

BRITISH STANDARDS. EN 319: Particleboards and fiberboards — Determination of tensile strength perpendicular to the plane of the board. Bruxelas: BSI, 1993. 12 p.

BRITISH STANDARDS. EN 322: Wood-based panels — Determination of moisture content. Bruxelas: BSI, 1993. 5 p.

BRITISH STANDARDS. EN 323: Wood-based panels — Determination of density. Bruxelas: BSI, 1993. 12 p.

BRITISH STANDARDS. EN 326-1: Wood-based panels — Sampling, cutting and inspection — Part 1: Sampling and cutting of test pieces and expression of test results. Bruxelas: BSI, 1994. 16 p.

CALIL JÚNIOR, C. O potencial do uso de madeira de *Pinus* na construção civil. *Revista Técnica*, São Paulo, n. 60, p. 44-48, 2002.

CÉSAR, A. A. S. Estudo da interação adesivo/partícula em painéis OSB (oriented strand board). 2011. 90 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

FERRAZ, J. M. et al. Propriedades de painéis de partículas laminadas paralelas utilizados como alternativa à madeira maciça. *Cerne*, Lavras, v. 15, n. 1, p.67-74, março, 2009.

FERRO, F. S. Painéis OSB com madeira *Schizolobium amazonicum* e resina poliuretana à base de óleo de mamona: viabilidade técnica de produção. 2013. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

IWAKIRI, S. (Ed.). Painéis de madeira reconstituída. Curitiba: Fupef, 2005. 247 p

IWAKIRI, S.; MENDES, L. M.; SALDANHA, L. K. Produção de chapas de partículas orientadas “OSB” de *Eucalyptus grandis* com diferentes teores de resina, parafina e composição em camadas. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 13, n. 1, p.89- 94, 2003.

MALONEY, T. M. Modern particleboard e dry-process fiberboard manufacturing. 2 ed. São Francisco: M. Freeman, 1993. 689p. In: CÉSAR, A. A. S. Estudo da interação adesivo/partícula em painéis OSB (oriented strand board). 2011. 90 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

MARCO, J. T. do; BALLARIN, A. W.; PALMA, H. A. L. COMPENSADO DE *Pinus taeda* L. COM L MINAS TRATADAS COM CCA – ESTUDO PRELIMINAR. In: XV EBRAMEM - ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 2016, Curitiba.

MENDES, L. M. *Pinus* spp. na produção de painéis de partícula orientadas (OSB). 2001. 103p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

MENDES, R. F. et al. Efeito do tratamento preservativo de painéis compensados sobre as suas propriedades físico-mecânica. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 41, n. 100, p.507-513, dez. 2013b.

MORESCHI, J. C. Produtos preservantes de madeira. 2011.

MORESCHI, J. C.; PROPRIEDADES DA MADEIRA. Departamento de Engenharia

e Tecnologia Florestal da UFPR, 4ª edição: novembro/2012. Curitiba, 2012a.

SOUZA, A. M. de. Produção e avaliação do desempenho de painéis de partículas orientadas (OSB) de Pinus sp com inclusão de telas metálicas. 2012. 118 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.