

ARTIGO ORIGINAL

Influência do revestimento nas propriedades de painéis compensados não-estruturais de uso exterior submetidos à câmara de intemperismo acelerado

Influence of coating on the properties of non-structural plywood for outdoor use submitted to accelerated weather chamber

Sandiane Carla Krefta¹ , Alexandro Bayestorff da Cunha¹ , Martha Andreia Brand¹ 

¹Departamento de Engenharia Florestal, Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC, Lages, SC, Brasil

Como citar: Krefta, S. C., Cunha, A. B., & Brand, M. A. (2022). Influência do revestimento nas propriedades de painéis compensados não-estruturais de uso exterior submetidos à câmara de intemperismo acelerado. *Scientia Forestalis*, 50, e3849. <https://doi.org/10.18671/scifor.v50.29>

Resumo

Os painéis compensados são amplamente utilizados na construção civil como fôrmas para concreto, sendo produzidos, em sua maior parte, por lâminas de *Pinus* spp. e adesivo à base de resina fenol formaldeído. No entanto, após diversos reusos, os painéis tendem a perder as suas características originais de resistência e rigidez devido à exposição contínua a intempéries, a água da composição do concreto e aos raios solares. O objetivo do estudo foi avaliar a influência dos revestimentos nas propriedades tecnológicas de painéis compensados não-estruturais de uso exterior de *Pinus* spp., após exposição a condições adversas de radiação, precipitação e condensação em câmara de intemperismo acelerado. Foram utilizados 20 painéis comerciais com 18 mm de espessura, divididos em 5 grupos conforme a superfície: (i) sem revestimento (testemunha), (ii) óleo, (iii) resina melamínica, (iv) filme melamínico e, (v) tego filme. De cada grupo, foram retirados 80 corpos de prova, dos quais, cada subgrupo de 20 foi submetido a 0, 10, 30 e 50 ciclos de radiação, precipitação e condensação em câmara de intemperismo acelerado, de acordo com os procedimentos descritos na ASTM G154 (2006). Após a finalização dos ciclos, foi realizada a determinação da densidade, teor de umidade, resistência e rigidez à flexão estática e resistência ao cisalhamento na linha de cola. Os dados foram avaliados de forma multifatorial em estatística paramétrica por meio da análise da variância e do teste de Tukey a 95% de probabilidade de acerto, sendo considerados 5 fatores (revestimentos) e quatro níveis (0, 10, 30 e 50 ciclos). Os resultados demonstraram que os painéis de todos os tratamentos atenderam aos parâmetros recomendados pela Associação Brasileira de Madeira Processada Mecanicamente (ABIMCI) até 50 ciclos, ou seja, os revestimentos aplicados e o tempo de exposição às variáveis de radiação, precipitação e condensação não afetaram negativamente os painéis em termos de resistência e rigidez, ao ponto de não poderem ser utilizados comercialmente.

Palavras-chave: Painéis laminados; Resistência e rigidez; ASTM G154 (2006).

Abstract

Plywood panels are widely used in civil construction as forms for concrete, being produced, for the most part, by veneers of *Pinus* spp. and adhesive based on phenol formaldehyde resin. However, after several reuses, the panels tend to lose their original strength and stiffness characteristics due to continuous exposure to weather, water from the concrete composition and sunlight. The objective of the study was to evaluate the influence of coatings on the technological properties of non-structural plywood for outdoor use of *Pinus* spp., after exposure to adverse conditions of radiation, precipitation and

Fonte de financiamento: Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina – FAPESC.

Conflito de interesse: Nada a declarar.

Autor correspondente: alexsandro.cunha@udesc.br

Recebido: 9 fevereiro 2022.

Aceito: 6 julho 2022.

Editor: Mauro Valdir Schumacher.



Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o artigo científico seja corretamente citado.

condensation in an accelerated aging chamber. Twenty 18 mm thick commercial panels were used, divided into 5 groups according to the surface: (i) uncoated (control), (ii) oil, (iii) melamine resin, (iv) melamine film and, (v) tego film. From each group, 80 specimens were removed, of which each subgroup of 20 was subjected to 0, 10, 30 and 50 cycles of radiation, precipitation and condensation in an accelerated aging chamber, according to the procedures described in ASTM G154 (2006). After completion of the cycles, the determination of density, moisture content, strength and stiffness to static bending, and strength in bonding line shear was performed. Data were evaluated in a multifactorial way in parametric statistics through analysis of variance and Tukey's test at 95% probability of success, considering 5 factors (coatings) and four levels (0, 10, 30 and 50 cycles). The results demonstrated that the panels of all treatments met the parameters recommended by the Brazilian Association of Mechanically Processed Wood (ABIMCI) up to 50 cycles, that is, the coatings applied and the exposure time to radiation, precipitation and condensation variables did not adversely affect the panels in terms of strength and stiffness.

Keywords: Laminated panels; Strength and stiffness; ASTM G154 (2006).

INTRODUÇÃO

Os painéis de compensado laminado são produzidos a partir de lâminas de madeira coladas em número ímpar de camadas, as quais são dispostas de forma cruzada uma sobre as outras, de forma a proporcionar maior estabilidade dimensional, rigidez e resistência mecânica. Na utilização como fôrmas para concreto são utilizados compensados de uso exterior, que são caracterizados pelo uso de resinas a prova d'água, geralmente fenol formaldeído, em função de estar em contato direto com umidade.

Para fôrma de concreto, além dos painéis *in natura*, o mercado, principalmente o internacional, tem buscado adquirir compensados revestidos com produtos líquidos ou com películas, de forma a aumentar o número de reusos sem prejudicar a qualidade superficial do concreto e a resistência mecânica dos painéis, principalmente em termos de linha de cola.

Os revestimentos aplicados aos painéis têm por objetivo impedir o transporte de agentes para o interior do concreto, conservando a sua qualidade, porém, quando expostos a intempéries, podem sofrer modificações em suas características, comprometendo suas propriedades (Almeida & Ferreira, 2006). Vale ressaltar que, além de agregar valor ao produto final, os revestimentos melhoram a estética do painel usinado e proporcionam maior durabilidade aos produtos (Pace et al., 2018).

Entre os produtos líquidos utilizados como revestimento, têm-se os óleos de origem vegetal e mineral, aos quais são adicionados sequestrantes, bactericidas e fungicidas; e a resina melamínica, que pode ser à base de água ou solvente, trazendo inúmeros benefícios como melhor retenção da cor, resistência à água, ao desgaste e ao risco. Já os revestimentos em película, têm-se o tego filme que é um produto fabricado a partir da celulose e impregnado com resina fenol formaldeído; e o filme melamínico, que é caracterizado por ser um painel com revestimento termofundido à baixa pressão, podendo ser impregnado em um ou ambos os lados dos painéis, resultando em resistência superficial à abrasão, impacto e fungos manchadores (Souza & Barata, 2011).

Independente da aplicação ou não do revestimento, os painéis utilizados como fôrmas de concreto devem apresentar características específicas como rigidez, estanqueidade, durabilidade, resistência mecânica à ruptura, não reatividade química, baixa aderência ao concreto, estabilidade e baixa absorção de água [NBR 15696 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009)].

A avaliação das características das fôrmas para concreto produzidas com painéis laminados é realizada nas empresas e/ou laboratórios por meio de ensaios físicos e mecânicos, após a finalização do processo de produção. Os ensaios seguem procedimentos padronizados, sendo que os valores obtidos devem atingir os parâmetros definidos pelas normas. Para avaliação de materiais expostos ao longo do tempo a condições de radiação solar e precipitação, pode ser utilizada a ASTM G154 (American Society for Testing and Materials, 2006), de forma mais específica, os procedimentos descritos no ciclo 7 que é destinado a produtos madeiráveis naturais ou revestidos. A principal vantagem da utilização

desse método é o tempo de realização, o que resulta em uma análise de comportamento de materiais ao longo do tempo de forma rápida e eficiente (Yildiz et al., 2013).

Alguns autores vêm estudando o emprego da câmara de intemperismo acelerado em produtos prontos de madeira, por meio da norma ASTM G154 (American Society for Testing and Materials, 2006), como Pace et al. (2018) que analisou a ação do intemperismo no acabamento superficial e coloração da madeira de *Corymbia citriodora* e *Khaya ivorensis*; e Ferle (2020) que realizou análises mecânicas em painéis MDF (*Medium Density Fiberboard*) e OSB (*Oriented Strand Board*) antes e após a exposição à câmara de intemperismo acelerado.

Assim, apesar das empresas de painéis compensados se destacarem no setor de base florestal em termos de volume produzido, exportado e tecnologia envolvida, no caso das grandes empresas; é recorrente a falta de informações sobre a qualidade do produto durante e após a utilização como fôrma de concreto. A obtenção destas informações, *in loco* ou em câmaras de intemperismo acelerado, permitirá o estabelecimento do número de reutilizações possíveis dos painéis para o uso supracitado e, se necessário, a busca por matérias-primas, processos e revestimentos que aumentem a vida útil.

O objetivo do estudo foi avaliar a influência dos revestimentos (óleo vegetal, resina melamínica, filme melamínico e tego filme) nas propriedades tecnológicas de painéis compensados não-estruturais de uso exterior de *Pinus* spp., após exposição a ciclos de radiação, precipitação e condensação (10, 30 e 50 ciclos) em câmara de intemperismo acelerado.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados 20 painéis compensados laminados de *Pinus* spp., fornecidos pela Empresa G13 Madeiras Ltda de Presidente Getúlio, Santa Catarina. Os painéis, com dimensões de 2440 mm x 1220 mm x 18 mm, 9 lâminas de 2,1 mm e adesivo a base de fenol formaldeído, foram classificados como "A" pelos critérios da Associação Brasileira da Indústria da Madeira Processada Mecanicamente (2002), em função de não apresentarem nós, miolo oco, juntas abertas, trincas, emendas na capa, manchas azuis, superposição e remendos superiores ao estabelecido. Como revestimentos, foram utilizados óleo vegetal, resina melamínica, filme melamínico e tego filme.

Os painéis foram divididos em 5 grupos com 4 painéis cada, conforme a superfície: (i) sem revestimento (testemunha), (ii) óleo vegetal, (iii) resina melamínica, (iv) filme melamínico e, (v) tego filme. A aplicação dos revestimentos no laboratório seguiu os procedimentos recomendados pelas empresas fornecedoras das matérias-primas, sendo:

- óleo vegetal: aplicação direta até obtenção da gramatura de 200 g.m⁻² em linha simples, sendo a secagem realizada em 24 horas em temperatura ambiente;
- resina melamínica: mistura simples com agitação contínua de 85% de resina, 10% de farinha de trigo, 5% de cloreto de amônia e 10 g de pó xadrez amarelo. A aplicação foi realizada com auxílio de forma manual até obtenção de gramatura de 150 g.m⁻² em linha simples, sendo a cura atingida sob temperatura de 120°C, pressão de 4 kgf.cm⁻² por 5 minutos;
- filme melamínico: aplicação direta do filme sobre as superfícies dos painéis, sendo a consolidação realizada sob temperatura de 125°C e pressão de 12 kgf.m⁻² por 7 minutos.
- Tego filme: aplicação direta do filme sobre as superfícies dos painéis, sendo a consolidação realizada sob temperatura de 135°C e pressão de 12,5 kgf.m⁻² por 10 minutos.

A partir de cada grupo com 4 painéis, obteve-se 80 corpos de prova, sendo 40 paralelos e 40 perpendiculares, os quais foram retirados da porção central de cada painel nas dimensões de 150 mm x 75 mm x 18 mm. Como foram utilizados 5 tipos de superfície, totalizou-se 400 corpos de prova.

De cada conjunto de 40 corpos de prova, 10 foram avaliados somente com a exposição às condições de temperatura (20°C) e umidade relativa (65%) da câmara climatizada. Os demais conjuntos (3 grupos de 10 corpos de prova) foram climatizados e posteriormente

colocados na câmara de intemperismo acelerado (Modelo BASS / UUV/ Spray) em 10, 30 e 50 ciclos de exposição às condições de radiação (8 horas de radiação ultravioleta a temperatura de 60±3°C), precipitação (0,25 horas de precipitação a temperatura ambiente) e condensação (3,45 horas de condensação a temperatura de 50±3°C), conforme procedimento descrito na ASTM G154 (American Society for Testing and Materials, 2006).

Com a finalização da exposição dos corpos de prova às condições ambientais adversas, realizou-se novamente a climatização em sala com temperatura e umidade relativa constantes, conforme mencionado anteriormente para os corpos de prova testemunha.

A determinação das propriedades físicas e mecânicas seguiram os procedimentos descritos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), sendo: densidade aparente pela NBR 9485 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2011b), teor de umidade pela NBR 9484 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2011a), flexão estática pela NBR 9533 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2012a) e cisalhamento na linha de cola pela NBR 12466 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2012b), sem aplicação de pré-tratamentos. A análise dos dados foi realizada de forma multifatorial com 5 fatores caracterizados pelos revestimentos e 4 níveis pelos ciclos da câmara de intemperismo acelerado. Os valores encontrados em cada uma das propriedades foram submetidos a análises preliminares para verificar a possibilidade do uso da estatística paramétrica. Para tanto, foi verificado a ocorrência de *outliers* por meio de representação gráfica *box-plot*, avaliado a normalidade dos dados por Shapiro-Wilk (dados < 30) e Kolmogorov-Smirnov (dados > 30) e a homogeneidade das variâncias pelo teste de Levene. Com os pressupostos atendidos, foi aplicada a Análise da Variância e, quando necessário, o Teste de Tukey a 95% de probabilidade de acerto.

Além da análise estatística convencional, todos os valores médios foram comparados com os parâmetros definidos pela Associação Brasileira da Indústria da Madeira Processada Mecanicamente (2002).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios de densidade aparente dos painéis revestidos com produtos líquidos, película e sem revestimento só foram equivalentes quando não havia sido aplicado nenhum ciclo na câmara de intemperismo acelerado (Tabela 1). Nos demais ciclos observam-se densidades superiores nos painéis revestidos com óleo e com filme melamínico. Para tempos de exposição (ciclos), observou-se redução significativa dos valores de densidade, independentemente do revestimento aplicado.

Tabela 1 – Valores médios de densidade (kg.m⁻³).

Trat.	Número de ciclos			
	0	10	30	50
S/r	571 Aa _(2,74)	552 Ba _(3,26)	551 Ba _(3,66)	550 Ab _(4,01)
R/o	594 Aa _(4,37)	585 Aa _(2,75)	577 Ab _(3,56)	559 Ac _(4,16)
R/rm	580 Aa _(6,00)	569 Aa _(3,02)	540 Bb _(4,65)	539 Bb _(2,75)
R/fm	587 Aa _(3,26)	578 Aa _(2,53)	568 Ab _(4,31)	567 Ab _(5,75)
R/tf	576 Aa _(3,60)	530 Bb _(4,03)	522 Cc _(5,28)	522 Bc _(3,75)
Média	582	563	552	547

Legenda: Trat. e T: tratamento; S/r: sem revestimento; R/o: revestimento com óleo; R/rm: resina melamínica; R/fm: filme melamínico; R/tf: teco filme; valores subscritos: coeficiente de variação (%); médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si para revestimento dentro de um mesmo ciclo (intervalo de tempo); médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem entre si para intervalo de tempo, dentro de um mesmo revestimento; ambos pelo Teste de Tukey (<0,05).

Para fins de classificação, de acordo com a Associação Brasileira da Indústria da Madeira Processada Mecanicamente (2002), os painéis de todos os tratamentos ficaram dentro do intervalo proposto pela Associação, que é entre 522 e 596 kg.m⁻³ para painéis compensados de *Pinus* spp.. Os altos valores médios de densidade dos painéis antes do início da aplicação

dos ciclos na câmara (582 kg.m⁻³), os quais são próximos ao limite superior proposto pela Associação, podem ser derivados da alta qualidade das toras utilizadas para a laminação em termos de diâmetro e porcentagem de lenho adulto, dos procedimentos adequados utilizados na produção e na classificação dos painéis, tendo em vista que são destinados para exportação. Estudo realizado pela Associação Brasileira da Indústria da Madeira Processada Mecanicamente (2002) com 18 empresas brasileiras de painéis compensados de *Pinus* spp. encontrou densidade média de 559 kg.m⁻³, o qual é menor que o determinado no presente estudo.

A equivalência dos valores de densidade entre os painéis produzidos nos tratamentos sem aplicação de ciclos de intemperismo, mesmo com diferentes revestimentos, é decorrente da padronização da propriedade no controle de qualidade na empresa, da gramatura adequada dos produtos aplicados nas superfícies e do acondicionamento em câmara climática após o processo mencionado, o que uniformizou a umidade e, conseqüentemente, a densidade.

A redução da densidade ao longo do tempo de exposição (ciclos) foi diferenciada entre as diferentes superfícies dos painéis, sendo que o revestimento com teco filme foi o mais afetado, com decréscimo de 7,97% após 10 ciclos e 9,44% para 30 e 50 ciclos, seguido da resina melamínica com 1,89%, 6,88% e 7,05%, respectivamente.

A redução nos valores de densidade dos painéis pode ser atribuída ao extenso tempo de radiação estabelecido pelo procedimento descrito na norma, o qual simula uma condição real. Esta condição pode ter promovido a redução do teor de umidade dos painéis com o passar dos ciclos, e conseqüentemente a perda de massa do material. Salienta-se também que os painéis revestidos podem sofrer degradação fotoquímica, que é gerada pelos raios ultravioletas, que além de comprometer o aspecto geral, influenciam na degradação rápida dos extrativos em pontos próximos da superfície, e conseqüentemente da densidade (Chang et al., 1982; Ayadi et al., 2003; González et al., 2010).

Para teor de umidade (Tabela 2), os valores médios indicam equivalência entre os diferentes revestimentos aplicados dentro de cada ciclo, com média de 10,25% para os tratamentos sem exposição às condições da câmara de intemperismos (0 ciclos), 7,68% para 10 ciclos, 7,66% para 30 ciclos e 6,13 para 50 ciclos. Para tempo de exposição (ciclos) dentro de um mesmo revestimento, observa-se redução significativa do teor de umidade de 0 ciclos para 10 ciclos, uma similaridade entre 10 e 30 ciclos e uma nova redução expressiva para 50 ciclos.

Tabela 2 – Valores médios de teor de umidade (%).

Trat.	Número de ciclos			
	0	10	30	50
S/r	10,26 Aa _(3,14)	7,57 Ab _(5,07)	7,66 Ab _(6,11)	6,53 Ac _(11,49)
R/o	10,23 Aa _(2,44)	7,98 Ab _(8,68)	7,88 Ab _(4,88)	6,04 Ac _(09,86)
R/rm	10,59 Aa _(1,61)	7,81 Ab _(7,70)	7,73 Ab _(5,69)	6,32 Ac _(06,17)
R/fm	10,13 Aa _(2,76)	7,74 Ab _(5,28)	7,56 Ab _(6,05)	5,78 Ac _(13,04)
R/te	10,04 Aa _(3,72)	7,34 Ab _(6,87)	7,45 Ab _(5,23)	6,00 Ac _(08,13)
Média	10,25	7,68	7,66	6,13

Legenda: Trat. e T: tratamento; S/r: sem revestimento; R/o: revestimento com óleo; R/rm: resina melamínica; R/fm: filme melamínico; R/te: teco filme; valores subscritos: coeficiente de variação (%); médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si para revestimento dentro de um mesmo ciclo (intervalo de tempo); médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem entre si para intervalo de tempo, dentro de um mesmo revestimento; ambos pelo Teste de Tukey (<0,05).

Independentemente do revestimento e do tempo de exposição às condições da câmara, os painéis de todos os tratamentos atenderam ao teor máximo de umidade recomendado pelo catálogo técnico do Programa Nacional da Qualidade da Madeira (PNQM) da Associação Brasileira da Indústria da Madeira Processada Mecanicamente (2009), que é de 18%.

Da mesma forma, observa-se que o teor de umidade encontrado para os painéis testemunha (0 ciclos) não foi equivalente ao da câmara climática, onde os corpos de prova ficaram armazenados antes de serem submetidos aos ensaios mecânicos. Nesta câmara, a temperatura era de 20°C e a umidade relativa de 65%, o que proporciona uma umidade de equilíbrio de 12%. Esta diferença pode ser atribuída às alterações na madeira durante o aquecimento das toras no pátio das empresas e durante a secagem das lâminas sob altas temperaturas, e também a incorporação de adesivo o que torna os painéis menos higroscópicos. A diferença da umidade de equilíbrio da câmara climática e de painéis de *Pinus* spp. é recorrente em diversos estudos como em Palma et al. (2017) que obteve 10,59% e Silva et al. (2012), 11,46%.

A redução do teor de umidade dos painéis dentro de um mesmo revestimento, causada pelos longos tempos de câmara (ciclos), segundo Boonstra et al. (2007), está relacionada com a menor acessibilidade da água na madeira. Para Akyildiz & Ates (2008) a menor acessibilidade da água resulta da diminuição de grupos OH e clivagem das cadeias glicosídicas, ocasionada pela despolimerização dos seus componentes, especialmente as hemiceluloses.

Nos valores médios de módulo de ruptura à flexão estática (MOR) no sentido paralelo, observa-se que o tipo de revestimento aplicado nas superfícies não interferiu na variável dentro dos ciclos 0, 10, 30 e 50 (Tabela 3). Entretanto, o tempo de exposição às condições da câmara de intemperismo acelerado ao longo do tempo propiciou um decréscimo nos valores de MOR paralelo, independente do revestimento. Nos painéis revestidos com óleo, resina melamínica e tego filme, as reduções foram mais expressivas, principalmente dos painéis testemunha (0 ciclos) para 50 ciclos, onde os percentuais chegaram a 20,70%, 30,15% e 23,30%, respectivamente.

Tabela 3 – Valores médios de módulo de ruptura no sentido paralelo (MPa).

Trat.	Número de ciclos			
	0	10	30	50
S/r	50,06 Aa _(23,08)	45,08 Ab _(16,23)	44,39 Ab _(20,04)	43,98 Ab _(26,86)
R/o	51,01 Aa _(12,32)	44,77 Ab _(22,85)	40,54 Ac _(18,33)	40,45 Ac _(26,86)
R/rm	55,96 Aa _(26,86)	44,57 Ab _(19,39)	39,24 Ac _(25,82)	39,09 Ac _(16,73)
R/fm	49,24 Aa _(26,86)	47,64 Aa _(15,66)	47,20 Aa _(23,51)	45,46 Aa _(25,64)
R/tf	50,09 Aa _(18,23)	43,42 Ab _(24,40)	40,56 Ab _(26,86)	38,42 Ac _(24,40)
Média	51,27	45,10	42,37	41,48

Legenda Trat. e T: tratamento; S/r: sem revestimento; R/o: revestimento com óleo; R/rm: resina melamínica; R/fm: filme melamínico; R/tf: tego filme; valores subscritos: coeficiente de variação (%); médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si para revestimento dentro de um mesmo ciclo (intervalo de tempo); médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem entre si para intervalo de tempo, dentro de um mesmo revestimento; ambos pelo Teste de Tukey (<0,05).

Para MOR perpendicular, observou-se equivalência dos valores somente dentro dos painéis testemunha (0 ciclos), com média de 52,74MPa. Já para os demais ciclos, foi verificado diferença estatística entre os diferentes revestimentos, onde os painéis com filme melamínico foram superiores aos demais. Dentro de um mesmo revestimento, houve decréscimo significativo de 10 para 30 ciclos nos painéis testemunha e nos revestidos com filme melamínico, enquanto que os demais, a redução mais expressiva foi em 50 ciclos.

Tabela 4 – Valores médios de módulo de ruptura no sentido perpendicular (MPa).

Trat.	Número de ciclos			
	0	10	30	50
S/r	55,28 Aa _(15,69)	51,89 Aa _(20,55)	45,18 Ab _(11,10)	43,47 Bb _(15,63)
R/o	52,89 Aa _(23,52)	48,40 Ba _(8,44)	47,79 Aa _(18,71)	44,84 Ab _(11,24)
R/rm	50,60 Aa _(14,33)	46,63 Ba _(19,07)	43,36 Ba _(10,54)	39,64 Ab _(17,69)
R/fm	57,58 Aa _(10,92)	55,30 Aa _(14,53)	52,39 Ab _(24,77)	51,37 Ab _(13,30)
R/tf	47,35 Aa _(12,15)	47,09 Ba _(24,68)	43,08 Ba _(15,62)	41,98 Ba _(20,71)
Média	52,74	49,86	46,36	44,26

Legenda: Trat. e T: tratamento; S/r: sem revestimento; R/o: revestimento com óleo; R/rm: resina melamínica; R/fm: filme melamínico; R/tf: tego filme; valores subscritos: coeficiente de variação (%); médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si para revestimento dentro de um mesmo ciclo (intervalo de tempo); médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem entre si para intervalo de tempo, dentro de um mesmo revestimento; ambos pelo Teste de Tukey (<0,05).

Ao se comparar os valores de MOR das Tabelas 3-4 com os parâmetros da Associação Brasileira da Indústria da Madeira Processada Mecanicamente (2002), verifica-se que todos os painéis atenderam aos limites mínimos de 2,73 MPa para o sentido paralelo e de 18,0 MPa para o perpendicular. Este fato, demonstra que, a redução dos valores entre os revestimentos e ao longo dos ciclos da câmara de intemperismo, não afetou o módulo de ruptura a flexão estática ao ponto de inviabilizar a utilização como fôrmas para concreto.

Os painéis testemunha (0 ciclos) apresentaram valores médios de MOR paralelo inferiores aos de Almeida et al. (2013), que encontrou 56,92 MPa para painéis compensados de *Pinus sp.*, também com 18 mm de espessura. No entanto, no sentido perpendicular, os valores foram superiores ao dos autores, que foi de 30,40 MPa. Relacionando outros trabalhos, observa-se superioridade dos valores médios do presente estudo, comparados aos de Bortoletto Júnior & Garcia (2004), que encontrou valores de 40 MPa no sentido paralelo e 36 MPa no perpendicular, aos mencionados no catálogo da Associação Brasileira da Indústria da Madeira Processada Mecanicamente (2002) a partir do estudo com 18 empresas, com 34,7 MPa e 30,0 MPa, aos painéis comerciais estudados por Cunha et al. (2017) com 31,35 MPa e 25,03 MPa, e aos painéis laboratoriais de Cunha & Matos (2010), com 42,68 MPa e 31,04 MPa.

Para módulo de elasticidade (MOE) paralelo, observa-se que entre os revestimentos dentro do mesmo ciclo de tempo, somente os painéis testemunha (0 ciclos) e em 50 ciclos apresentaram diferença significativa, onde na primeira situação, o painel revestido com filme melamínico se mostrou superior, com 7743 MPa de rigidez (Tabela 5). Para 50 ciclos, os painéis com resina melamínica e filme melamínico foram superiores e equivalentes com valores de MOE paralelo de 6443 MPa e 6427 MPa. Outro fator observado foi a redução dos valores médios de MOE paralelo dentro dos revestimentos após a exposição aos ciclos, a qual foi mais expressiva no filme melamínico já com 10 ciclos, seguido do revestimento com óleo em 30 ciclos e do testemunha em 50 ciclos. Nos painéis revestidos com resina melamínica e tego filme, não foram observadas reduções significativas a medida que eram aumentados os tempos de câmara de intemperismo.

Tabela 5 – Valores médios de módulo de elasticidade no sentido paralelo (MPa).

Trat.	Número de ciclos			
	0	10	30	50
S/r	6856 Ba _(11,84)	6781 Aa _(14,35)	6584 Aa _(16,19)	6031 Bb _(22,77)
R/o	6837 Ba _(13,52)	6604 Aa _(22,12)	6297 Ab _(13,50)	6174 Bb _(16,46)
R/rm	6725 Ba _(12,35)	6733 Aa _(13,63)	6599 Aa _(20,25)	6443 Aa _(20,51)
R/fm	7743 Aa _(10,02)	6688 Ab _(22,81)	6713 Ab _(08,25)	6427 Ab _(15,67)
R/tf	6495 Ba _(20,11)	6487Aa _(4,16)	6415 Aa _(17,94)	5998 Ba _(23,91)
Média	6931	6659	6522	6215

Legenda: Trat. e T: tratamento; S/r: sem revestimento; R/o: revestimento com óleo; R/rm: resina melamínica; R/fm: filme melamínico; R/tf: tego filme; valores subscritos: coeficiente de variação (%); médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si para revestimento dentro de um mesmo ciclo (intervalo de tempo); médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem entre si para intervalo de tempo, dentro de um mesmo revestimento; ambos pelo Teste de Tukey (<0,05).

Para MOE perpendicular entre revestimentos dentro de um mesmo ciclo e ao longo dos ciclos dentro de um mesmo revestimento, verificam-se comportamentos semelhantes ao MOE no sentido paralelo (Tabela 6), em que os painéis revestidos com filme melamínico se destacaram como superiores com 5743 MPa nos painéis testemunha, 5090 MPa em 10 ciclos, 4674 MPa em 30 ciclos e 4543 MPa em 50 ciclos.

Tabela 6 - Valores médios de módulo de elasticidade no sentido perpendicular(MPa).

Trat.	Número de ciclos			
	0	10	30	50
S/r	4838 Ba _(08,22)	4460 Aa _(7,26)	4321 Aa _(02,94)	3357 Bb _(16,03)
R/o	4788 Bb _(18,97)	3991 Bb _(18,51)	3854 Bb _(12,71)	3671 Bb _(06,49)
R/rm	4485 Ba _(16,15)	4124 Ba _(16,77)	3867 Ba _(31,71)	3180 Cb _(20,40)
R/fm	5743 Aa _(14,77)	5090 Aa _(16,51)	4674 Ab _(17,32)	4543 Ab _(19,30)
R/tf	4503 Ba _(14,58)	4295 Ba _(18,74)	4147 Aa _(21,60)	3690 Bb _(24,13)
Média	4871	4392	4173	3688

Legenda: Trat. e T: tratamento; S/r: sem revestimento; R/o: revestimento com óleo; R/rm: resina melamínica; R/fm: filme melamínico; R/tf: tego filme; valores subscritos: coeficiente de variação (%); médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si para revestimento dentro de um mesmo ciclo (intervalo de tempo); médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem entre si para intervalo de tempo, dentro de um mesmo revestimento; ambos pelo Teste de Tukey (<0,05).

Assim como para MOR, os resultados de MOE também foram comparados com Associação Brasileira da Indústria da Madeira Processada Mecanicamente (2002), a qual estabelece valores mínimos de rigidez de 5970 MPa para o sentido paralelo e 2807 MPa para perpendicular. Com base nestes parâmetros, observa-se que os painéis de todos os tratamentos, independente do revestimento e no tempo de exposição às condições ambientais adversas, atenderam aos critérios da Associação.

Comparando-se os resultados de módulo de elasticidade a 0 ciclos (testemunha) com outros estudos, observa-se que foram superiores aos de Bortoletto Júnior & Garcia (2004), que ao analisar a flexão estática paralela de painéis compensados de *Pinus* sp. de 18 mm destinados à produção de móveis estofados, encontrou valor médio de 5.932 MPa. No entanto, inferioridade em relação a Almeida et al. (2013), que ao avaliarem o MOE de painéis comerciais de *Pinus* sp. destinados à exportação, encontraram 8.454 MPa.

Para os resultados de cisalhamento na linha de cola, percebe-se entre os revestimentos dentro de cada ciclo equivalência estatística para a testemunha (0 ciclos) com média de 2,00 MPa, para 10 ciclos com 1,94 MPa e para 50 ciclos com 1,73 MPa (Tabela 7). Em contrapartida, dentro de um mesmo revestimento ao longo dos ciclos, observou-se resistência equivalente nos painéis revestidos com resina e filme melamínico até 10 ciclos, e nos painéis testemunha, com óleo e com tego filme até 30 ciclos, sendo que a partir destes, houve uma redução significativa de resistência.

Tabela 7 - Valores médios de cisalhamento na linha de cola (MPa).

Trat.	Número de ciclos			
	0	10	30	50
S/r	1,94 Aa _(09,47)	1,90 Aa _(14,69)	1,88 Aa _(24,77)	1,71 Ab _(18,98)
R/o	2,06 Aa _(15,83)	2,00 Aa _(23,34)	1,98 Aa _(24,37)	1,72 Ab _(22,20)
R/rm	1,99 Aa _(20,93)	1,87Aa _(23,53)	1,75 Bb _(23,98)	1,71 Ab _(09,75)
R/fm	2,10 Aa _(17,11)	2,03Aa _(15,74)	1,83 Ab _(17,98)	1,78 Ab _(16,14)
R/tf	1,93 Aa _(16,24)	1,92Aa _(21,62)	1,75 Ba _(19,26)	1,72 Ab _(15,34)
Média	2,00	1,94	1,84	1,73

Legenda: Trat. e T: tratamento; S/r: sem revestimento; R/o: revestimento com óleo; R/rm: resina melamínica; R/fm: filme melamínico; R/tf: tego filme; valores subscritos: coeficiente de variação (%); médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si para revestimento dentro de um mesmo ciclo (intervalo de tempo); médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem entre si para intervalo de tempo, dentro de um mesmo revestimento; ambos pelo Teste de Tukey (<0,05).

Vale ressaltar que os valores determinados no presente estudo estão dentro do intervalo proposto pelo catálogo técnico da Associação Brasileira da Indústria da Madeira Processada Mecanicamente (2002), o qual apresenta valores de cisalhamento na linha de cola variando de 1,7 a 3,7 MPa.

Ao comparar os resultados obtidos com os dados de Iwakiri et al. (2002), nota-se que os mesmos se aproximam ao mínimo encontrado pelo autor para a espécie *Pinus taeda* L., onde o valor encontrado pelos mesmos variou de 1,88 a 2,81 MPa. Segundinho et al. (2015) ao avaliar o cisalhamento na linha de cola para *Pinus oocarpa*, encontraram média de 2,92 MPa, valor maior que os encontrados na presente pesquisa.

De posse dos resultados encontrados, as empresas do setor de painéis de compensados laminados, produzidos com lâminas de *Pinus* spp. e adesivo a base de resina fenol formaldeído, terão conhecimento sobre a manutenção das propriedades tecnológicas ao longo dos ciclos de uso como fôrma de concreto, bem como da não influência do revestimento aplicado a superfície. No entanto, salienta-se que o revestimento pode influenciar na aderência do painel ao concreto, fator que não foi objeto do estudo.

CONCLUSÃO

Os valores médios, encontrados para as propriedades tecnológicas dos painéis de todos os tratamentos, apesar de apresentarem diferença significativa entre revestimentos e ciclos, atenderam aos parâmetros recomendados pelo catálogo técnico da Associação Brasileira da Indústria da Madeira Processada Mecanicamente (2002) até 50 ciclos, ou seja, a aplicação dos revestimentos não interferiu nas propriedades tecnológicas dos painéis destinados à exportação em termos de densidade, teor de umidade, resistência e rigidez a flexão estática, e resistência ao cisalhamento na linha de cola; nem tão pouco ao longo dos ciclos de uso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akyildiz, M. H., & Ates, S. (2008). Effect of heat treatment on equilibrium moisture content (EMC) of some wood species in Turkey. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 4(6), 660-665.
- Almeida, A. E., & Ferreira, O. P. (2006). Poliuretana derivada de óleos vegetais exposta ao intemperismo artificial. *Polímeros*, 16(3), 252-256. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-14282006000300017>.
- Almeida, T. H., Almeida, D. H., Ferro, F. S., Varanda, L. D., Campos, C. I., Christoforo, A. L., & Lahr, F. A. R. (2013). Avaliação da qualidade na produção industrial de compensados por meio de testes de flexão e de cisalhamento. *Madeira: Arquitetura e Engenharia*, 12(31), 45-50.
- American Society for Testing and Materials – ASTM International. (2006). *ASTM G-154. Standard practice for operating fluorescent light apparatus for uv exposure of nonmetallic materials*. West Conshohocken: ASTM International.
- Associação Brasileira da Indústria da Madeira Processada Mecanicamente – ABIMCI. (2002). *Catálogo técnico de compensados de pinus*. Curitiba: ABIMCI.
- Associação Brasileira da Indústria da Madeira Processada Mecanicamente – ABIMCI. (2009). *Programa Nacional da Qualidade da Madeira: compensados de madeira tropical*. Curitiba: ABIMCI.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. (2009). *NBR 15696. Fôrmas e escoramentos para estruturas de concreto – projeto, dimensionamento e procedimentos executivos*. Rio de Janeiro: ABNT.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. (2011a). *NBR 9484. Compensado – determinação do teor de umidade*. Rio de Janeiro: ABNT.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. (2011b). *NBR 9485. Compensado – determinação da massa específica aparente*. Rio de Janeiro: ABNT.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. (2012a). *NBR 9533. Compensado – determinação da resistência à flexão estática*. Rio de Janeiro: ABNT.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. (2012b). *NBR/ISO 12466-1. Madeira compensada – qualidade de colagem – parte 1: métodos de ensaio*. Rio de Janeiro: ABNT.
- Ayadi, N., Lejeune, F., Charrier, F., Charrier, B., & Merlin, A. (2003). Color stability of heat-treated wood during artificial weathering. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 61(3), 221-226. <http://dx.doi.org/10.1007/s00107-003-0389-2>.

- Boonstra, M. J., Van Acker, J., Tjeerdsma, B. F., & Kegel, E. V. (2007). Strength properties of thermally modified softwoods and its relation to polymeric structural wood constituents. *Annals of Forest Science*, 64(7), 679-690. <http://dx.doi.org/10.1051/forest:2007048>.
- Bortoletto Júnior, G., & Garcia, J. N. (2004). Propriedades de resistência e rigidez à flexão estática de painéis OSB e compensados. *Revista Árvore*, 28(4), 563-570. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622004000400010>.
- Chang, S.-T., Hon, D. N.-S., & Feist, W. C. (1982). Photodegradation and photoprotection os wood surfaces. *Wood and Fiber Science*, 14(2), 104-117.
- Cunha, A. B., & Matos, J. L. M. (2010). Rigidez e resistência de vigas estruturais de madeira laminada colada e com perfil I compostas por diferentes adesivos. *Ciência Florestal*, 20(2), 345-356. <http://dx.doi.org/10.5902/198050981857>.
- Cunha, A. B., Rios, P. D., Stüpp, Â. M., Antunes, R., & Brand, M. A. (2017). Produção de painéis compensados com resina fenólica e melamínica sem formaldeído. *Floresta*, 46(4), 553-560. <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v46i4.41628>.
- Ferle, L. C. (2020). *Avaliação da durabilidade das propriedades mecânicas e reação ao fogo dos painéis de derivados de madeira* (Dissertação de Mestrado). Instituto Politécnico de Bragança, Bragança.
- Gonzalez, J. C., Félix, T. L. F., Gouveia, F. N., Camargos, J. A. A., & Ribeiro, P. G. (2010). Efeito da radiação ultravioleta na cor de madeira de Freijó (*Cordia goeldiana* Huber) após receber produtos de acabamentos. *Ciência Florestal*, 20(4), 657-664. <http://dx.doi.org/10.5902/198050982424>.
- Iwakiri, S., Shimoyama, V. R. S., Pedrosa, A. L., & Anjos, R. A. M. (2002). Efeito do crescimento radial de *Pinus taeda* (L.) nas propriedades do painel compensado. *Floresta e Ambiente*, 9, 90-96.
- Pace, J. H. C., Carvalho, A. M., Nascimento, A. M., Latorraca, J. V. F., & Dias Júnior, A. F. (2018). A ação do intemperismo interfere no acabamento superficial e na coloração da madeira de espécies florestais. *Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 61, 1-7. <http://dx.doi.org/10.22491/rca.2018.2442>.
- Palma, H. A. L., Madruga, M. V., & Ballarin, A. W. (2017, Maio 17-19). Painéis compensados mistos de guapuruvu (*Schizolobium parahyba* (vell.) Sf blake) e *Pinus taeda*. In M. Tortoriello (Ed.), *II Congreso Latinoamericano de Estructuras de Madera/II Congreso Ibero Latinoamericano de la Madera en la Construcción* (pp. 1-8). Junín, Argentina: Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires.
- Segundinho, P. G. A., Calil Neto, C., Gonçalves, F. G., Regazzi, A. J., & Calil Junior, C. (2015). Resistência de linhas de cola para madeiras de reflorestamento. *Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas*, 36(1), 107-116. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0375.2015v36n1p117>.
- Silva, B. C. D., Vieira, M. C., Oliveira, G. D. L., Gonçalves, F. G., Rodrigues, N. D., Lelis, R. C. C., & Iwakiri, S. (2012). Qualidade de compensados fabricados com adesivos à base de tanino-formaldeído de *Pinus oocarpa* e fenol-formaldeído. *Floresta e Ambiente*, 19(4), 511-519. <http://dx.doi.org/10.4322/loram.2012.057>.
- Souza, C. S. M., Barata, T. Q. F. (2011). *Materiais derivados da madeira* (pp. 37). Departamento de Tecnologia e Arquitetura, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Apostila da Disciplina, Materiais e Processos de Produção I.
- Yildiz, S., Tomak, E. D., Yildiz, U. C., & Ustaomer, D. (2013). Effect of artificial weathering on the properties of heat treated wood. *Polymer Degradation and Stability*, 98(8), 1419-1427. <http://dx.doi.org/10.1016/j.polymdgradstab.2013.05.004>.

Contribuição dos Autores: SCK: conceituação, análise formal, investigação, metodologia, administração do projeto, escrita – primeira redação; ABC: conceituação, metodologia, recursos, supervisão, validação, escrita – primeira redação, escrita – revisão e edição; MAB: conceituação, metodologia, administração do projeto, escrita – primeira redação.