

Propriedades físico-mecânicas de painéis de compensado de *Pinus* sp. com diferentes densidades e sítios de origem

Carolina Bonk (Universidade Tecnológica Federal do Paraná) carol_bonk@hotmail.com
Gian Ricardo de C. Quadros (Universidade Tecnológica Federal do Paraná) xam.quadros@gmail.com
Eleandro José Brun (Universidade Tecnológica Federal do Paraná) eleandrobrun.utfpr@gmail.com

Resumo:

O presente trabalho teve o objetivo de avaliar as propriedades físicas e mecânicas de painéis de compensado confeccionados com lâminas de *Pinus* sp., provenientes de dois sítios distintos, dos municípios de General Carneiro e Cruz Machado, ambos do estado do Paraná, renomeados respectivamente como sítio A e sítio B. Foram confeccionados painéis de compensado de 7 lâminas com espessura final de 12 mm. Realizou-se o corte de amostras em 5 painéis de cada sítio, corpos de prova de 290 mm de comprimento por 50 mm de largura para os ensaios de flexão estática. Foram analisadas as propriedades de flexão estática no sentido longitudinal, transversal e a densidade, atendendo a descrição das normas NBR 9533 e NBR 9485. Os valores médios obtidos do sítio A para o módulo de elasticidade no sentido longitudinal e transversal foram respectivamente 7364,71 MPa e 1240,6 MPa, no sítio B, 8283,17 MPa e 3598,46 MPa. A densidade apresentou uma média de 637,77 kg/m³ para sítio A, e 738,66 kg/m³ para o sítio B. A densidade dos painéis de compensado demonstrou ter uma relação direta com as propriedades mecânicas da madeira, quanto maior a densidade, maiores os resultados de flexão estática. A ocorrência de associação entre propriedades físicas e mecânicas relativamente baixas, pode influenciar na falta de durabilidade, ausência de resistência em suportar determinadas cargas, e consequentemente irá restringir as possibilidades comerciais deste produto, para usos como a construção habitacional, pisos, plataformas de trabalhos suspensos, transporte de cargas e pessoas, arquibancadas, entre outros.

Palavras chave: Florestas plantadas, indústria florestal, flexão estática.

Physical and mechanical properties of plywood panels of *Pinus* sp. with different densities and sites of origin

Abstract

The present work had the objective of evaluating the physical and mechanical properties of plywood panels made with *Pinus* sp., lamina, from two distinct sites in the counties of General Carneiro and Cruz Machado, both in the Paraná State, respectively renamed as site A and site B. Panels of 7-ply plywood with final thickness of 12 mm were made. Samples were cut into five panels at each site, test specimens 290 mm long by 50 mm wide for the static bending tests. The properties of static bending in the longitudinal, transverse and density directions were analyzed, according to the description of standards NBR 9533 and NBR 9485. The mean values obtained from site A for the modulus of elasticity in the longitudinal and transverse directions were respectively 7364.71 MPa and 1240.6 MPa at site B 8283.17 MPa and 3598.46 MPa. The density had a mean of 637.77 kg / m³ for site A, and 738.66 kg / m³ for site B. The density of the plywood panels shown to have a direct relation with the mechanical properties of the wood, the higher the density, the greater the results of static bending. When there is an association of relatively low physical and mechanical properties, it can influence the lack of durability, lack of resistance to bear certain loads, and consequently will restrict the commercial possibilities of this

product for uses such as housing construction, floors, and platforms suspended work, transportation of cargo and people, bleachers among others.

Key-words: Planted forests, Forest industry, Static bending.

1. Introdução

O Brasil possui grandes áreas de floresta plantada dos gêneros Pinus e Eucalyptus, sendo usada como matéria prima para indústria moveleira, construção civil, lenha, carvão, papel e celulose, entre outros, como também parte dessa matéria prima é destinada para as indústrias de compensados, que normalmente utilizam o pinus e o eucalipto em virtude de seu rápido crescimento e pelas suas características físicas e mecânicas virem ao encontro da demanda. (IWAKIRI et al., 2000). A indústria de compensados brasileira exportou maior volume nos últimos 10 anos, de acordo com a Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente (2018), o volume exportado em 2016 atingiu 1.730,467 m³ com 16,2% de aumento em relação ao volume embarcado em 2015.

De acordo com Vieira (2012), a demanda por painéis a base de madeira vem se tornando cada vez mais representativa, comparada a madeira serrada, em virtude da escassez de toras com grandes diâmetros, a aceitação dos consumidores em substituir a madeira serrada pelos painéis a base de madeira, por questões ambientais e também pode ser associada com a tecnologia empregada nas indústrias, ou seja, é possível produzir painéis à base de madeira mais baratos e assim a indústria se torna mais competitiva.

Segundo Lobão (2004), a densidade básica é um dos fatores que influenciam as propriedades mecânicas da madeira. Por esta razão, pesquisas são realizadas para identificar essas relações. Assim, comparações com madeiras mais e menos densas e as suas propriedades mecânicas são relacionadas e evidenciam uma forte relação. Iwankiri (2012) classifica madeiras com alta densidade como um diferencial para indústria de compensado, pois favorecem a confecção de painéis estruturais, os quais exigem uma resistência mecânica superior.

Para Latorraca (2000), as práticas silviculturais aplicadas aos plantios florestais são um dos fatores que contribuem para acelerar o crescimento das árvores, onde se pode observar florestas com árvores em dimensões ideais para colheita, assim como, em determinadas situações, árvores ainda em processo de desenvolvimento, onde ainda está ocorrendo a estruturação anatômica destes troncos. Tais situações podem influenciar na quantidade de lenho inicial e tardio e, quando se considera uma quantidade superior de lenho inicial, este será um fator que indicará uma densidade básica baixa, o que indica, dependendo da aplicabilidade de usos desta madeira, uma associação direta com falhas e defeitos de qualidade no produto final. Atualmente nosso mercado está vasto de oferta de produtos, e o consumidor está cada vez mais exigente em relação a qualidade destes itens, sendo assim é uma necessidade para indústria oferecer um produto bom, que atenda essas exigências, por esta razão, também é essencial para indústria identificar e tomar medidas aos fatores que possam causar interferências no produto final.

De acordo com Rigatto et al (2004) níveis de produtividade em florestas são identificados em condições edáficas distintas, este aspecto, envolvendo os atributos físicos e químicos do solo, podem influenciar no crescimento das árvores e consequentemente na qualidade da madeira.

O presente trabalho teve o objetivo de analisar as propriedades físicas e mecânicas de painéis de compensado, confeccionados com matéria-prima, provenientes de dois sítios distintos, e mostrar a influência da densidade sobre os resultados do módulo de elasticidade no sentido perpendicular e paralelo.

2. Materiais e métodos

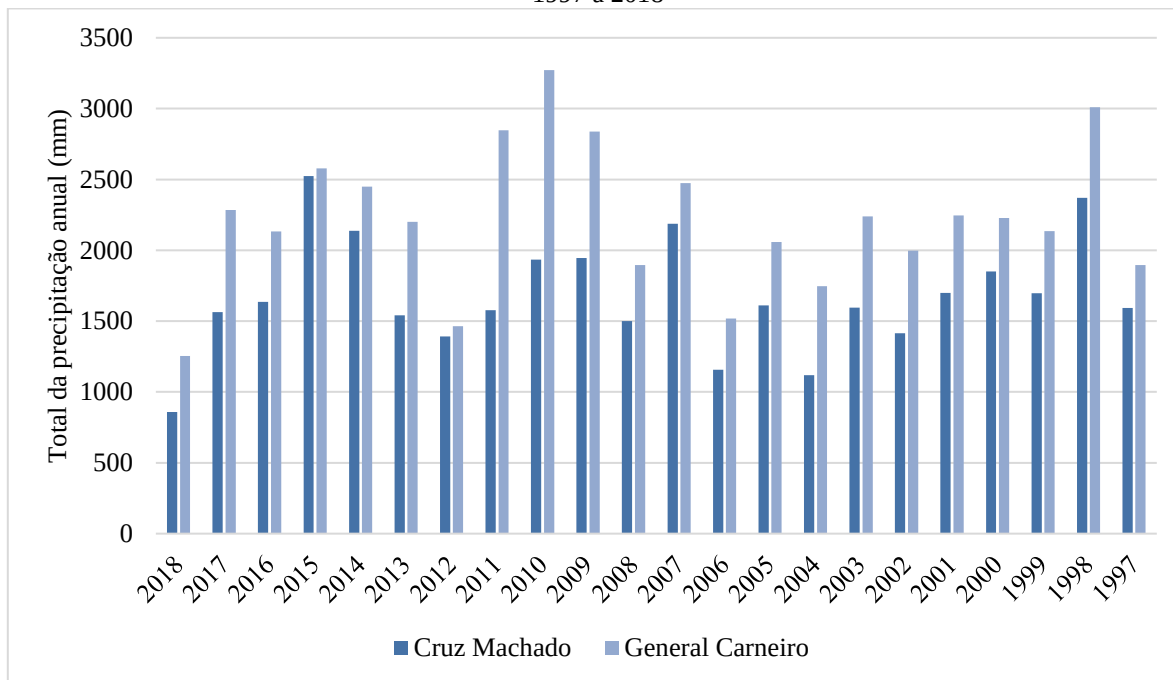
A matéria prima utilizada para o estudo foram lâminas, proveniente de toras de *Pinus* sp. com diâmetro superior a 35 cm, com aproximadamente 24 anos, de dois sítios distintos: sítio A localizado em General Carneiro/PR, a uma latitude 26°25'39"Sul e uma longitude 51°18'56" Oeste e altitude de 983 metros. Para Caldeira (2003) o relevo de General Carneiro apresenta 20% de topografia plana, 65% de topografia ondulada e 15% da topografia montanhosa. O autor também define como predominantes os solos Neossolos Líticos, Cambissolos e Argissolos com textura argilosa.

De acordo com IAPAR (2018) a temperatura média do município é entre 16 e 17°C, a média anual da umidade relativa do ar é de 70 a 75%, e a tendência de velocidade dos ventos é considerada fraca/moderada.

O sítio B está situado em Cruz Machado/PR, a uma latitude 26°01'01" Sul e longitude 51°20'49" Oeste, em altitude de 950 m. Para Plewka et al. (2009), o solo do município é classificado como Nitossolo (antiga Terra Bruna Estruturada). De acordo com IAPAR (2018), a média anual da umidade relativa do ar é de 70 a 75%, a temperatura média do município está entre 17 e 18°C e a tendência de velocidade dos ventos é considerada fraca/moderada. Através do monitoramento hidrológico de Bacias, dos postos hidrométricos localizados em Jangada do Sul, pertencente a General Carneiro e no posto em Palmital do Meio pertencente a Cruz Machado/PR, realizado pela COPEL (2018), foi possível analisar os dados de precipitação dos últimos 22 anos, do período de Janeiro de 1997 à Setembro de 2018 de cada município. Na Figura 1, é possível observar graficamente os dados de precipitação.

Conforme é possível observar, em General Carneiro a precipitação acumulada é sempre maior do que em Cruz Machado (2009 a 2011 por exemplo). Em alguns anos muito semelhante (2015, por exemplo), mas em nenhum ano a precipitação de Cruz Machado foi maior do que em General Carneiro, levando a acreditar que esse comportamento seja realmente um padrão a ser considerado. Este fato pode influenciar de forma significativa no crescimento e na qualidade da madeira, pois em locais com maiores taxas de crescimento (maior precipitação), a maior proporção de, por exemplo, lenho primaveril em relação ao lenho outonal, pode significar a produção de madeira menos densa e, portanto, menos resistente, quando se trata de características físico-mecânicas da mesma.

Figura 1 – Precipitação total anual (mm) dos municípios de Cruz Machado e General Carneiro entre o período de 1997 a 2018

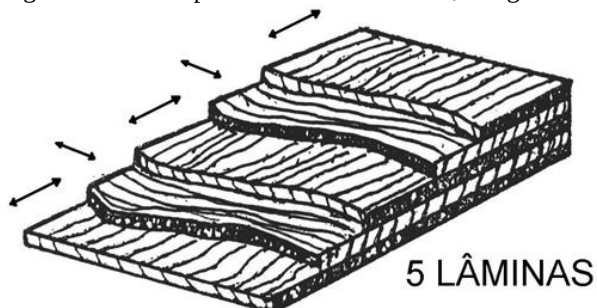


Fonte: Autoria própria

2.1 Processo de produção dos painéis de compensado

As toras foram cozidas por, no mínimo, 12 horas e posteriormente encaminhadas para um torno e assim obtidas lâminas de 2.0 mm de espessura, através do processo de “desfolhamento” da tora. Em sequência, as lâminas passaram pelo processo de secagem, atingindo um teor de umidade inferior a 6%. Para montagem e colagem dos compensados, foram confeccionados 5 painéis, cada um composto por 7 lâminas, foi considerado uma perda de 7% após a prensagem, com espessura final de 12 mm, dimensões comerciais de 2,44 m de comprimento e 1,22 m de largura. As montagens dos painéis de compensado foram realizadas com lâminas aleatórias de cada reflorestamento, identificados os pacotes de laminas como A e B. A montagem foi realizada com números ímpares de lâminas, uma lâmina sobre a outra e cada uma em um sentido, com a direção do grã perpendicular entre as camadas adjacentes (Figura 2).

Figura 2 - Ilustração da montagem de um compensado com 5 camadas, imagem meramente ilustrativa



Fonte: Setsuo Iwakiri

Em relação a montagem dos painéis e o sentido das lâminas na sua composição, a capa apresentou sentido longitudinal, a segunda lâmina transversal, a terceira longitudinal, a quarta transversal, a quinta longitudinal, a sexta transversal e a sétima longitudinal (contra capa), apresentando um total de 4 lâminas no sentido longitudinal e 3 lâminas no sentido transversal ou seja, perpendicular a grã.

As lâminas foram passadas em uma passadeira de cola utilizando adesivo a base de resina fenol formaldeído, contendo 100 kg, 25 kg de água e 25 kg de trigo. A gramatura do adesivo foi de 320 g/m² por face dupla de lâmina. A umidade das lâminas esteve entre 2% e 5%. Posteriormente, os fardos, após a montagem, foram pré prensados a frio para ocorrer a tranferencia da cola com as lâminas secas e assim permaneceram em assemblagem por 40 minutos, posteriormente prensados com temperatura de 135°C com pressão de 12 kgf/cm² e com tempo de permanência na prensa de 1 minuto por milímetro de espessura mais 1.

2.2 Determinação das propriedades físicas e mecânicas

Os ensaios foram realizados para avaliar as propriedades físicas de densidade aparente e mecânicos de flexão estática no sentido longitudinal e transversal, atendendo as normas NBR 9533 e NBR 9485. Foram confeccionados corpos de prova para os testes de flexão estática com posição de corte paralelo a grã e perpendicular a grã. Este ensaio consiste na aplicação de uma determinada força a uma amostra que repousa entre um vão (Figura 3).

Figura 3-Teste de flexão estática em amostra de compensado



Fonte: Somapar

Portanto, foram confeccionadas 40 corpos de prova para testes no sentido paralelo a grã e 40 corpos de prova para testes no sentido perpendicular, para os ensaios mecânicos. Estes corpos de prova foram confeccionados de painéis produzidos com madeira dos dois distintos sítios, ambos com dimensões de 290 mm de comprimento, 50 mm de largura e espessura de 12 mm, totalizando 160 corpos de prova (amostras). Dos mesmos 5 painéis, também foram confeccionadas um total de 40 corpos de prova de 50 mm de largura, 50 mm de comprimento e 12 mm de espessura, para os ensaios de densidade aparente.

Os ensaios foram realizados em uma máquina universal de ensaios EMIC DL 30000 em laboratório de uma empresa da cidade de União da Vitória-PR. Para análise dos dados, os mesmos foram tabulados e analisados por tabelas e gráficos utilizando a ferramenta MS-Excel, com a apresentação de valores máximos, mínimos e médios, assim como o desvio padrão e coeficiente de variação dos valores.

3. Resultados e Discussões

Na tabela 1 são apresentados os resultados quanto ao módulo de elasticidade no sentido longitudinal, transversal e da densidade aparente do sítio A. Na tabela 2 são apresentados os mesmos resultados para o sítio B.

Medida descritiva	Longitudinal	Transversal	Densidade Aparente
Média	7364,71 MPa	1240,6 MPa	637,77 kg/m ³
Mínimo	5563,61 MPa	985,3 MPa	601,43 kg/m ³
Máximo	8316,74 MPa	1515,9 MPa	678,10 kg/m ³
Desvio padrão	536,4	406,77	17,18
CV (%)	0,07%	0,09%	0,03%

Fonte: Autoria própria

Tabela 1 - Valores médios do módulo de elasticidade no sentido longitudinal, transversal e densidade aparente do sítio A (General Carneiro)

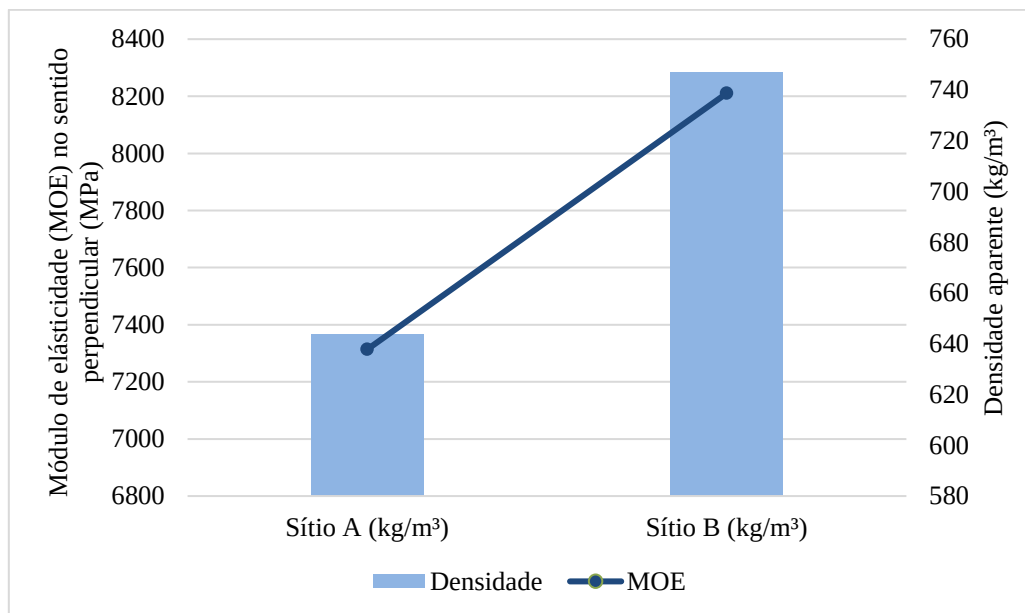
Medida descritiva	Longitudinal	Transversal	Densidade Aparente
Média	8283,17 MPa	3598,45 MPa	738,66 kg/m ³
Mínimo	6664,74 MPa	2593,89 Mpa	691,32 kg/m
Máximo	11833,61 MPa	5233,83 Mpa	793,67 kg/m ³
Desvio padrão	1388,12	642,26	22,52
CV (%)	0,16 %	0,178 %	0,030 %

Fonte: Autoria própria

Tabela 2 - Valores médios do módulo de elasticidade no sentido longitudinal, transversal e densidade aparente do sítio B (Cruz Machado)

Os resultados da média das amostras no ensaio de flexão estática no sentido longitudinal foi maior no sítio B (8283,17 MPa) em comparação aos resultados do sítio A (7364,71 MPa). Para os testes no sentido transversal ou perpendicular a grã, os resultados da média do sítio B (3598,45 MPa) também foram superiores ao sítio A (1240,6 MPa). Na Figura 4 estão apresentados, graficamente, os valores médios do módulo de elasticidade no sentido longitudinal (paralelo a grã) em relação a densidade e na figura 5 estão apresentados, graficamente, os valores médios do módulo de elasticidade no sentido perpendicular.

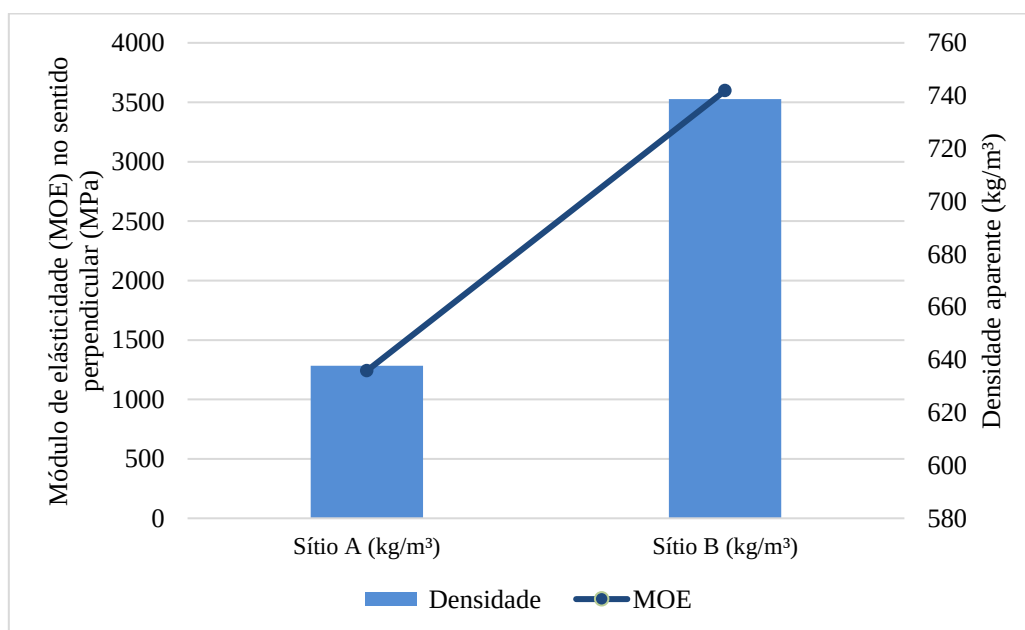
Figura 4- Ilustração gráfica da relação da densidade dos sítios com o módulo de elasticidade no sentido paralelo



Fonte: Autoria própria

Nos ensaios de flexão estática, a média do módulo de elasticidade dos painéis no sentido paralelo do sítio A ficou 11,08% abaixo da média dos resultados do módulo de elasticidade dos painéis do sítio B. Na média dos resultados do módulo de elasticidade no sentido perpendicular do sítio A, evidenciou-se novamente esta relação, a média dos resultados do módulo de elasticidade no sentido perpendicular ficou 65,52% abaixo da média dos resultados do sítio B.

Figura 5- Ilustração gráfica da relação da densidade dos sítios, com o módulo de elasticidade no sentido perpendicular



Fonte: Autoria própria

O sítio A apresentou uma média de densidade de $637,77 \text{ kg/m}^3$, sendo um valor médio inferior, em comparação à média dos resultados das amostras do sítio B, com $738,66 \text{ kg/m}^3$.

Pode-se analisar que o sítio A, com madeira de menor densidade, atingiu, em todos os resultados, menor resistência mecânica, em comparação com os painéis do sítio B, com maior densidade. Estes resultados são corroborados pelo trabalho de Lobão (2004), que evidencia a forte relação entre as propriedades mecânicas e a densidade, com resultados inferiores para ensaios mecânicos com material de densidade classificada como baixa e resultados superiores para materiais com densidades mais altas.

Comparando-se os sítios de coleta das amostras, ocorreu uma diferença na média dos resultados da densidade, com o sítio A apresentando densidade menor em relação ao sítio B. Segundo Latorraca (2000), a densidade da madeira pode ser alterada em virtude da influência do ambiente em que ela se desenvolve, tais como a fertilidade do solo e fertilização do plantio, a ocorrências chuvas, as intervenções silviculturais, entre outros fatores ambientais, os quais podem propiciar condições de crescimento mais rápido das árvores, consequentemente favorecendo uma formação de uma maior proporção de lenho inicial, proporcionando, segundo Kellison (1981), uma menor densidade, considerando que maiores valores de densidade são encontradas no lenho tardio, oposto ao lenho inicial.

Para Oliveira et al. (2011) em sua análise da correlação entre a precipitação e incremento anual em diâmetro, com *Eucalyptus grandis* Hill, os autores puderam observar uma correlação positiva, indicando que, quando um ano apresentar maior volumes de chuvas, possivelmente o crescimento dessas árvores será favorecido. Os valores do módulo de elasticidade no sentido perpendicular e paralelo obtidos do sítio B foram superiores aos valores médios referenciados no Catálogo Técnico da ABIMCI (2002) de $2838,9 \text{ MPa}$ e $6899,0 \text{ MPa}$ em painéis comerciais estruturais de pinus fabricados no Brasil.

Quando houver a associação de propriedades físicas e mecânicas relativamente baixas nos painéis de compensados, pode acarretar influências em relação a falta de durabilidade, ausência de resistência em suportar determinadas cargas e consequentemente irá restringir as possibilidades comerciais deste produto, para usos como a construção habitacional, utilizado em coberturas, divisórias, pisos, em plataformas de trabalhos suspensos, transporte de cargas e pessoas, arquibancadas entre outros.

No processo de fabricação de painéis de compensado, em termos de uma matéria-prima com baixa densidade atrelada a porosidade dessa madeira, pode influenciar no processo de colagem desses painéis, a cola penetra de forma mais intensa, propiciando uma interferência na ancoragem entre uma lâmina e outra, e assim comprometendo a resistência e a durabilidade, principalmente quando se trata de usos externos, pois ficam expostos a intempéries.

Outro fator importante a se considerar são as lâminas da superfície dos painéis de compensando (capa e contra capa), estas precisam apresentar uma densidade adequada, pois é nesta superfície, ocorrem as condições de carga e descarga, circulação de equipamentos, máquinas, pessoas, portando o desgaste é maior pois ocorrem fricções, raspagem, atrito.

4. Conclusões

A densidade dos painéis de compensado demonstraram ter uma relação direta com as propriedades mecânicas da madeira, pois quanto maior a densidade, maiores os resultados apresentados de flexão estática.

As propriedades físicas e mecânicas dos painéis produzidos com madeira do sítio B apresentaram resultados satisfatórios, estando os mesmos em níveis superiores aos valores referenciados para painéis comerciais estruturais de pinus fabricados no Brasil.

A precipitação acumulada foi maior no sítio A em relação ao sítio B, este fato pode influenciar de forma significativa no crescimento e na qualidade da madeira, pois em locais com maiores taxas de crescimento (maior precipitação), a maior proporção de, por exemplo, lenho inicial em relação ao lenho tardio, pode significar a produção de madeira menos densa, conforme apresentado no sítio A um valor médio de densidade inferior em relação ao sítio B.

5. Bibliografia

ABIMCI. Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente. *Indústria de madeira exportou volume maior, mas faturou menos*. São Paulo, 2018.

ABIMCI. Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente. *Compensado de Pinus*. Curitiba: 2002. 20p. (Catálogo Técnico, 1).

CALDEIRA, M,V,W. *Determinação de biomassa e nutrientes em uma floresta ombrófila mista montana em General Carneiro, Paraná*. 194 f. (Tese - Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba 2003.

COPEL. *Monitoramento hidrológico: Posto de Palmital do Meio e Jangada do Sul*. 2018. Disponível em: <<https://www.copel.com/mhbweb/paginas/bacia-iguacu.jsf>>. Acesso em: 28 set. 2018.

IAPAR. Instituto Agrônomo do Paraná. *Cartas Climáticas do Paraná*. 2000. Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=595>>. Acesso em: 27 set. 2018.

IWANKIRI, S.; OLANDOSKI,D,P.; LEONHARDT,G.; ET AL. *Produção de chapas de madeira compensado de cinco espécies de pinus tropicais*.Revista Ciência Florestal. Vol. 11, n. 2, p. 71-77, 2001.

IWANKIRI, S.; NETO, A,R.; ALMEIDA, B,C.; ET AL. *Avaliação da qualidade do compensado fenólico de Eucalyptus grandis*.Revista Ciência Florestal. Vol. 16, n. 4, p. 437-443, 2006.

IWAKIRI, S.; MATOS, J,L,M.; FERREIRA, E,S ET AL. *Produção de painéis de compensado estruturais com diferentes composições de lâminas de Eucalyptus saligna e Pinus caribaea*. Revista Árvore. Vol. 36, n. 3, p.569-576, 2012.

KELLISON, R.C. *Characteristics affecting quality of timber from plantations, their determination and scope for modification*. 170 IUFRO World Congress. Japão, pag. 77 - 87, 1981.

LATORRACA, J,F,F.; ALBUQUERQUE C,E,C. *Efeito do rápido crescimento sobre as propriedades da madeira*. Revista Floresta e Ambiente. Vol. 7, n. 1, p. 279-291, 2000.

LOBÃO, M,S.; LUCIA, R,M,D.; MOREIRA, M,S,S.; ET AL. *Caracterização das propriedades físico-mecânicas da madeira de eucalipto com diferentes densidades*. Revista Árvore. Vol. 28, n. 6, p. 889-894, 2004.

OLIVEIRA, B,R,U.; LATORRACA, J,V,F.; FILHO, M,T.; ET AL. *Correlações dendroclimatológicas do Eucalyptus grandis Hill ex Maiden NA região de rio claro, RJ*. Revista Florestal. Vol. 21, n. 3, p. 499-508, 2011.

PRATA, J.G. *Desempenho de um sistema de qualidade em uma fábrica de painéis compensados*. 106 f. (Dissertação – Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

PLEWCA, R,G.; ZAMULAK, J,R.; VENANCIO, J,A.; ET AL. *Avaliação do uso do pó de basalto na produção de feijão*.Revista Brasileira de Agroecologia. Vol. 4, n. 2, p. 4397- 4400, 2009.

RIGOTTO, P,A.; DEDECEK R,A.; MATOS, J,LM. *Influência dos atributos do solo sobre a qualidade da madeira de pinus taeda para produção de celulose kraft*. Revista Árvore. Vol. 28, n. 2, p. 267-273, 2004.

VIEIRA, M,C.; BRITO,E,O.; GONÇALVES, F,G. *Evolução econômica do painel de compensado no Brasil e no mundo*. Revista Floresta e Ambiente. Vol. 19, n. 3, p. 277-285, 2012.