



## INFLUÊNCIA DA PROPORÇÃO DE POLIESTIRENO EXPANDIDO NA CAMADA INTERNA DE PAINÉIS DE *Pinus* sp.

## INFLUENCE OF EXPANDED POLYSTYRENE PROPORTION ON THE CORE LAYER OF *Pinus* sp. PARTICLEBOARDS

Kitai, Susan <sup>(1)\*</sup>; Pizza, João <sup>(2)</sup>; Moraes, César <sup>(3)</sup>; Bertolini, Marília<sup>(4)</sup>

<sup>(1)</sup> Título profesional y/o académico. Institución o empresa. Ciudad, País

<sup>(2)</sup> Arq. Facultad XXX, Universidad XXX. Montevideo, Uruguay

<sup>(3)</sup> Dr. Ing. Civil. Departamento XXX, Laboratorio XXX. Montevideo, Uruguay

\* Contacto: [aki.kitai26@gmail.com](mailto:aki.kitai26@gmail.com)

CÓDIGO: 4619825

### Resumen

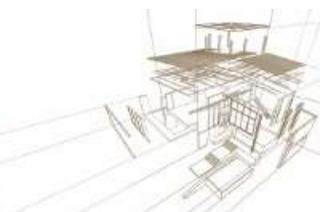
Poliestireno expandido (EPS) es un material inerte, aislante térmico y de baja absorción de agua. A pesar de la versatilidad, genera preocupación después de su consumo. El empleo de este material en tableros de particulados tiene un uso prometedor. El objetivo de este trabajo fue la producción y caracterización de paneles con residuos de *Pinus* sp., adhesivo bicomponente a base de ricino y EPS usado. Se produjeron tableros con capa interna compuesta de la mezcla de partículas de madera y EPS (en proporciones de 0, 15 y 30%), y las capas exteriores de partículas de madera. La determinación de las propiedades mecánicas de los tableros se realizó siguiendo la norma NBR 14810: 2018. El desempeño de los tableros en la flexión estática, muestras con 15% de EPS (densidad 807,92 kg / m<sup>3</sup>) resultaron en MOE de 2073 MPa, MOR de 13,76 MPa y resistencia a la adherencia interna de 0,26 MPa. Los tableros con 30% de EPS (densidad 757,98 kg / m<sup>3</sup>) presentaron los valores para las propiedades citadas de: 2113 MPa; 13,51 MPa y 0,20 MPa; respectivamente. La proporción de EPS en los tableros no afectó las propiedades de MOE y MOR, hecho observado por la diferencia estadística entre las medias. Los resultados de adherencia interna en los tableros con EPS presentaron valores inferiores a los requisitos de la norma. Se comprobó con el desarrollo del trabajo la viabilidad de producción de tableros particulados con residuos de EPS, siendo posible su utilización en aplicaciones como en la construcción civil.

*Palabras-clave: EPS, tableros de partículas, madera.*

### Abstract

Expanded polystyrene (EPS) is an inert material, with thermal insulation and low water absorption. Despite the versatility, it generates concern after consumption. The use of this material in particleboards has a promising use. The objective of this work was the production and characterization of panels with wastes from *Pinus* sp. and EPS post-consumer and bicomponent adhesive based on castor oil. Panels were produced with internal layers composed of the mixture of wood particles and EPS (in proportions of 0, 15 and 30%) and superficial layers only of wood particles. Mechanical properties of the panels were performed according to NBR 14810: 2018. For static bending, samples with 15% EPS (density 807.92 kg / m<sup>3</sup>) resulted in MOE of 2073 MPa, MOR of 13.76 MPa and internal bond of 0.26 MPa. Panels with 30% EPS (density 757.98 kg / m<sup>3</sup>) presented values for the mentioned properties of: 2113 MPa; 13.51 MPa and 0.20 MPa; respectively. The proportion of EPS in the boards did not affect the properties of MOE and MOR, a fact confirmed by the statistical difference between the means. Results of internal bond in the boards with EPS presented lower values than the requirements of the standard. It was observed with the development of the work the feasibility of producing particulate panels with EPS residues, being possible its use in applications such as civil construction.

*Keywords: EPS, particleboards, wood.*



## 1. INTRODUCCIÓN

La preservación del medio ambiente promueve varias discusiones hoy en día, teniendo en cuenta los problemas ambientales relacionados con la contaminación, la generación de residuos sólidos y la escasez de materia prima en la naturaleza, debido no solo a los procesos productivos, sino también al consumismo desenfrenado de la sociedad. capitalista La gran cantidad de desechos sólidos que ha generado la humanidad llama la atención sobre el problema asociado con su eliminación, desafiando a los investigadores y las empresas a buscar soluciones efectivas. La eliminación de productos derivados del petróleo en vertederos o su incineración son métodos de bajo costo, como la eliminación posterior al consumo, pero generan un grave problema ambiental (Kreutz 2019).

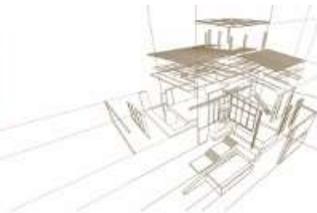
El concepto de paneles de aglomerado es, según Iwakiri (2005), un panel hecho de partículas de madera, con la incorporación de un adhesivo y reconstituido en una matriz aleatoria, consolidada aplicando presión y calor a la prensa caliente. Este principio de fabricación le da al producto una serie de ventajas sobre la madera contrachapada y la madera, tales como: eliminación de la anisotropía de la madera; eliminación de factores reductores de resistencia como nudos, madera juvenil y adulta, entre otros; posibilidad de adecuación de las propiedades físico-mecánicas mediante el control de los parámetros del proceso; menores requerimientos de materia prima de madera; reducción del costo de producción en madera y calidad laboral.

Los compuestos forman una clase de materiales heterogéneos, que consta de dos o más materiales que difieren en propiedades físicas y químicas entre sí. Para crear un nuevo material, los materiales compuestos son adecuados para diversas situaciones de uso. Es una matriz (aglutinante) que proporciona forma estructural al material y transfiere tensiones al material de refuerzo. La matriz puede consistir en material metálico, cerámico o polimérico. El uso de fibras naturales como material de refuerzo en materiales compuestos mejora el rendimiento de los polímeros en aplicaciones tecnológicas, además de su bajo costo, alta disponibilidad y biodegradabilidad (Kreutz 2019).

El EPS (poliestireno expandido) es un producto sintético derivado del petróleo. El material en cuestión es un polímero muy ligero, que consume poca energía y genera muy pocos desechos sólidos o líquidos en su proceso de fabricación (Jesus 2014). Descubierta en Alemania en 1949 en el laboratorio de BASF, el EPS está compuesto de 2% de poliestireno y 98% de aire, siendo un plástico celular rígido formado por polimerización de estireno en agua (Moncada et al.2019). El EPS es químicamente inerte, no biodegradable, no se desintegra y no contiene gas. Por lo tanto, no contamina químicamente el suelo, el agua o el aire, sin embargo, es un problema ambiental si no se recicla porque ocupa un gran espacio debido a su baja densidad que causa problemas en los vertederos (Lima et al.2019).

Según el Informe de tasa de reciclaje de EPS, en 2016, se reciclaron más de 53,000 toneladas de EPS en los Estados Unidos, de las cuales 28,000 toneladas provienen de envases postconsumo y 25,000 toneladas de recuperación posindustrial que incluyen envases no desechables. usados y embalajes usados y desechados por industrias (EPS Industry Alliance 2016).

El objetivo de este estudio es evaluar la influencia de la proporción de EPS en la capa central de *Pinus* sp. y resina de poliuretano bicomponente de aceite de ricino en propiedades mecánicas. Además, el estudio de la viabilidad del uso de residuos industriales y postconsumo, así como el uso de un adhesivo parcialmente derivado de fuentes renovables, también contribuyen a la producción de productos con bajo impacto ambiental.



## 2. METODOLOGÍA

### 2.1. Producción de paneles

Para la producción de los paneles se utilizaron los siguientes materiales: *Pinus* sp. relaves de EPS postconsumo y adhesivo bicomponente de poliuretano a base de ruedas. La madera se obtuvo de los residuos del procesamiento primario de madera en equipos de UNESP - Campus de Itapeva Aserradero y Laboratorio de Procesamiento. Los desechos de madera se procesaron para obtener material particulado utilizando el molino de cuchillas Marconi MA680 en el Laboratorio de Propiedades de Materiales. Para la clasificación de partículas se usó un tamiz de apertura de 3 mm en el molino de cuchillas usando el material pasante.

El EPS postconsumo se obtuvo de empresas que recolectan el material en los puntos de reciclaje y lo procesan para su uso en rellenos de muebles tapizados. Para la fabricación de los paneles se realizó un reprocesamiento en gránulos más pequeños de los mismos utilizados en una trituradora.

En la producción de los paneles, el adhesivo utilizado fue la resina de poliuretano a base de aceite de ricino de dos componentes, siendo el componente A polioli, derivado del aceite de ricino y densidad  $1.2 \text{ g/cm}^3$  y el componente B, isocianato polifuncional, densidad  $1,24 \text{ g/cm}^3$ . Se usó la proporción 1: 1 de los componentes A y B y la cantidad de adhesivo se basó en  $15\% + 3\%$  del peso de las partículas de madera por panel, ya que las pérdidas se consideraron durante el proceso de producción.

Se produjeron un total de 6 paneles (2 paneles por tratamiento) con 3 capas, totalizando 3 tipos de tratamiento, que difieren en términos de proporciones de EPS (control - 0%, 15% y 30%) dispuestos en la capa interna agregada 1/3. partículas de madera totales como se muestra en la Figura 1.

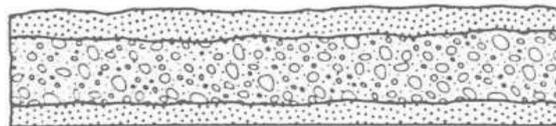


Figura 1: Representación del tablero de partículas multicapa. Fuente: Iwakiri (2005)

Inicialmente, se pesaron las partículas de madera, el EPS y los componentes adhesivos A y B, considerando una densidad nominal de  $0,60 \text{ g/cm}^3$  como base de la cantidad establecida para los paneles de cada tratamiento. Las partículas de madera y el adhesivo se homogeneizaron manualmente. En los paneles se mezclaron EPS y madera en la capa central, se añadió EPS a la mezcla después de homogeneización madera + adhesivo.

Se usó un molde de  $420 \times 420 \text{ mm}$  en una placa de metal. Luego, se realizó un prensado inicial en una prensa mecánica Ribeiro, con 5 toneladas de carga durante 5 minutos, para acomodar las partículas y la formación del colchón.

Para el prensado en caliente final, se utilizaron limitadores de espesor de 13 mm. El proceso de prensado final se realizó en la prensa hidráulica Hidhal-Mac, modelo PHH 80t. Los parámetros de prensa utilizados fueron: temperatura de  $85 \text{ }^\circ\text{C}$ , presión de 4 MPa y 2 ciclos de 6 minutos intercalados con un alivio de presión. Después de presionar, los paneles se almacenaron para un curado completo durante un período de 72 horas. Posteriormente, los paneles se cuadraron y las dimensiones finales fueron  $400 \times 400 \times 13 \text{ mm}$ .



## 2.2. Caracterización del panel

Para la caracterización de los paneles, se evaluaron las propiedades mecánicas del módulo elástico (MOE), la resistencia a la flexión estática (MOR) y la adhesión interna de acuerdo con ABNT NBR 14810 (2018).

Los paneles tenían sus bordes refinados y luego las muestras se extrajeron en dimensiones de acuerdo con NBR 14810: 2 (2018). Para los ensayos MOE y MOR, las dimensiones de la muestra fueron (310 x 50 x 13) mm para longitud, ancho y grosor, respectivamente. Para la adhesión interna, las dimensiones fueron (50 x 50 x 13) mm, como en la Figura 2 a continuación.



*Figura 2: Muestras para ensayo de adhesión interna*

A partir de los resultados obtenidos, el tratamiento estadístico se realizó utilizando el software Minitab® 18.1, y como parámetro para la comparación de los resultados se utilizaron los estándares ABNT NBR 14810 (2018) y ANSI A208.1 (2009), y otros trabajos similares encontrados en la literatura.

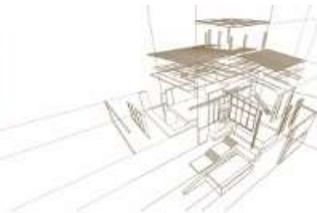
### 2.2.1. Módulo de elasticidad (MOE) y resistencia a la flexión estática (MOR)

Se siguieron los procedimientos sugeridos por ABNT NBR 14810 (2018) para obtener el módulo de elasticidad (MOE) y las propiedades de resistencia a la flexión estática (MOR). Las dimensiones de ancho y grosor de las muestras se determinaron con un calibre de resolución en milímetros y con el micrómetro, las dimensiones se ingresaron en el software de la máquina de prueba y las pruebas se realizaron en las muestras con la máquina universal de la marca EMIC, modelo DL-30000. Las muestras biapoiled, respetando el espacio de acuerdo con el documento normativo, se sometieron a carga hasta su ruptura (Figura 3). Los resultados para las pruebas se obtuvieron de los cálculos utilizando las ecuaciones 1 y 2.

$$MOE = \frac{P \times D^3}{d \times 4 \times B \times E^3}, \quad (1)$$

donde:

- $MOE$  es el módulo de elasticidad,
- $P$  es la carga en el límite proporcional,
- $D$  es la distancia entre soportes,
- $d$  es la desviación correspondiente a la carga P1,



- $B$  es el ancho de la muestra,
- $E$  es el grosor de la muestra.

$$MOR = \frac{1,5 \times (P \times D)}{B \times (E)^2}, \quad (2)$$

donde:

- $MOR$  es el módulo de resistencia a la flexión estática,
- $P$  es la carga máxima hasta el descanso,
- $D$  es la distancia entre los soportes del equipo,
- $B$  es el ancho de la muestra,
- $E$  es el grosor de la muestra.



*Figura 3: Realización del ensayo MOE y MOR*

### 2.2.2. Adhesión interna

El procedimiento para determinar la adhesión interna se realizó de acuerdo con ABNT NBR 14810 (2018). Las diez muestras consideradas en la prueba se lijaron para homogeneizar la superficie, luego se determinaron las dimensiones de  $b_1$  y  $b_2$ , que luego se insertaron en el software de la máquina de prueba para la prueba. Las superficies superior e inferior de las muestras se unieron a bloques de tracción con adhesivo instantáneo y se presionaron con abrazaderas de sargento durante 24 h para garantizar el curado completo del adhesivo. El conjunto formado por los bloques de tracción y la muestra se probaron en la máquina de prueba universal - EMIC, modelo DL-30000, con una capacidad de 300 kN, que tiraba de los conjuntos perpendiculares a las caras hasta la ruptura. Los valores obtenidos por ensayo se usaron para calcular el valor de adhesión interna por las ecuaciones 3 y 4.

$$TP = \frac{P}{S}, \quad (3)$$

$$S = b_1 \times b_2, \quad (4)$$

donde:

- $TP$  es la adhesión interna,
- $P$  es la carga en el descanso,
- $k$  es la superficie,



- $b_1$  e  $b_2$  son las dimensiones de la muestra.

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

La Tabla 1 presenta los resultados para las propiedades mecánicas del módulo de elasticidad (MOE), la resistencia a la flexión estática (MOR) y la adhesión interna para los 3 tratamientos.

*Tabla 1: Resultados para MOE, MOR y adherencia interna*

Cantidad de EPS (%)	MOE* (MPa)	MOR* (MPa)	Adhesión interna* (MPa)
0	2131 A (26,75)	15,51 A (36,64)	1,1760A (16,88)
15	2073 A (32,28)	13,76 A (38,71)	0,2618 B (24,71)
30	2113 A (28,65)	13,51 A (29,60)	0,2007 B (35,29)

\* Las medias seguidas de letras iguales no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ). \*\* (Coeficiente de variación).

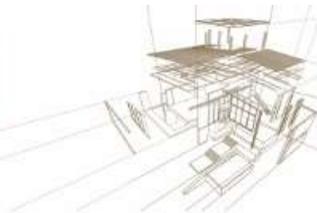
De acuerdo con NBR 14810-2 (2018), el valor mínimo para las propiedades del módulo de elasticidad (MOE) y la resistencia a la flexión estática (MOR) es 1800 y 11 MPa respectivamente, para paneles de entre 6 y 13 mm, espesor no estructural, bajo condiciones de uso en interiores en condiciones secas. Los resultados obtenidos para este ensayo fueron totalmente superiores a los requisitos del estándar, como se muestra en la Tabla 1.

El estándar ANSI A208.1-2009 establece para paneles tipo M2 (densidad media y uso en exteriores) el valor MOE mínimo de 2000 MPa y MOR de 13 MPa. En comparación con los valores de la Tabla 1, se encontró que los valores cumplen con los requisitos propuestos por el estándar estadounidense.

Tanto para los ensayos MOE como para MOR, las medias no difieren en el análisis estadístico mediante la prueba de Tukey para todos los tratamientos, lo que demuestra que la adición de EPS no afectó negativamente el rendimiento de los paneles para estas propiedades.

De acuerdo con NBR 14810-2 (2018) y ANSI A208.1 (2009), para paneles no estructurales, para uso en interiores en condiciones secas, el valor mínimo para la propiedad de unión interna es 0.40 MPa. En comparación con los resultados obtenidos en este trabajo, se encontró que todos los tratamientos con inserción de EPS en la composición tienen valores por debajo de los requisitos mínimos de los estándares. Esto se debe al hecho de que, dado que el EPS está en la capa central y no se fusiona ni tiene la adición de adhesivo, el centro de estas muestras se convirtió en una región frágil, con tendencia a romperse debido a que se redujo la adhesión interna. Para el análisis estadístico, se encontró que las medias difieren para paneles con y sin adición de EPS por la prueba de Tukey.

En estudios similares, Lyuty, Bekhta y Ortynska (2018) usaron para la producción de compuestos plásticos de madera, polietileno reciclado de baja densidad (LDPE) y partículas de madera en la proporción 60:40, además del 3% del peso de la madera en EPS y resina de melamina-urea-formaldehído como adhesivo. La densidad de 700 kg / m<sup>3</sup> y los paneles de 8 mm de grosor se sometieron a una presión de 3.5 MPa a 180 ° C durante un tiempo específico de 1 min / mm de espesor en un solo ciclo. Para la prueba de adhesión interna, los autores obtuvieron un valor de 0.25 MPa, que es un rendimiento más bajo en comparación con el presente estudio. Lacombe (2015) hizo paneles de madera aglomerada con partículas de madera de pino y EPS, en una proporción de 50/50, disueltos en diluyente para su aplicación en el panel como adhesivo. Para la producción de paneles de 21 mm de espesor y una densidad media de 505 kg / m<sup>3</sup>, el colchón se sometió a una presión de 4 MPa durante un período de 12 minutos. El autor obtuvo como resultado una resistencia a la flexión estática y un MOE de 10.46 y 1372.08 MPa respectivamente. En comparación con la literatura citada, se observó la superioridad de todos



los valores del presente estudio, posiblemente debido al hecho de que el uso de resina bicomponente a base de aceite de ricino aumenta la resistencia en las propiedades mecánicas y el hecho de que el EPS como adhesivo tiene poca rigidez, transfiriendo así la característica a la placa.

#### 4. CONCLUSIONES

A través de este estudio se observó la viabilidad de utilizar residuos de EPS postconsumo en la constitución de la capa interna de tableros de partículas de madera multicapa en varias proporciones, y puede considerarse como una alternativa de eliminación en lugar de su eliminación en vertederos, contribuyendo a la reducción del impacto ambiental y agregando valor en la obtención de un nuevo producto.

A partir de los resultados obtenidos, se observó que la configuración y la proporción de EPS en la capa interna influyeron en las propiedades mecánicas de MOE, MOR y la adhesión interna, cumpliendo los requisitos normativos mínimos para todas las pruebas, excepto para la adhesión interna. Esto demuestra la viabilidad de usar este tipo de paneles con restricción a algunos tipos de uso.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a CNPq, Caso No. 429130 / 2016-3, por la ayuda financiera otorgada.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American National Standards Institute (2009). Particleboard. ANSI A208.1. Gaithersburg.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas (2018). Painéis de partículas de média densidade. Parte 2: Requisitos e Métodos de Ensaio. ABNT NBR 14810-2. Rio de Janeiro.
- EPS Industry Alliance (2016). EPS recycling rate report. EPS Industry Alliance, Crofton.
- Jesus, L. C. C. D. (2014). Obtenção e caracterização de compósitos de poliestireno pós-consumo reforçado com celulose de bagaço de cana-de-açúcar.
- Lacombe, J. E. D. A. (2015). Painéis de madeira aglomerada produzidos com resíduos de serragem e poliestireno expandido para aplicações na construção civil. Doctoral dissertation. Universidade de São Paulo, SP.
- Lima, P. S., de Sousa, da Silva Santos, M. F., A. A. S. R., da Costa, L. F. S. C., & Ferreira, C. V. (2019). Incorporação do poliestireno expandido (EPS) no concreto: perspectiva de desenvolvimento de uma solução sustentável. Revista Ciência & Saberes-Facema, 4(4).
- Lyuty, P., Bekhta, P., & Ortyńska, G. (2018). Lightweight flat pressed wood plastic composites: possibility of manufacture and properties. Drvnaindustrija: Znanstveničasopis zapitanjadrvnetehnologije, 69(1), 55-62.
- Moncada, J. E. C. M., Flor, L., Silva, V., & Pacheco, J. (2019). Estudo da adição de argila expandida e EPS como agregados na elaboração de concreto leve. Revista Eletrônica TECCEN, 12(1), 02-07.
- Kreutz, J. C. (2019). Propriedades mecânicas e térmicas de compósitos de poliestireno e MDF. Doctoral dissertation. Unioeste, PR.



4º CONGRESO  
LATINOAMERICANO  
DE ESTRUCTURAS  
DE MADERAS

Iwakiri, S. (2005). Painéis de madeira reconstituída. Curitiba: FUPEF.