

# Ethylene vinyl acetate (eva) aggregates usage evaluation for lightweight concrete subfloor to reduce impact sound in flooring systems

## Desarrollo de una losa de piso de hormigón liviano con agregados reciclados de acetato de vinil etileno para reducir el impacto sonoro en los sistemas de piso

F. Pacheco \*, M. Krumenauer \*, L. F. O. Silva \*\*, F. B. Tutikian <sup>1</sup>\*, M. F. Oliveira \*

\* Universidade do Vale do Rio dos Sinos. BRAZIL

\*\* Universidad de la Costa. COLOMBIA

Fecha de Recepción: 06/12/2016

Fecha de Aceptación: 12/11/2017

PAG 149-156

### Abstract

Civil construction, nowadays has to deal with comfort and habitability requirements and raw material lack. Thus, it is desired to reuse materials. In this context, the subfloor plays an important role in providing users with comfort, being an interesting object of analysis. Thus, this study aims to design lightweight concrete slabs with ethylene vinyl acetate (EVA) aggregates for subfloors, with two grain sizes of conventional sand replaced with EVA. The experimental program is composed of four unit mixes, three of them varying the ratio between EVA coarse and natural fine aggregates, and the one with higher quantity of EVA coarse aggregates was replaced sand for EVA fine aggregates. The subfloor slabs were molded with three thickness of 3, 5 and 7 centimeters, and a set of 3cm slabs plus 1cm of conventional coating. Slabs were submitted to specific mass tests and  $L'nT,w$  mean standardized impact sound pressure level tests. Results showed a correlation between two variables, being that 7cm thickness slabs with smaller specific mass, with total aggregate replacement, presented noise intensity reductions of 17dB in comparison to 7cm slabs with natural sand and smaller content of EVA coarse aggregate; and 28dB reduction in relation to the reference.

**Keywords:** EVA waste, reduce solid waste, acoustic performance, impact sound, flooring systems, lightweight concrete

### Resumen

Actualmente, la construcción civil lidia con los requisitos de confort, habitabilidad y escasez de materia prima, por lo que se busca reutilizar los materiales. En este contexto, las losas de piso juegan un papel importante para entregar a los usuarios la comodidad buscada. Por lo tanto, este estudio intenta diseñar losas de hormigón liviano usando agregados de acetato de vinil etileno (EVA) en las losas de piso, usando dos granulometrías de arena convencional sustituidas con EVA. El estudio comprende cuatro mezclas: en tres de ellas se modifica la relación entre los agregados gruesos de EVA y los agregados naturales finos; y una cuarta mezcla, la con mayor cantidad de agregados gruesos de EVA, en la que la arena fue reemplazada por agregados finos de EVA. Las losas de piso se moldearon con espesores de 3, 5 y 7cm, y un conjunto de losas de 3cm más 1cm de recubrimiento convencional. Las losas fueron sometidas a pruebas de masa específica y a ensayos de nivel promedio de la presión del ruido de impacto estandarizado,  $L'nT,w$ . Los resultados mostraron correlación entre las dos variables, resultando que las losas más delgadas de 7cm de espesor, de menor masa específica y reemplazo total del agregado, presentaron una reducción de la intensidad del ruido de 17 dB en comparación con las losas de 7cm que contenían arena natural y menor contenido de agregado grueso de EVA; y una reducción de 28 dB en relación con la losa de referencia.

**Palabras clave:** Residuo de EVA, reducción de residuos sólidos, comportamiento acústico, ruido de impacto, sistemas de piso, hormigón liviano

## 1. Introducción

Entre los diversos sectores relacionados, se piensa que el de la construcción civil es el más productivo para el desarrollo social y económico de una región. Sin embargo, los impactos ambientales que resultan del consumo de los recursos naturales o de la generación de desechos constituyen un problema y debe existir un balance entre ellos de modo de no comprometer la sostenibilidad del medioambiente (Yemal et al., 2011).

La cadena de suministros de la construcción es responsable del 20% del material plástico consumido mundialmente, siendo la segunda industria más importante después del envasado (Magrini, 2012). Considerando que parte de ese consumo se transforma en desechos en las zonas urbanas, la importancia de la construcción es considerable. Razón por la cual son muy necesarios los estudios realizados para reutilizar estos materiales u otro tipo de desechos proveniente de los productos o sistemas para la construcción.

Es posible usar concreto liviano, como una alternativa viable para incorporar los desechos poliméricos en la construcción. Además de no sobrecargar las estructuras, esta solución tiene propiedades de impacto mecánico en los sistemas de piso y la consiguiente reducción del ruido de impacto en el piso inferior (Herrero et al., 2013; Brancher et al., 2016).

El objetivo de muchas investigaciones es el uso de los desechos poliméricos en las mezclas cementicias, pero restringido al uso de ellos como fibra; sin embargo, la cantidad incorporada es reducida, si se compara con el uso de polímeros en forma de granos o agregados. Saikia y Brito (2012) sostienen que la desventaja de adicionar polímeros a las matrices cementicias es que éstos reducen las propiedades mecánicas e incrementan el módulo de elasticidad, produciendo más deformaciones. No obstante, presentan una mejora en la aislación térmica y en el comportamiento acústico (Herrero et al., 2013). Los resultados más recientes también señalan la necesidad de nuevos estudios para evaluar los desechos poliméricos granulados incorporados a las matrices cementicias.

<sup>1</sup> Autor de correspondencia:

Professor Dr. Civil Engineer Program, Universidade do Vale do Rio dos Sinos  
E-mail: [bftutikian@uisinos.br](mailto:bftutikian@uisinos.br)



Se sabe que el concreto con acetato de vinil etileno (EVA), como sustituto de los agregados convencionales, aporta incorporación de aire a través de la porosidad propia del componente, siendo un método eficiente para proporcionarle aislación acústica al concreto (Bistafa, 2006).

El EVA es uno de los principales insumos en la industria del cuero para calzado, puesto que se usa para la fabricación de las suelas. Este material es suministrado en planchas de poco espesor y diferentes anchos. Para la fabricación de suelas para el calzado, las planchas deben recortarse generando sobras, que además de exigir costos de eliminación a la fábrica que los genera, producen impacto ambiental.

La industria de la construcción brasilera se está adaptando a la Norma de Desempeño ABNT NBR 15575: 2013. Esta norma presenta, a través de requisitos cualitativos y criterios cuantitativos, el comportamiento acústico requerido para la vivienda, entre otros. El sector investiga diversas alternativas para cumplir con los requisitos de comportamiento acústico para las edificaciones, con soluciones competitivas que permitan la eliminación adecuada de los desechos provenientes de otras industrias.

En este escenario y sumado a la necesidad de usar los desechos poliméricos, este estudio busca analizar diferentes proporciones de EVA sólido y tamaños de granos para el desarrollo de losas de piso de concreto liviano, con el fin de mitigar el ruido de impacto en los sistemas de piso, usando dos tipos de reemplazos: uno sólo con agregado de granulometría gruesa y otro con reemplazo total, ambos de piedra chancada y arena, con el último reemplazado por una fracción fina de EVA.

## 2. Aislación del ruido de impacto en el piso

El polímero de EVA está compuesto por una mezcla, de alta tecnología, de acetato de vinilo y etileno, con el comportamiento mecánico de un elastómero, y una elongación reversible en una franja larga de deformación a temperatura ambiente (Karpinski et al., 2009).

La aislación del ruido de impacto en recintos superpuestos recibe un tratamiento eficiente mediante pisos flotantes, compuestos por una base resiliente entre dos placas rígidas, losa de piso y recubrimiento/revestimiento. Estos sistemas de piso usan los conceptos de resonancia y amortiguación para reducir la vibración en la base rígida e incrementar la aislación acústica (Hassan, 2009), principio que es ampliamente usado en los sistemas de capas independientes. Sin embargo, este mismo principio también se puede alcanzar mediante la incorporación de materiales resilientes en las mezclas cementicias. Según Maderuelo-Sanz et al. (2011), los materiales usados para estos fines se basan en los polímeros, que pueden ser ampliamente reutilizados y reciclados.

Estos materiales contribuyen a reducir la masa en los sistemas de piso y son susceptibles a la deformación lo que, en el tiempo, puede provocar cambios en la capacidad de amortiguación. Este enfoque fue investigado por Miškinis et al. (2012), quienes encontraron diferencias en la capacidad de amortiguación del impacto mecánico, con una pérdida alta de amortiguación en los materiales fibrosos de celda abierta, en comparación con los materiales de celda cerrada. Peters (2012) señala que diversos tipos de materiales resilientes usados para amortiguar la vibración muestran diferentes comportamientos debido a la frecuencia sonora, tales como el corcho, compuestos en base a corcho, fieltro, espumas poliméricas y elastómeros, que se pueden usar como forros o planchas, para frecuencias altas, en las que se reducen las deformaciones estáticas.

Los materiales de célula abierta y baja densidad puede sufrir deformaciones debido a la compresión permanente, además, presentan problemas de desgaste en las juntas del recubrimiento. Por otra parte, los materiales de celda cerrada muestran un efecto neumático producto del aire contenido en su interior. Parte de la elasticidad de todos estos materiales se encuentra determinada por la forma en que se comporta el aire cuando el material es comprimido. (Dikavicius and Miskinis, 2012; Stewart and Craik, 2000).

Según Fahy y Walker (2015), el uso de bases resilientes en las edificaciones tiene ciertas especificidades, al compararlas con el uso en sistemas aislados. La aislación para el ruido de impacto debe proporcionar bases que sean lo suficientemente rígidas para asegurar la estabilidad durante el uso del sistema de piso; sin embargo, tienen su capacidad aislante reducida en comparación con los materiales más blandos. Por lo tanto, las propiedades mecánicas y acústicas de estos materiales deben ser consideradas (Stewart and Craik, 2000).

En este sentido, se han diseñado estudios que proponen compuestos con cemento, agregados naturales y/o agregados livianos para caracterizar y analizar la viabilidad técnica de diferentes tipos de mezclas. La preocupación principal en las propuestas de nuevos materiales cementicios son las diferencias producidas por la mayor absorción de agua de los agregados de peso liviano y aún se discute sobre los ensayos más específicos para caracterizarlos (Deshpande y Hiller, 2011). Especialmente para el uso en sistemas de piso con losa de concreto, los estudios sobre la influencia que ejerce la porosidad de los agregados de peso liviano (Deshpande y Hiller, 2011; Ribeiro et al., 20014), el tipo de agregados de peso liviano usado (Branco y Godinho, 2013; Ben Fraj et al., 2010), and of polymeric waste grain size (Herrero et al., 2013); indican que la caracterización de estos agregados puede determinar el control sobre el comportamiento acústico del sistema de piso respecto del ruido de impacto.

En cuanto a los requisitos para los sistemas de piso, la norma ABNT NBR 15575 (2013) establece los niveles de comportamiento acústico: mínimo (M), intermedio (I) y superior (S), según la Tabla 1. Estos requisitos deben respetarse en todas las construcciones habitacionales.

**Tabla 1.** Niveles de comportamiento acústico para los sistemas de piso

Elemento	$L_{nT,W}$ (dB)	Nivel de comportamiento acústico
Sistemas de piso que separan unidades de viviendas autónomas en diferentes pisos	66 a 80	M
	56 a 65	I
	≤55	S

### 3. Programa experimental

El programa experimental abarca la caracterización de los agregados, la dosificación del concreto, el encofrado de las losas de piso y ensayos del ruido de impacto, con dos tipos de reemplazo de los agregados naturales por EVA. En la primera etapa, los agregados naturales gruesos (piedra chancada) fueron reemplazados en la mezcla por EVA de la granulometría equivalente. En la segunda etapa, los agregados gruesos se mantuvieron en la misma proporción, pero se reemplazó el 50% de los agregados finos (arena) por EVA.

#### 3.1 Caracterización de los materiales

##### 3.1.1 Cemento

Se escogió un cemento de alta resistencia inicial, cuyos valores de resistencia, al inicio y término del fraguado

y partículas retenidas en el tamiz #75µm cumplieran con los umbrales establecidos por la norma ABNT NBR 5733:1991. Véase Tabla 2.

##### 3.1.2 Agregados finos

Las características de la arena usada como agregado fino se presentan en la Tabla 3.

##### 3.1.3 Agregados de EVA

Para los agregados gruesos y finos de EVA se analizó las características de la granulometría, sensibilidad táctil, distribución de los diversos tamaños de partículas y masa unitaria. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 4.

**Tabla 2.** Características del cemento

Propiedades mecánicas	Resultados	Propiedades químicas	Resultados
Tamiz #200 (75mm)	0,19	Partículas insolubles (%)	0,76
Tamiz #325 (45mm)	1,69	Pérdida por calcinación (%)	3,04
Fineza Blaine (g/cm <sup>2</sup> )	4.351	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	4,04
Inicio del fraguado (min)	163	SiO <sub>2</sub> (%)	19,16
Término del fraguado (min)	212	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	2,63
Resistencia a 1 día (MPa)	20,2	CaO (%)	60,56
Resistencia a los 3 días (MPa)	34,2	MgO (%)	4,70
Resistencia a los 7 días (MPa)	40,3	SO <sub>3</sub> (%)	2,16
Resistencia a los 28 días (MPa)	49,3		

**Tabla 3.** Características de los agregados finos

Agregado	Diámetro máximo	Módulo de fineza	Absorción de agua	Gravedad específica	Masa unitaria
Arena	4.8mm	2.92	0.30%	2.51g/cm <sup>3</sup>	1.54g/cm <sup>3</sup>

**Tabla 4.** Características de los agregados de EVA

Propiedades	Agregados gruesos de EVA	Agregados finos de EVA
Módulo de fineza [20]	1.08	0.6
Módulo máximo [20]	4.8	2.4
Densidad promedio (mm)	9.5	0.3
Análisis de la sensibilidad táctil	Uniformidad y deformabilidad	Uniformidad y finura
Masa unitaria (g/cm <sup>3</sup> ) [22]	0.37	0.21



### 3.2 Dosificación y espesor de las losas

Para realizar un análisis comparativo del concreto de peso liviano y del espesor de las losas, se prepararon tres mezclas en volumen (cemento: agregado fino: agregado grueso de EVA): 'a', 'b' y 'c'. Para la mezcla 'd', se consideró una dosificación mayor del agregado grueso de EVA, con un reemplazo parcial (50%) del agregado fino de EVA de granulometría similar. Para cada mezcla unitaria, se definieron tres espesores para las losas. Para la losa de 3cm de espesor, se ensayó un recubrimiento de mortero convencional de 1cm, simulando el acabado. Las dosificaciones se encuentran en la Tabla 5.

Se puede observar que la proporción entre los agregados y el cemento es constante, 1:5. Lo que varía de una mezcla a otra es la proporción de agregados gruesos y finos de EVA. Las mezclas 'c' y 'd' son las que tienen la proporción más alta de agregados gruesos, que tiende a formar huecos entre los elementos, ya que la cantidad de arena usada no es suficiente para llenar los espacios entre los agregados más gruesos. La diferencia entre las mezclas 'c' y 'd' es que en la primera, los agregados finos son arena de río, mientras que en la última hubo un reemplazo parcial (50%) de los agregados finos por agregados finos de EVA.

### 3.3 Encofrado de las losas y ensayo del ruido de impacto

Para fabricar las losas, se usaron moldes de diferentes alturas, para la aplicación de presión en los cuatro extremos, mediante el uso de barras roscadas, tuercas y arandelas. Para la preparación de las losas con recubrimiento de 1cm, primero se vertió un recubrimiento de mortero y luego, se

agregó el relleno de concreto de peso liviano. Después de concretar, las losas fueron desmoldadas, se curaron durante 24h y se mantuvieron en una sala de temperatura y humedad controladas, a 23° +/- 2°C de temperatura y 100% de humedad relativa hasta los 28 días, fecha en que se sometieron a los ensayos acústicos.

La norma de comportamiento ABNT NBR 15575:201 establece el procedimiento para los ensayos del aislamiento al ruido de impacto según la ISO 140-7- *Método de ensayo de la aislación sonora de impacto de los pisos* y norma ISO 717-2- *Aislación sonora de impacto* para la evaluación de los resultados. Los ensayos fueron realizados en recintos sobrepuestos, separados por losas de concreto armado de 10cm de espesor, con muros de albañilería de ladrillos sólidos recubiertos con mortero. Los recintos, emisor y receptor, tenían una superficie de piso de 16,24m<sup>2</sup> y un volumen de 44,82m<sup>3</sup>. La muestra ensayada medía 1m<sup>2</sup> y estaba formada por cuatro losas de 50cm x 50cm. Las reducidas dimensiones de la muestra cumplían con los requisitos de reducción de costos, de tiempo y de producción de desechos diseñados para esta investigación (MIŠKINIS et al. (2012)).

Para la generación de ruido, se usó un generador de ruido de impacto de Bruel y Kjaer, modelo 3207 (Figura 1). Como equipo de medición se usó el analizador de nivel sonoro (sonómetro) de Quest Technologies, modelo 2900, clase 1, con filtro de bandas de octava, en tres posiciones diferentes, como se aprecia en la Figura 1

Tabla 5. Mezclas y espesores de las muestras

Muestra	Mezcla	Espesor (cm)
a(3)	1:1.5:3.5	3
a(3+1)	1:1.5:3.5	3+1
a(5)	1:1.5:3.5	5
a(7)	1:1.5:3.5	7
b(3)	1:1:4	3
b(3+1)	1:1:4	3+1
b(5)	1:1:4	5
b(7)	1:1:4	7
c(3)	1:0.5:4.5	3
c(3+1)	1:0.5:4.5	3+1
c(5)	1:0.5:4.5	5
c(7)	1:0.5:4.5	7
d(3)	1:0.5:4.5	3
d(3+1)	1:0.5:4.5	3+1
d(5)	1:0.5:4.5	5
d(7)	1:0.5:4.5	7



Figura 1. Generador de sonido de impacto ubicado

## 4. Resultados y análisis

### 4.1 Masa específica de las losas

Los ensayos de masa específica de las losas de ensayo (ABNT NBR 9778:2009) se realizaron a los 28 días de fraguado y los resultados se presentan en la Tabla 6.

Se aprecia que a mayor cantidad de agregado grueso de EVA, en relación al agregado fino, menor es la masa específica, debido al mayor número de espacios entre las partículas más gruesas. Incluso la mezcla unitaria 1:0.5:4.5 presentó un 35% menos de masa específica que la mezcla 1:1.5:3.5, con una reducción de 417,7 kg/m<sup>3</sup>. Las losas de concreto liviano de 3cm de espesor con recubrimiento de

1cm no se consideraron para los cálculos, ya que se les adicionó mortero convencional. Existe una pequeña variación en los valores de la masa específica entre las losas fabricadas con la misma mezcla debido al proceso de elaboración.

### 4.2 Ensayo del ruido de impacto

Los resultados obtenidos en los ensayos del ruido de impacto se muestran en la Figura 2, agrupados por tipo de mezcla.

Tabla 6. Ensayos de la masa específica de las muestras

Muestras	Masa específica (kg/m <sup>3</sup> )	Masa específica promedio (kg/m <sup>3</sup> )
a(3)	1157.0	1197.4
a(5)	1179.3	
a(7)	1255.9	
b(3)	1071.4	1112.0
b(5)	1111.9	
b(7)	1152.6	
c(3)	803.0	779.7
c(5)	719.8	
c(7)	816.3	
d(3)	739.5	729.1
d(5)	745.4	
d(7)	702.5	

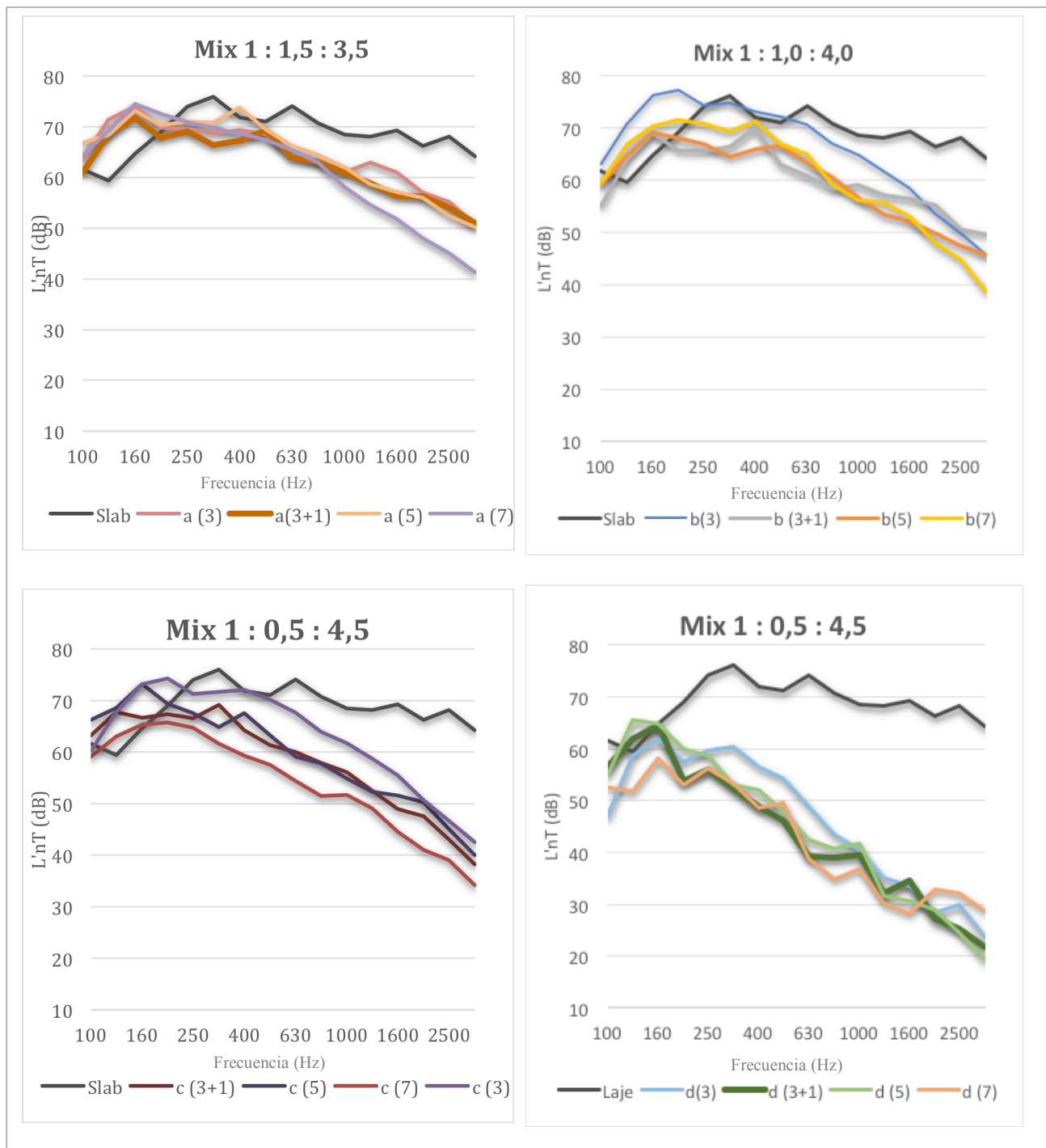


Figura 2. Valores de los ruidos de impacto por frecuencia en las losas de peso liviano

Todas las muestras cumplieron con los requisitos de comportamiento acústico, con ruidos de impacto inferiores a los de la losa de concreto de referencia, demostrando la viabilidad técnica del uso de agregados de EVA en reemplazo de los agregados convencionales para el objetivo buscado.

Los valores medidos apuntan hacia una mayor reducción de los niveles de ruido en frecuencias superiores a los 630Hz para todas las dosificaciones estudiadas. Con este comportamiento, los agregados de EVA mantienen el efecto neumático de la reducción de amortiguación mecánica, incluso con la superficie granular en contacto con la pasta de cemento.

Entre las variables analizadas, las diferencias en las proporciones de los agregados de EVA fueron determinantes para el comportamiento acústico de las muestras, excepto para la de 3cm de espesor que mostró una cierta constancia. Los otros espesores presentaron mayores valores de ruido de impacto para masas específicas menores, esto es, para una menor cantidad de agregados gruesos de EVA. Este comportamiento se intensificó para el espesor de 7cm, como se aprecia en la Figura 2.

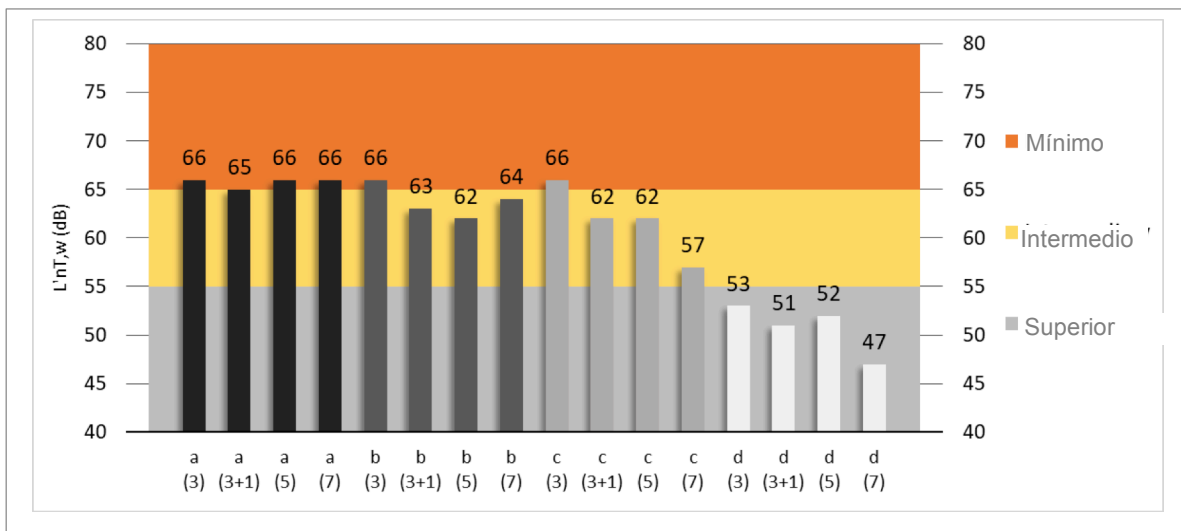


Figura 3. Valores de  $L'_{nt,w}$  para losas convencionales y de peso liviano

Se percibe una evolución gradual de los conjuntos debido a un incremento en la proporción de agregado grueso de EVA de la composición. Además, las losas con mejor comportamiento fueron aquellas con reemplazo total de agregados gruesos y las con reemplazo parcial de finos, alcanzando valores de 47dB para las losas de 7cm de espesor. Se observó una correlación entre los valores de masa específica y ruido de impacto, que podría ayudar en estudios futuros, usando un método más rápido y económico para analizar el comportamiento acústico en los sistemas de losas.

Finalmente, es posible clasificar los sistemas estudiados en base a la norma ABNT NBR 15575:2013. La losa de referencia se clasificó como el comportamiento mínimo, mientras que los sistemas con agregados gruesos de EVA y agregados finos naturales (mezclas 'a', 'b' y 'c') se clasificaron como de comportamiento intermedio. Las losas que contenían sólo agregados gruesos de EVA y aquellos con contenido parcial de agregados finos ('d') se clasificaron como losas de comportamiento superior.

## 5. Conclusión

Después de evaluar las muestras, fue posible concluir que:

- La incorporación de agregados de EVA al concreto es una forma eficiente y de bajo costo para incorporar aire y reducir la masa específica de las losas, logrando una reducción de la transmisión sonora del ruido de impacto en los sistemas de piso; en consecuencia, se propone el uso de desechos poliméricos como elemento constructivo.

- En la clasificación del comportamiento acústico, la variación en la altura/espesor de las muestras fue la principal variable de influencia en las primeras mezclas, predominando en relación a los porcentajes de uso de desechos. Cuando se usó el reemplazo de agregados finos, los desechos de EVA tuvieron mayor influencia en el comportamiento acústico de las losas.
- Ambas fases de este estudio indican que los agregados de peso liviano son determinantes en la reducción de los valores medidos del ruido de impacto, siendo que todos los conjuntos alcanzaron al menos un comportamiento intermedio según la clasificación de la norma ABNT NBR 15575:2013. Al comparar los valores obtenidos en las losas de peso liviano con aquellos de las losas convencionales analizadas, todos los conjuntos presentaron disminución del ruido, permitiendo más confort en los recintos.

En la fase experimental, se apreció que la variación de espesor no era lineal, con aumento en la aislación acústica del ruido de impacto. La variación se produce con una influencia mayor de la granulometría más pequeña de los agregados elaborados con desechos de EVA.

## 6. Referencias

- Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 5733 (1991)*, High early strength Portland cement - Specification. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 9778 (2009)*, Hardened mortar and concrete - Determination of absorption, voids and specific gravity. Rio de Janeiro: 2009.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 15575-1 (2013)*, Residential buildings — Performance Part 1: General requirements. Rio de Janeiro.
- Ben Fraj A, Kismi M, Mounanga P. (2010)*, Valorization of coarse rigid polyurethane foam waste in lightweight aggregate concrete. *Constr Build Mater* 2010;24:1069–77.
- Bistaña SR. (2006)*, Acústica aplicada ao controle do ruído. São Paulo: Edgard Blücher.
- Branco FG, Godinho L. (2013)*, On the use of lightweight mortars for the minimization of impact sound transmission. *Constr Build Mater* 2013;45:184–91.
- Brancher L, Nunes MFO, Grisa AM, Pagnussat D, Zeni M. (2016)*, Acoustic behavior of subfloor lightweight mortars containing micronized poly (EVA). *Materials (Basel)*, v. 9, p. 51.
- Deshpande YS, Hiller JE. (2011)*, Pore characterization of manufactured aggregates: recycled concrete aggregates and lightweight aggregates. *Mater Struct* 2011;45:67–79.
- Fahy F, Walker J. (2005)*, Advanced Applications in Acoustics, Noise and Vibration. New York: Taylor & Francis.
- Hassan OAB. (2009)*, Building Acoustics and Vibration: Theory and Practice. London: World Scientific Publishing Company, Incorporated.
- Herrero S, Mayor P, Hernández-Olivares F. (2013)*, Influence of proportion and particle size gradation of rubber from end-of-life tires on mechanical, thermal and acoustic properties of plaster-rubber mortars. *Mater Des* 2013;47:633–42.
- International Organization for Standardization, ISO 15686-1 (2011)*, Buildings and constructed assets - Service life planning - Part 1: General principles and framework. London.
- Karpinski LA, Pandolfo A, Reineher R, Guimarães JCB, Pandolfo LM, Kurek J. (2009)*, Gestão diferenciada de resíduos da construção civil: uma abordagem ambiental. Porto Alegre: Edipucrs.
- Maderuelo-Sanz R, Martín-Castizo M, Vilchez-Gómez R. (2011)*, The performance of resilient layers made from recycled rubber fluff for impact noise reduction. *Appl Acoust* 2011;72:823–8.
- Magrini A. (2012)*, Impactos ambientais causados pelos plásticos: uma discussão abrangente sobre os mitos e os dados científicos. Rio de Janeiro: E-Papers.
- Miškinis K, Dikavičius V, Ramanauskas J, Norvaišienė R. (2012)*, Dependence between Reduction of Weighted Impact Sound Pressure Level and Specimen Size of Floating Floor Construction. *Mater Sci* 2012;18:93–7.
- Peters RJ. (2013)*, Acoustics and Noise Control. New Jersey: Taylor & Francis.
- Ribeiro WB, Rizzo MV, Bortoluz N, Zeni M, Nunes MFO, Grisa AMC. (2014)*, Characterization of polyurethane skin agglomerates for acoustic insulation from impact noise. *Mater Res* 2014;17.
- Saikia N, de Brito J. (2012)*, Use of plastic waste as aggregate in cement mortar and concrete preparation: A review. *Constr Build Mater* 2012;34:385–401.
- Stewart MA, Craik RJM (2000)*, Impact sound transmission through a floating floor on a concrete slab. *Appl Acoust* 2000;59:353–72.
- Yemal J. A., Teixeira N. O. V. y Naas I. A. (2011)*, Sustentabilidade na construção civil. INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION, 3., 2011, São Paulo. Anais... São Paulo, 2011. pp. 1-10.