

Uso de agregado leve de EVA em contrapiso argamassado para isolamento ao ruído de impacto em edificações residenciais

The use of EVA in mortar floor coverings for impact noise insulation in residential buildings

Bernardo Fonseca Tutikian
Letícia Kauer Zuchetto
Rodrigo Périco de Souza
Maria Fernanda Nunes de Oliveira

Resumo

O copolímero etileno acetato de vinila (EVA) é largamente utilizado na indústria calçadista. Entretanto, a geração de resíduos no processo de fabricação é bastante significativa. Com a implementação da norma de desempenho, NBR 15575, os projetos de construções habitacionais devem atender aos níveis de desempenho exigidos. Dentre os requisitos prescritos pela norma está a isolação ao ruído de impacto entre pisos, a qual pode ser otimizada com a utilização de materiais de baixa massa específica. Nesse contexto, este artigo visa desenvolver uma argamassa leve, a partir da incorporação de EVA proveniente da indústria calçadista, a ser utilizada como contrapiso para isolamento acústico. Para tanto, fez-se um estudo por meio de ensaios de resistência à compressão e à tração, bem como nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado, realizado em câmara normatizada. Foram desenvolvidos cinco traços, com proporções de 20%, 40%, 60%, 80% e 100% de substituição da agregado miúdo por EVA, além do contrapiso convencional. Foram moldadas placas de 1 m² de contrapiso leve, e uma amostra representativa do tamanho da laje com 16 m², as quais diferiram em 2 dB para o isolamento acústico. O traço com melhor desempenho proporcionou uma redução de 9 dB em relação ao contrapiso convencional, mostrando ser eficaz para utilização como isolante acústico.

Palavras-chave: Resíduos de EVA. Ruído de impacto. Isolamento acústico.

Abstract

Ethylene vinyl acetate (EVA) is widely used in the footwear industry. However, this manufacturing process generates significant waste. With the implementation of the Brazilian performance standard NBR 15575, all new residential buildings must meet the required performance levels. One of the requirements prescribed by the standard is impact noise insulation between floors, which can be achieved by using materials with low specific mass. Hence, this research study aims to develop a floor covering mortar incorporating EVA derived the footwear industry, to be used as floor covering for soundproofing. The study was conducted by undertaking compressive and tensile strength tests, as well as normalised impact sound pressure level, executed in a normalised chamber. Five mixtures were produced, with 20%, 40%, 60% 80% and 100% EVA substituting regular sand, as well as the conventional floor covering. Floor covering plates measuring 1m², and one representative sample of the slab measuring 16m² were molded, which acoustic isolation differed by 2dB. The mixture with the best performance provided a 9dB reduction in relation to the reference slab with conventional floor covering, proving to be effective for use as an acoustic insulator.

Keywords: EVA waste. Impact noise. Acoustic insulation.

Bernardo Fonseca Tutikian
Universidade do Vale do Rio dos Sinos
São Leopoldo - RS - Brasil

Maria Fernanda de Oliveira
Universidade do Vale do Rio dos Sinos
São Leopoldo - RS - Brasil

Rodrigo Périco de Souza
Universidade do Vale do Rio dos Sinos
São Leopoldo - RS - Brasil

Letícia Kauer Zuchetto
Universidade do Vale do Rio dos Sinos
São Leopoldo - RS - Brasil

Recebido em 27/12/15
Aceito em 19/12/16

Introdução

O recente desenvolvimento do setor da construção civil no Brasil evidenciou a necessidade de uma normatização no que diz respeito ao desempenho das edificações habitacionais. Nesse contexto, entrou em vigor a NBR 15575 (ABNT, 2013), a fim de estabelecer requisitos qualitativos e quantitativos para o desempenho da edificação como um todo, desde segurança estrutural até cuidados de uso e operação para garantir o adequado funcionamento da edificação. Dentre esses requisitos, o isolamento sonoro ao ruído de impacto entre ambientes é considerado de extrema importância para o conforto acústico do usuário. Dessa forma, a norma de desempenho estabelece níveis máximos de ruído e limites para a classificação em três classes de desempenho, mínimo, intermediário e superior, de acordo com o exposto pela Tabela 1.

O som de impacto é uma consequência das vibrações geradas a partir do impacto mecânico entre materiais (ABNT, 2014). Nos edifícios, o choque entre elementos sólidos constitui a principal fonte da irradiação em sistemas construtivos como pisos, coberturas, paredes e outros. Sendo assim, a vibração causada pelo caminhar de pessoas e da queda de objetos sobre o piso provoca ruído de impacto. Tecnicamente, o ruído de impacto pode ser definido como aquele que apresenta picos de nível de energia acústica de duração inferior a 1 segundo a intervalos superiores a 1 segundo (BISTAFA, 2006).

O isolamento ao ruído de impacto em salas sobrepostas recebe um tratamento eficiente por meio de pisos flutuantes, compostos de uma base resiliente entre duas placas rígidas, laje de entrepiso e o contrapiso. Esses sistemas de piso utilizam conceitos de ressonância e amortecimento

para a redução da irradiação da vibração na base rígida e aumento do isolamento acústico (HASSAN, 2009), e esse princípio costuma ser amplamente utilizado em sistemas de camadas independentes. No entanto, essa mesma condição também pode ser atendida com a incorporação de materiais resilientes em misturas cimentícias, para atender ao amortecimento do impacto mecânico em sistemas de pisos. Usualmente, os materiais empregados com essa finalidade são confeccionados com polímeros, os quais proporcionam amplas possibilidades de reuso e reciclagem (MADERUELO-SANZ; MARTÍN-CASTIZO; VÍLCHEZ-GÓMEZ, 2011).

Esses materiais têm parte de sua elasticidade determinada pela forma como o ar se comporta durante a compressão do material. Os materiais com células abertas de baixa densidade podem ter deformações devido à compressão permanente, além de apresentar problemas de fadiga nas juntas do revestimento. Por outro lado, os materiais com células fechadas apresentam um efeito pneumático causado pelo ar contido no seu interior (MIŠKINIS *et al.*, 2012; STEWART; CRAIK, 2000).

A utilização de bases resilientes em edifícios apresenta certas especificidades, quando comparadas à utilização em equipamentos isolados (FAHY; WALKER, 2005). O sistema de isolamento ao ruído de impacto deve proporcionar bases rígidas o suficiente para a garantia da estabilidade durante o uso do sistema de piso, porém terá sua capacidade de isolamento reduzida comparado aos materiais menos rígidos. Por isso, as propriedades mecânicas e acústicas para esses materiais devem ser igualmente consideradas (STEWART; CRAIK, 2000).

Tabela 1 - Valores de referência de critério e nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado, $L'_{nT,w}$ recomendados pela NBR 15575-3 (ABNT, 2013)

Elemento	$L'_{nT,w}$ (dB)	Nível de desempenho
Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas posicionadas em pavimentos distintos	66 a 80	Mínimo
	56 a 65	Intermediário
	≤ 55	Superior
Sistema de piso de áreas de uso coletivo (atividades de lazer e esportivas, como home theater, salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas) sobre unidades habitacionais autônomas	51 a 55	Mínimo
	46 a 50	Intermediário
	≤ 45	Superior

Fonte: NBR 15575 (ABNT, 2013).

Nesse sentido, estudos com propostas de misturas entre cimento, agregado natural e/ou agregados leves têm sido desenvolvidos para caracterizar e analisar a viabilidade técnica de diferentes tipos de misturas. As diferenças ocasionadas pela maior absorção de água dos agregados leves são indicadas como a principal preocupação na proposta de novos materiais cimentícios e os ensaios mais específicos de caracterização desses agregados ainda estão em fase de discussão (DESHPANDE; HILLER, 2011). Especialmente para a utilização em sistemas de pisos com laje de concreto, estudos sobre a influência da porosidade dos agregados leves (DESHPANDE; HILLER, 2011; RIBEIRO *et al.*, 2014), do tipo de agregado leve utilizado (BEN FRAJ; KISMI; MOUNANGA, 2010; BRANCO; GODINHO, 2013; TUTIKIAN *et al.*, 2012) e da granulometria de resíduos poliméricos (HERRERO; MAYOR; HERNÁNDEZ-OLIVARES, 2013) indicam que a adequada caracterização desses agregados pode determinar o controle sobre o desempenho acústico do sistema de piso ao ruído de impacto.

O EVA é bastante utilizado pela indústria calçadista, devido ao fato de ser um material leve e macio, que resiste ao desgaste, além de ter baixo custo. Todavia, a geração de resíduos na forma de retalhos é inevitável e sua reutilização é inviável, visto que o EVA é um polímero termofixo, ou seja, após moldado sob uma determinada pressão e temperatura se torna infusível, insolúvel e não reciclável (ANDRADE, 2010).

Estudos afirmam que o uso de resíduos poliméricos em compósitos cimentícios reduz a resistência mecânica à medida que se aumenta a porcentagem desses resíduos no compósito

(PENDHARI; KANT; DESAI, 2008). No entanto, materiais com aplicação não estrutural, que não requerem elevada resistência mecânica, podem conter elevadas porcentagens de resíduos e, dessa forma, aumentar a eficiência no isolamento térmico e acústico de elementos construtivos (BRANCHER *et al.*, 2016; D'ALESSANDRO; ASDRUBALI; BALDINELLI, 2014; GIL, 2015).

O isolamento ao ruído de impacto em sistemas de pisos é avaliado conforme o nível de ruído de impacto padronizado ponderado. Trata-se de um número absoluto, resultado do som captado por um equipamento de medição, e quanto maior esse número pior será o isolamento acústico.

Os descritores utilizados para possibilitar a interpretação dos sons de impactos com a finalidade de classificação de desempenho acústico de sistemas de pisos apresentam diferenças básicas em função do tipo de medição, se em campo ou em laboratório, e do elemento construtivo a ser analisado, como laje, sistema completo ou somente revestimento. Uma síntese dessas diferenças pode ser analisada na Tabela 2. Segundo normas internacionais vigentes (BRITISH..., 2000; INTERNATIONAL..., 2010a, 2014), o uso da apóstrofe após a letra *L* indica que os resultados são de ensaios de sons de impacto em campo; o uso da letra *n* indica resultados normalizados por bandas de frequência; a letra *T* é utilizada para resultados padronizados em campo, com medições do tempo de reverberação. Para a expressão dos valores por um número único, é realizada uma ponderação por banda de frequências conforme procedimentos da norma ISO 717-2, e a letra *W* utilizada no descritor designa resultados ponderados expressos em um número único.

Tabela 2 - Alguns descritores utilizados para a classificação de desempenho acústico ao ruído de impacto

Símbolo do descritor	Designação	Referência normativa
L_n	Nível de pressão sonora de impacto normalizado do piso com revestimento	ISO 10140-3 (INTERNATIONAL..., 2010a)
L_{n0}	Nível de pressão sonora de impacto normalizado do piso sem revestimento	ISO 10140-3 (INTERNATIONAL..., 2010a)
$L_{n,w}$	Nível de pressão sonora de impacto normalizado ponderado	ISO 717-2 (INTERNATIONAL..., 2013)
L'_{nT}	Nível de pressão sonora de impacto padronizado do piso, medido em campo	ISO 16283-2 (INTERNATIONAL..., 2014)
$L'_{nT,w}$	Nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado do piso, medido em campo	ISO 717-2 (INTERNATIONAL..., 2013)

Fonte: Domingues (2013) e Patrício (2010).

Nos ensaios de sons de impacto, os sinais captados (L_i) em decibels (dB) por bandas de terço de oitava são transformados em níveis sonoros de impacto normalizados (L_n), por meio da equação 1, ou em níveis sonoros de impacto padronizados, por meio da Equação 2.

$$L_n = L_i + 10 \log \frac{A}{A_0} \quad \text{Eq. 1}$$

Onde:

L_i é o nível sonoro de impacto em dB;

A é a área equivalente de absorção da câmara de recepção; e

A_0 é a área equivalente de absorção de referência da câmara com valor de 0,5.

$$L'_{nT} = L_i - 10 \log \frac{T}{T_0} \quad \text{Eq. 2}$$

Onde:

L_i é o nível sonoro de impacto em dB;

T é o tempo de reverberação na câmara de recepção; e

T_0 é o tempo de reverberação de referência na câmara com valor de 0,5.

O número único que expressa os níveis sonoros de impacto ponderado é determinado com base em uma comparação da curva padrão da ISO 717-2 (INTERNATIONAL..., 2013), com os valores por bandas de frequências de L'_{nT} para ensaios em campo ou de L_n para ensaios em laboratório.

Atualmente, a norma brasileira de desempenho de edifícios não apresenta possibilidade de classificação de sistemas de pisos a partir de ensaios em laboratório. Por isso, apesar dos ensaios deste trabalho terem sido conduzidos com aporte de toda infraestrutura de laboratório para determinação do $L_{n,w}$, os resultados foram classificados como de ensaios em campo para fins comparativos.

Os procedimentos para determinação do desempenho acústico ao ruído de impacto são definidos na norma ISO 10140-3 (INTERNATIONAL..., 2010a) e requer o teste em amostras de, no mínimo, 10 m², o que acarreta maiores custos e maior tempo de ensaio. No entanto, o desenvolvimento de novos materiais, que inclui inicialmente fases exploratórias, necessita de análises comparativas mais rápidas nesse estágio de pesquisa (MIŠKINIS *et al.*, 2012). Por esse motivo, os estudos que utilizam amostras com dimensões entre 1 m² e 2 m² são mais indicadas para as análises comparativas iniciais (BRANCO; GODINHO, 2013; TUTIKIAN *et al.*, 2012).

Miškinis *et al.* (2012) realizaram ensaios em laboratório para avaliar a influência de cinco diferentes dimensões de amostras nos resultados de isolamento ao ruído de impacto. Segundo os autores, amostras com dimensões entre 13,4 m² e 6,0 m² apresentam resultados similares e as maiores diferenças ocorrem nas amostras com área menor ou igual a 2 m², pois, nesse caso, os resultados foram afetados pela ressonância decorrente do modo de vibração das amostras. Em relação aos resultados, foi verificada uma relação inversamente proporcional, para a qual quanto menor a amostra maior o isolamento acústico do sistema de piso.

Nesse cenário, o objetivo deste estudo é analisar comparativamente a influência da proporção de EVA de baixa densidade em argamassa leve a ser utilizada como contrapiso, para a resistência mecânica e a redução do ruído de impacto em sistemas de pisos, mediante ensaios em câmara acústica de ruído de impacto em laboratório. Ainda, este estudo objetivou analisar a correlação entre os resultados da amostra com 80% de substituição de EVA por agregado miúdo com área de 1 m² e sua reprodução em câmara reverberante com amostra de 16 m².

Materiais e método

O programa experimental foi dividido entre caracterização dos materiais, dosagem, moldagem de amostras e realização de ensaios de resistência à compressão e à tração na flexão, bem como ensaios de ruído de impacto para análise comparativa dos níveis de pressão sonora de impacto padronizados ponderados.

Caracterização dos materiais

Cimento

Foi utilizado cimento de alta resistência inicial CPV, cujas características estão indicadas na Tabela 3.

Agregado miúdo: areia de rio

As características da areia utilizada como agregado miúdo, bem como sua curva granulométrica, estão apresentadas na Tabela 4 e na Figura 1, respectivamente.

Agregado miúdo: resíduo de EVA

Os resíduos de EVA provenientes da indústria calçadista passaram por processo de moagem, de maneira que sua dimensão máxima não ultrapassasse a dimensão máxima de agregado miúdo estabelecido pela NBR 7211 (ABNT,

2005b). A caracterização do agregado miúdo de EVA está apresentada na Tabela 4, enquanto a sua curva granulométrica está apresentada na Figura 1.

Dosagem

A partir do mesmo traço e da mesma relação água/cimento, foram analisadas cinco incorporações de diferentes teores do resíduo polimérico de EVA na mistura. Optou-se por adotar um traço convencional de argamassa utilizada em contrapisos, sendo o traço em volume de 1:3 (aglomerante: agregado miúdo), com uma relação água/cimento de 0,7, a qual proporcionou uma consistência adequada para os traços desenvolvidos neste estudo. Sendo assim, a partir desse traço o agregado miúdo natural foi

substituído em volume nas proporções de 20%, 40%, 60%, 80% e 100% pelo resíduo de EVA e, em seguida, calculado em massa, por compensação das massas unitárias. A Tabela 5 apresenta as codificações e as características de cada sistema analisado neste estudo.

Ensaios de resistência mecânica

Para o estudo do comportamento mecânico dos traços desenvolvidos, foram moldados 6 corpos de prova prismáticos, por traço, para ensaios de resistência à compressão e resistência à tração na flexão, conforme as prescrições da NBR 13279 (ABNT, 2005a). As amostras foram rompidas aos 7 e aos 28 dias, em prensa EMIC, modelo DL2000.

Tabela 3 - Características do cimento

Propriedade avaliada	Resultado	Limite da ABNT NBR 7211 (ABNT, 2005b)
Resíduo na peneira #75 μ m - NBR 11579 (ABNT, 1991)	0,32%	$\leq 6\%$
Início de pega - NBR NM 65 (ABNT, 2003a)	4h02min	≥ 1 h
Fim de pega - NBR NM 65 (ABNT, 2003a)	5h37min	≤ 10 h
Resistência à compressão - NBR 5739 (ABNT, 2007)	1 dia	≥ 14 MPa
	3 dias	≥ 24 MPa
	7 dias	≥ 34 MPa

Tabela 4 - Caracterização dos agregados miúdos

Ensaio	EVA	Natural
Dimensão máxima característica - NBR NM 248 (ABNT, 2003b)	2,4 mm	2,4 mm
Módulo de finura - NBR NM 248 (ABNT, 2003b)	3,83	2,53
Massa unitária - NBR NM 45 (ABNT, 2006)	0,149 g/cm ³	1,56 g/cm ³
Massa específica - NBR NM 52 (ABNT, 2009)	aparente	2,60 g/cm ³
	saturado superfície seca	2,57 g/cm ³
	agregado seco	2,55 g/cm ³

Figura 1 - Curva granulométrica dos agregados miúdos

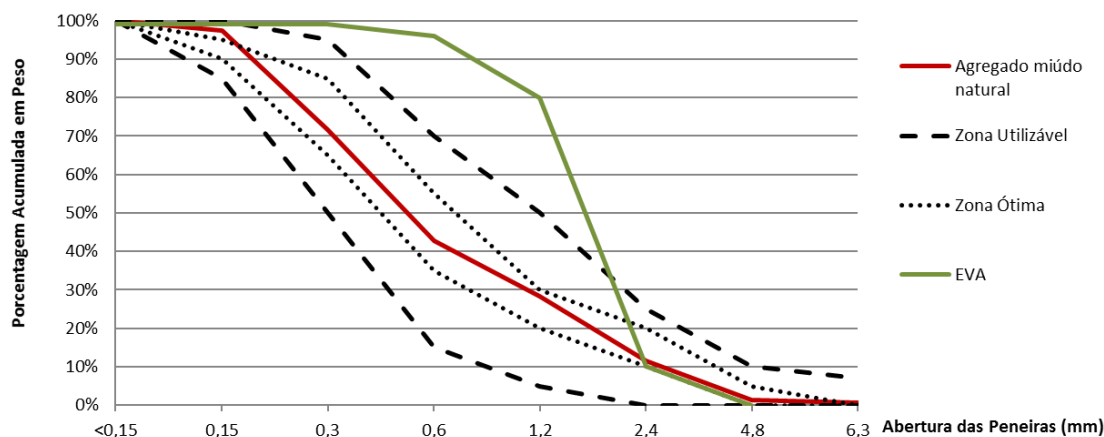
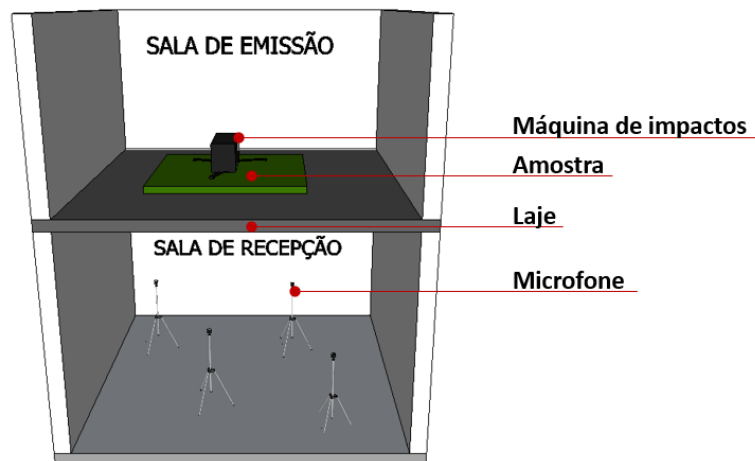


Tabela 5 - Características dos traços analisados

Sigla	Substituição da areia por EVA	Cimento	Agregado de EVA	Areia de rio	Água
80AN20EVA	20%	1	0,6	2,4	0,7
60AN40EVA	40%	1	1,2	1,8	0,7
40AN60EVA	60%	1	1,8	1,2	0,7
20AN80EVA	80%	1	2,4	0,6	0,7
0AN100EVA	100%	1	3,0	0,0	0,7

Figura 2 - Esquema do posicionamento dos equipamentos para os ensaios de ruído de impacto



Ensaio de ruído de impacto

Os ensaios de ruído de impacto foram realizados em laboratório em duas câmaras sobrepostas (Figura 2), conforme padrões da norma ISO 10140-5 (INTERNATIONAL..., 2010b), separadas entre si por uma laje maciça de concreto armado de espessura de 12 cm. As câmaras seguem padrões geométricos e limites de reverberação recomendados pela norma ISO 10140-5 (INTERNATIONAL..., 2010b).

Os procedimentos de medição seguiram as prescrições da norma ISO 10140-3 (INTERNATIONAL..., 2010a) e os equipamentos utilizados foram da marca Brüel & Kjaer com máquina de impactos modelo 3207, sonômetro modelo 2270, fonte dodecaédrica modelo 4292 e amplificador de potência modelo 2734. O procedimento para a determinação do nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado inclui, basicamente, a produção de impactos mecânicos na superfície do piso da câmara e a captação dos níveis sonoros no ambiente inferior. A excitação mecânica da face superior do piso é produzida por meio do funcionamento da máquina de impactos, com a queda livre alternada de cinco pesos de 500 g cada, a uma altura de 4 cm. Cada um dos pesos é acionado a uma frequência de 2

Hz, e o conjunto completo apresenta uma frequência de ação de impacto 10 Hz. No ambiente adjacente inferior, os níveis sonoros são captados por um microfone conectado ao analisador sonoro com classe de precisão 1, que converte os sinais por bandas de terços de oitava entre 100 e 3.150 Hz.

As amostras foram compostas de quatro placas, por traço, de dimensões 50 cm x 50 cm, com espessura de 3 cm, formando 1 m². As amostras foram instaladas no centro da sala emissora, fixadas lateralmente por uma moldura de madeira, para que as placas não se movimentassem durante a execução do ensaio, conforme mostra a Figura 3.

Posteriormente, com o traço 80AN20EVA foi feito um contrapiso de área igual à área da laje da câmara, a fim de obter uma comparação entre o isolamento ao ruído de impacto em placas de 1 m² e a área inteira de 16 m².

Para validar a comparação entre as duas dimensões de contrapiso, foi utilizado um gabarito para o controle da espessura final e uma lona plástica entre o contrapiso e a laje da câmara para evitar o efeito de acoplamento entre esses dois elementos (Figura 4). A instalação da lona plástica possibilitou estabelecer uma condição de vínculo semelhante ao das placas menores.

Figura 3 - Posicionamento das amostras na câmara de emissão



Figura 4 - Instalação do contrapiso na câmara com a base de lona plástica e o gabarito para o controle da espessura



Resultados

Ensaios de resistência mecânica

A Tabela 6 apresenta os resultados de resistência à compressão, bem como resistência à tração na flexão aos 7 e aos 28 dias de cura da argamassa.

Pode-se observar que houve uma redução da resistência, tanto na compressão como na tração na flexão, na medida em que aumentou a incorporação de EVA na mistura, o que demonstra uma relação com a massa específica e teor de EVA. Resíduos quando incorporados em matrizes cimentícias reduzem sua resistência à compressão (SANTIAGO, 2008).

Em relação à variabilidade, notou-se uma baixa dispersão nos resultados aos 28 dias, com coeficientes de variação inferiores a 8%,

considerado estatisticamente como dados homogêneos. Ainda, o baixo coeficiente de variação é explicado pelo controle na moldagem e no processo de rompimento.

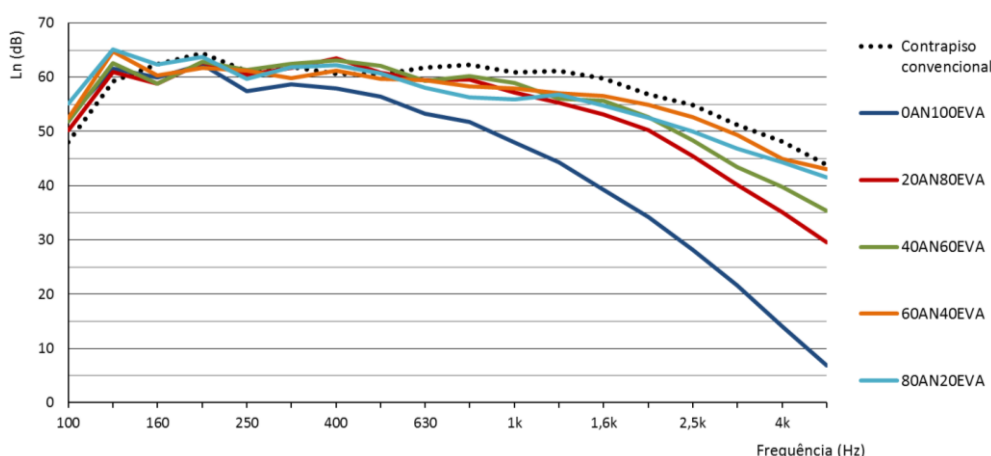
Nos traços, independentemente da proporção de EVA, é possível notar que as amostras apresentaram um comportamento esperado, de desenvolvimento de resistência maior nas primeiras idades, com resistência à compressão menor aos 7 dias de cura, quando comparado aos 28 dias.

Ensaios comparativos de ruído de impacto para amostras de pequena dimensão

A Figura 5 mostra os valores de nível sonoro de impacto padronizado L_n das amostras ensaiadas.

Tabela 6 - Resultados de resistência mecânica

Traço	Resistência à compressão						Resistência à tração					
	7 dias			28 dias			7 dias			28 dias		
	fc7 (MPa)	Sd (MPa)	CV (%)	fc28 (MPa)	Sd (MPa)	CV (%)	ft7 (MPa)	Sd (MPa)	CV (%)	ft28 (MPa)	Sd (MPa)	CV (%)
80AN20EVA	7,7	1,47	19	8,0	0,24	3	2,8	0,32	11	4,0	0,06	1
60AN40EVA	5,7	0,61	11	6,5	0,49	8	2,7	0,53	20	3,9	0,15	4
40AN60EVA	4,6	0,75	16	6,1	0,08	1	2,3	0,30	13	3,1	0,09	3
20AN80EVA	2,2	0,23	10	5,4	0,12	2	1,5	0,04	2	2,5	0,11	4
0AN100EVA	0,8	0,05	6	3,3	0,14	2	0,8	0,04	5	1,9	0,10	6

Figura 5 - Resultados dos ensaios de ruído de impacto nas amostras com 1 m²

A partir da frequência de 250 Hz os valores apresentaram diferenças mais significativas, evidenciando um perfil descendente. É notório que o traço 0AN100EVA, o qual possui maior proporção de polímero, apresentou um decaimento mais expressivo que os demais, especialmente para frequências a partir de 315 Hz. Os traços 60AN40EVA e 40AN60EVA, os quais possuem as menores proporções de agregado leve, apresentaram reduções de nível sonoro inferiores ou muito similares ao traço 80AN20EVA. Ainda, é possível notar que todas as amostras com adição de EVA apresentaram características de isolamento ao ruído de impacto quando comparados somente à laje com contrapiso convencional.

Em relação ao desempenho acústico, quando comparado com a norma de desempenho NBR 15575 (ABNT, 2013), nota-se que o traço com melhor desempenho foi o de maior proporção de substituição de EVA.

Essa condição deve-se ao fato do maior conteúdo de ar no material, pois sempre que não houver a permeabilidade da pasta de cimento nos poros do agregado de EVA a baixa rigidez do sistema é preservada, mantendo-se a dissipação da energia mecânica por causa do amortecimento interno, com a conseqüente redução do som de impacto. A dissipação da energia mecânica é explicada pelo

aumento do tempo de contato derivado do amortecimento da energia cinética resultante das características elástica do material. Nessas circunstâncias o espectro de excitação tem a mesma força de amplitude com diferentes distribuições ao longo do tempo (HOPKINS, 2012; ZUCHETTO; NUNES; PATRÍCIO, 2016).

A Tabela 7 apresenta a média ponderada dos valores de nível sonoro de impacto padronizado de todos os traços do estudo comparativo.

Ensaio comparativos de ruído de impacto para amostras de grande dimensão

A Figura 6 apresenta os resultados de níveis sonoros de impacto padronizados das amostras de 16 m² e de 1 m² do traço 20AN80EVA.

Observa-se que até a frequência de aproximadamente 290 Hz os resultados da amostra de 1 m² são maiores do que para a amostra de 16 m². A partir da frequência de 400 Hz pode-se observar o comportamento esperado para as duas dimensões de contrapiso estudadas, no qual a amostra de menor dimensão apresentou menores valores de L_{nT} por frequência. A Tabela 8 apresenta a média ponderada dos valores de nível sonoro de impacto padronizado das amostras.

Tabela 7 - Classificação dos resultados de ruído de impacto para as amostras de pequena dimensão

Amostra 1 m ²	L _{nT,w} (dB)	Sistema de piso separando unidades posicionadas em pavimentos distintos	Cobertura acessível ou sistema de piso de uso coletivo sobre unidades habitacionais autônomas
0AN100EVA	54	Superior	Mínimo
20AN80EVA	59	Intermediário	Não atende
40AN60EVA	60	Intermediário	Não atende
60AN40EVA	61	Intermediário	Não atende
80AN20EVA	60	Intermediário	Não atende
Laje com contrapiso convencional	63	Intermediário	Não atende

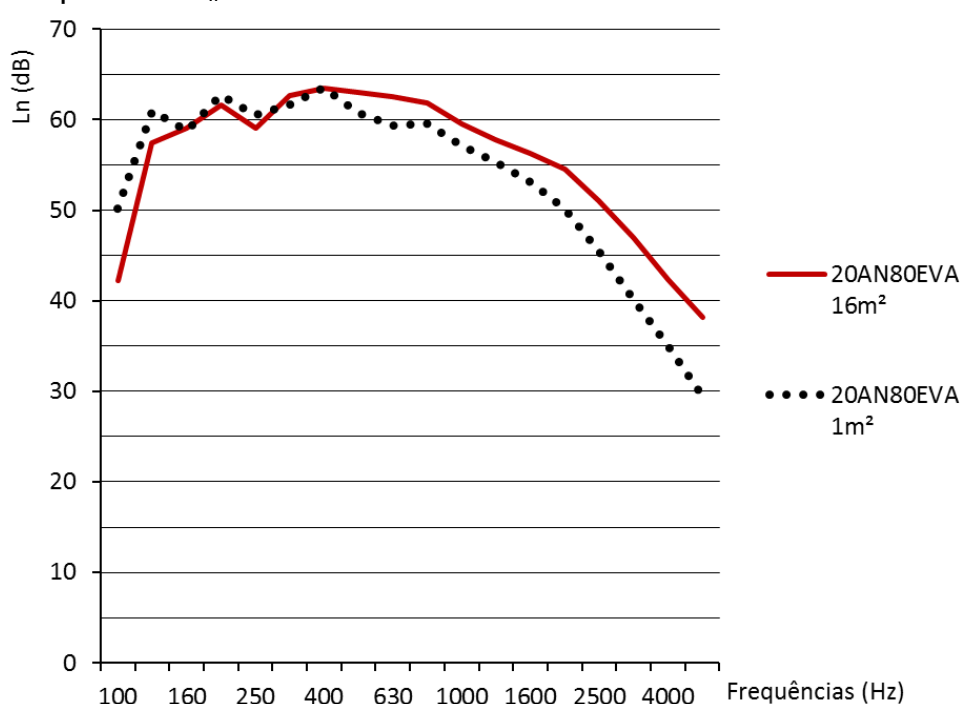
Figura 6 - Comparativo de L_n entre as amostras com 1 m² e 16 m²

Tabela 8 - Classificação dos resultados de ruído de impacto para as amostras com grande dimensão

Amostra 1 m ²	Área (m ²)	L _{nT,w} (dB)	Sistema de piso separando unidades posicionadas em pavimentos distintos	Cobertura acessível ou sistema de piso de uso coletivo sobre unidades habitacionais autônomas
20AN80EVA	1	59	Intermediário	Não atende
20AN80EVA	16	61	Intermediário	Não atende

Considerações finais

O desenvolvimento deste estudo experimental proporcionou o alcance das seguintes conclusões:

(a) o resíduo de EVA da indústria calçadista se mostrou eficiente na redução dos sons de impacto para o uso como agregado leve em argamassa de contrapiso, além de ser uma alternativa para reduzir o custo de argamassa, bem como dar uma

finalidade ao resíduo que ficaria depositado em aterros;

(b) a incorporação de EVA na argamassa contribuiu positivamente para o isolamento ao ruído de impacto, em todas as porcentagens. Ainda, o traço com a substituição de 100% de agregado miúdo natural por agregado miúdo polimérico proporcionou, comparativamente, um desempenho acústico superior ao sistema de piso e

ainda apresentou resistência mecânica satisfatória para uso em contrapiso; e

(c) a amostra de 1 m² apresentou uma diferença de 2 dB em relação à amostra de 16 m² e sua utilização se mostrou viável em estudos com argamassa leves. Esses resultados, no entanto, não devem ser utilizados com a finalidade de se obter um valor absoluto de isolamento, pois o efeito dos vínculos entre os elementos construtivos e a contribuição das transmissões marginais são de extrema relevância para a determinação do isolamento ao ruído de impacto em sistemas de pisos.

Referências

- ANDRADE, J. J. O. Propriedade dos Polímeros. In: ISAIA, G. C. (Org.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciências e Engenharia de Materiais**. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11579**: cimento portland: determinação da finura por meio da peneira 75 µm (nº 200): método de ensaio. Rio de Janeiro, 1991.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: edificações habitacionais: desempenho. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: edificações habitacionais: desempenho: parte 3: requisitos para sistemas de pisos. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16313**: acústica : terminologia. Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: concreto: ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: agregados para concreto: especificação. Rio de Janeiro, 2005b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: agregados: determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45**: agregados: determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52**: agregado miúdo: determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 65**: cimento Portland: determinação do tempo de pega. Rio de Janeiro, 2003a.
- BEN FRAJ, A.; KISMI, M.; MOUNANGA, P. Valorization of Coarse Rigid Polyurethane Foam Waste in Lightweight Aggregate Concrete. **Construction and Building Materials** v. 24, n. 6, p. 1069–1077, jun. 2010.
- BISTAFA, S. R. **Acústica Aplicada ao Controle do Ruído**. São Paulo: Edgard Blücher, 2006.
- BRANCHER, L. R. *et al.* Acoustic Behavior of Subfloor Lightweight Mortars Containing Micronized Poly (Ethylene Vinyl Acetate) EVA. **Materials**, v. 9, n. 51, p. 1–9, 2016.
- BRANCO, F. G.; GODINHO, L. On the Use of Lightweight Mortars For the Minimization of Impact Sound Transmission. **Construction and Building Materials** v. 45, p. 184–191, ago. 2013.
- BRITISH STANDARD. **EN 12354-2**: building acoustics: estimation of acoustic performance of buildings from the the performance of elements: part 2: impact sound insulation between rooms. 2000.
- D’ALESSANDRO, F.; ASDRUBALI, F.; BALDINELLI, G. Multi-Parametric Characterization of a Sustainable Lightweight Concrete Containing Polymers Derived From Electric Wires. **Construction and Building Materials** v. 68, p. 277–284, out. 2014.
- DESHPANDE, Y. S.; HILLER, J. E. Pore Characterization of Manufactured Aggregates: recycled concrete aggregates and lightweight aggregates. **Materials and Structures** v. 45, n. 1-2, p. 67–79, 15 jun. 2011.
- DOMINGUES, O. A **Acústica nos Edifícios: pavimentos e revestimentos de pavimentos, isolamento a sons de percussão**. 3. ed. Lisboa: LNEC, 2013.
- FAHY, F.; WALKER, J. **Advanced Applications in Acoustics, Noise and Vibration**. New York: Taylor & Francis, 2005.
- GIL, L. New Cork-Based Materials and Applications. **Materials** v. 8, n. 2, p. 625–637, fev. 2015.
- HASSAN, O. A. B. **Building Acoustics and Vibration: Theory and Practice**. London: World Scientific Publishing Company, 2009.

- HERRERO, S.; MAYOR, P.; HERNÁNDEZ-OLIVARES, F. Influence of Proportion and Particle Size Gradation of Rubber From End-of-Life Tires on Mechanical, Thermal and Acoustic properties of plaster-rubber mortars. **Materials & Design** v. 47, p. 633–642, maio 2013.
- HOPKINS, C. **Sound Insulation**. Burlington: Elsevier, 2012.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 10140-3**: acoustics: laboratory measurement of sound insulation of building elements: part 3: measurement of impact sound insulation, 2010a.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 10140-5**: acoustics: laboratory measurement of sound insulation of building elements: part 5: requirements for test facilities and equipment, 2010b.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 16283-2**: acoustics: field measurement of sound insulation in buildings and of building elements: part 2: impact sound insulation, 2014.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 717**: acoustics: rating of sound insulation in buildings and of building elements: part 2: impact sound insulation. Geneva, 2013.
- MADERUELO-SANZ, R.; MARTÍN-CASTIZO, M.; VÍLCHEZ-GÓMEZ, R. The Performance of Resilient Layers Made From Recycled Rubber Fluff For Impact Noise Reduction. **Applied Acoustics** v. 72, n. 11, p. 823–828, nov. 2011.
- MIŠKINIS, K. *et al.* Dependence Between Reduction of Weighted Impact Sound Pressure Level and Specimen Size of Floating Floor Construction. **Materials Science** v. 18, n. 1, p. 93–97, 2012.
- PATRÍCIO, J. V. **Isolamento Sonoro a Sons Aéreos e de Percussão**: metodologias de caracterização. 6. ed. Lisboa: LNEC, 2010.
- PENDHARI, S. S.; KANT, T.; DESAI, Y. M. Application of Polymer Composites in Civil Construction: a general review. **Composite Structures** v. 84, n. 2, p. 114–124, jul. 2008.
- RIBEIRO, W. B. *et al.* Characterization of Polyurethan Skin Agglomerates For Acoustic Insulation From Impact Noise. **Materials Research**, v. 17, p. 210–215, 2014.
- SANTIAGO, E. Q. R. **Utilização de Agregados de EVA e RCD Para a Obtenção de Concretos Leves**. Feria de Santana, 2008. 185 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil e Ambiental) – Escola de Engenharia, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2008.
- STEWART, M. A; CRAIK, R. J. M. Impact Sound Transmission Through a Floating Floor on a Concrete Slab. **Applied Acoustics**, v. 59, p. 353–372, 2000.
- TUTIKIAN, B. F. *et al.* Lightweight Concrete With Eva Recycled Aggregate For Impact Noise Attenuation. **Materiales de Construcción**, v. 19, n. 2, p. 75–88, 2012.
- ZUCHETTO, L. K.; NUNES, M. F. O.; PATRÍCIO, J. V. The Effect of Addition of Layers on Impact Sound Insulation of Floors. In: INTER-NOISE, Hamburg, 2016. **Proceedings...** Hamburg: European Acoustics Association, 2016.

Bernardo Fonseca Tutikian

itt Performance, MPArqUrb e PPGEC | Universidade do Vale do Rio dos Sinos | Universidad de la Costa | Av. Unisinos, 950, Cristo Rei | São Leopoldo - RS - Brasil | CEP 93022-750 | Tel.: (51) 3591-1122 | E-mail: bftutikian@unisinos.br

Maria Fernanda de Oliveira

itt Performance e MPArqUrb | Universidade do Vale do Rio dos Sinos | E-mail: mariaon@unisinos.br

Rodrigo Périco de Souza

itt Performance | Universidade do Vale do Rio dos Sinos | E-mail: rperico@unisinos.br

Letícia Kauer Zuchetto

itt Performance | Universidade do Vale do Rio dos Sinos | E-mail: leticiakauer@gmail.com

Revista Ambiente Construído

Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Av. Osvaldo Aranha, 99 - 3º andar, Centro

Porto Alegre - RS - Brasil

CEP 90035-190

Telefone: +55 (51) 3308-4084

Fax: +55 (51) 3308-4054

www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido

E-mail: ambienteconstruido@ufrgs.br