

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ACÚSTICO DE RECICLADOS DE BORRACHA PARA AUMENTAR O ISOLAMENTO ACÚSTICO

Andreia Pereira¹, Diogo Mateus¹, Paulo Santos¹

¹ ISISE, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia Universidade de Coimbra
{apereira@dec.uc.pt, diogo@dec.uc.pt, pfsantos@dec.uc.pt}

Resumo

O granulado de borracha de pneus, resultante de reciclagem, tem vindo a ser utilizado para desenvolver materiais e soluções construtivas utilizados no sector da construção, de forma a possibilitar a redução do impacto ambiental deste resíduo decorrente da indústria automóvel e em simultâneo promover a melhoria do desempenho térmico e/ou acústico dos edifícios. Uma das aplicações possíveis para estes materiais, encontra-se na construção em “*Light Steel Frame*” (LSF). Devido à muito elevada condutibilidade térmica na zona dos perfis de aço que compõem este tipo de construção, é recomendável a aplicação de “bandas de corte térmico” no topo dos perfis, que podem também introduzir melhorias significativas no aumento do isolamento acústico. Neste contexto, neste artigo serão apresentados e discutidos resultados experimentais, obtidos em laboratório, para diferentes soluções de LSF, com e sem aplicação de “bandas de corte térmico” em reciclado de borracha. Por outro lado, ao nível dos sons de percussão, estes ruídos podem ser muito atenuados utilizando soluções construtivas adequadas, que integram materiais resilientes, com características flexíveis, como é o caso dos reciclados de borracha. Neste trabalho pretende-se também efectuar uma caracterização do desempenho acústico de reciclados de borracha para utilização em pisos flutuantes, através da avaliação da rigidez dinâmica aparente, baseada no método da norma ISO 9052-1.

Palavras-chave: Reciclado de borracha de pneu, bandas de corte térmico, Isolamento aos sons aéreos, LSF, rigidez dinâmica.

Abstract

In the last years, recycled tire granules have been used to manufacture materials and constructive solutions used in the construction industry, so as to reduce the environmental impacts of this waste and improve thermal and acoustic behavior of buildings. One of the possible applications of these materials is in Light Steel Frame (LSF) construction. Due to the high conductivity of the steel structure, it is recommended that thermal bands should be used on the top of the frame, which may also increase the acoustic performance of the partitions. In this paper experimental results are obtained for different types of LSF partitions with thermal bands made with recycled rubber in order to assess the acoustic improvement provided. One other application for resilient materials, such as rubber is related with the reduction of impact sound insulation. In this paper an acoustic assessment on the behavior of this material for use in floating systems is also performed, by testing samples in order to obtain the dynamic stiffness, using the procedure of the ISO 16251-1 standard.

Keywords: Recycle tire granules, thermal break strips, airborne sound insulation, LSF, dynamic stiffness.

PACS no. 43.55.Vj, 43.55T, i43.55.Wk

1 Introdução

O desenvolvimento exponencial da indústria automóvel, marcou o início do crescimento de um resíduo, que consiste em pneus, em fim de ciclo vida, e que representam uma grande quantidade de material com destino a aterros ou para inceneração, com problemas óbvios relacionados com o impacto ambiental negativo significativo. As diretivas europeias 2008/98/EC 1991/31/EC priorizam a reutilização e reciclagem da borracha e proíbem a sua deposição em aterros, pelo que nos últimos anos têm sido encetados esforços no sentido de se encontrarem novas utilizações para os componentes dos pneus em fim de ciclo de vida, designadamente a borracha.

O granulado de borracha de pneu, resultante de reciclagem, tem vindo a ser utilizado para desenvolver materiais e soluções construtivas com desempenho acústico comprovado, designadamente para garantir isolamento acústico e absorção sonora, possibilitando a sua utilização em problemas de controlo de ruído em edifícios ou ambiental (barreiras acústicas ou pavimentos).

Diversos investigadores têm vindo a estudar as propriedades acústicas do granulado de borracha, focando nas propriedades de absorção sonora deste material. Pfretzschener e Rodriguez [1] começaram por identificar que os produtos de borracha reciclada apresentavam um bom desempenho em gamas de frequência alargadas, sendo uma alternativa aos absorventes tradicionais para protecção do ruído de tráfego. Horoshenkov e Swift [2] estudaram de forma detalhada a absorção sonora de granulado de borracha antes e após a sua consolidação, demonstrando a importância do ligante nas propriedades acústicas. Sobral et al. [3] correlacionaram as propriedades de absorção sonora com as propriedades mecânicas. Hong et al. [4] estudaram a melhoria no desempenho acústico conferida pela combinação de estruturas de partículas de borracha de dupla camada com materiais porosos e perfurados obtendo valores satisfatórios de absorção sonora.

Vários trabalhos têm também vindo a demonstrar a eficácia do granulado de borracha reciclada quando incorporado em mantas para utilização em pisos flutuantes, de modo a reduzir os sons de percussão, nos edifícios, devido às suas propriedades intrínsecas, como o fato de permitir velocidades de propagação baixas e a capacidade para absorver/atenuar energia sonora. Relativamente aos materiais desenvolvidos para este tipo de aplicações os parâmetros que influenciam as propriedades do material compósito final, são a dimensão do granulado de borracha, o ligante, sua concentração, grau de compactação das amostras e espessura final [5]. Para promover isolamento a ruídos de impacto é fundamental entender como a densidade, rigidez dinâmica e a compressibilidade da manta afetam o desempenho acústico. Neste contexto, destaca-se aqui o trabalho de Asdrubali e D'Alessandro [6] que efetuaram uma extensa campanha laboratorial focando no desempenho aos ruídos de impacto de amostras feitas com granulado de borracha consolidado com diferentes ligantes onde se avaliou a influência na rigidez dinâmica, das dimensões das partículas, concentração de ligante, espessura da manta e grau de compactação da amostra. Neste trabalho, os autores efetuaram uma comparação com materiais da mesma espessura (existentes no mercado), tendo verificado que é possível obter desempenhos semelhantes. Adicionalmente a borracha permite a manutenção das suas propriedades acústicas por um período de tempo significativo, o que a torna mais vantajosa face a outros materiais que vão perdendo as suas propriedades resilientes ao longo do tempo [7].

A partir da pesquisa bibliográfica efetuada verifica-se que os materiais compósitos, onde se utiliza o granulado de borracha, constituem uma alternativa, permitindo minimizar dois problemas, poluição ambiental e impacto em termos de ruído. Dentro deste contexto, pretende-se neste artigo efectuar uma exploração inicial das possibilidades de utilização de reciclados de borracha para melhorar o desempenho acústico de soluções construtivas. Com este intuito é efectuada uma caracterização inicial do desempenho de materiais existentes no mercado, compostos por reciclados de borracha, visando duas aplicações distintas. Numa primeira parte será analisada a possibilidade de melhoria do isolamento acústico de divisórias leves com estrutura LSF quando se inserem tiras de borracha ao longo dos perfis metálicos que compõe a estrutura da parede. Numa segunda parte é avaliada a rigidez

dinâmica de reciclados de borracha, face a outros materiais existentes no mercado de uso corrente em pisos flutuantes.

2 Isolamento a sons aéreos

Nesta secção será avaliado o desempenho acústico de paredes leves, do tipo LSF, contendo tiras de material resiliente, efetuadas em reciclado de borracha, que são colocadas ao longo dos perfis metálicos, com o objectivo de atenuar a transmissão sonora através destes elementos rígidos. Um aspeto importante que poderá condicionar o desempenho acústico destas soluções consiste no tipo de ligações que são utilizadas para acoplar o gesso cartonado à estrutura metálica, pelo que foram analisadas diferentes tipos de conexões. A Figura 1 ilustra a secção transversal das diferentes paredes leves que foram testadas, onde é possível identificar os diversos materiais utilizados e as condições de montagem. A parede designada por *Test wall 1* será a parede de referência e foi utilizada para averiguar a possibilidade de aumentar o desempenho acústico quando se inserem as tiras de borracha.

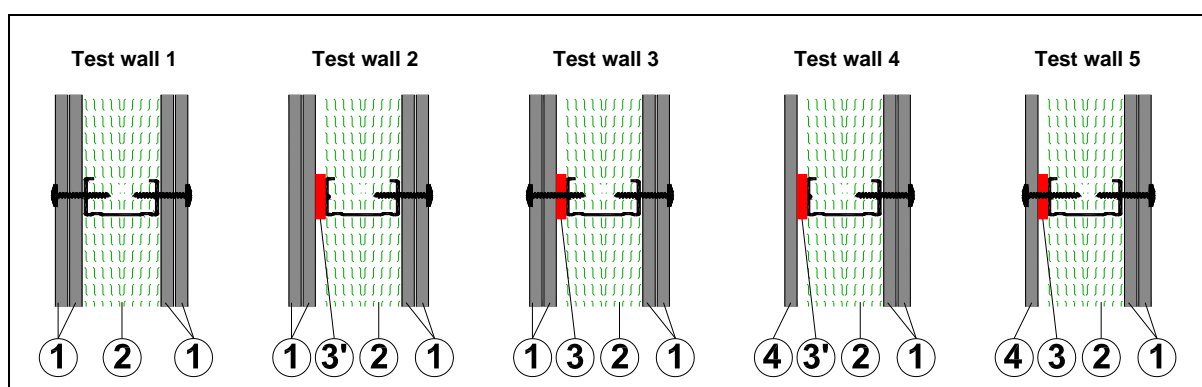


Figura 1: Secção transversal das paredes LSF ensaiadas, onde se ilustra esquematicamente a presença e condições de montagem da tira de borracha. Materiais: 1 – Duas placas de gesso cartonado (12.5+12.5 mm) aparafusadas ao perfil metálico com 90 mm de espessura; 2 - Duas placas de lâ mineral com 45 mm de espessura cada; 3 – Tira de borracha, com 10 mm de espessura, aplicada entre o painel de gesso cartonado e o perfil metálico, aplicada por aparafusamento; 3' - Tira de borracha, com 10 mm de espessura, aplicada entre o painel de gesso cartonado e o perfil metálico, aplicada sem aparafusamento (prensada); 4 – Placa de OSB, com 12 mm de espessura.

Os testes experimentais foram conduzidos no laboratório de acústica do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra, que dispõe de duas câmaras acústicas adjacentes que cumprem com os requisitos da série de normas EN ISO 10140 [8]. As paredes testadas foram introduzidas entre as câmaras acústicas, conforme se observa na Figura 2. O volume da câmara emissora é de 111 m³ e o da câmara receptora de 122 m³. As paredes das câmaras são em betão, garantindo-se que as paredes opostas não são paralelas de modo a evitar a geração de campos estacionários dentro de cada uma das câmaras. Estes compartimentos encontram-se separados entre si de modo a minimizar a transmissão por via marginal e a garantir um elevado isolamento acústico entre eles. As paredes testadas, têm dimensões de 1.25m x 1.50m, tendo sido montadas numa parede de suporte com 10 m², com um desempenho acústico esperado, R_w superior a 62 dB.

A Figura 2 apresenta ainda a cadeia de medição utilizada, indicando as posições de medição e de fonte sonora. As medições foram efectuadas utilizando dois microfones (Bruel & Kjaer, modelo 4155, e GRAS – Sound & Vibration, model 40AF), com os respetivos pré-amplificadores, e um sistema de aquisição de sinal (Symphonie da 01dB). Para a fonte de ruído foi utilizada uma fonte omnidireccional, composta por 12 altifalantes (Modelo DO12 da 01dB), e um amplificador e gerador de sinal (Modelos 700 e RC-10 da 01dB). As medições foram

efetuadas nas câmaras acústicas, de acordo com os procedimentos de medição definidos na série de normas ISO 10140, com a fonte posicionada em duas posições diferentes na câmara emissora e em 5 posições de microfone em cada uma das câmaras acústicas. Foram ainda registadas as acelerações em várias zonas do provete e dos elementos adjacentes, com vista a controlar a relevância das transmissões sonoras fora do provete de ensaio.

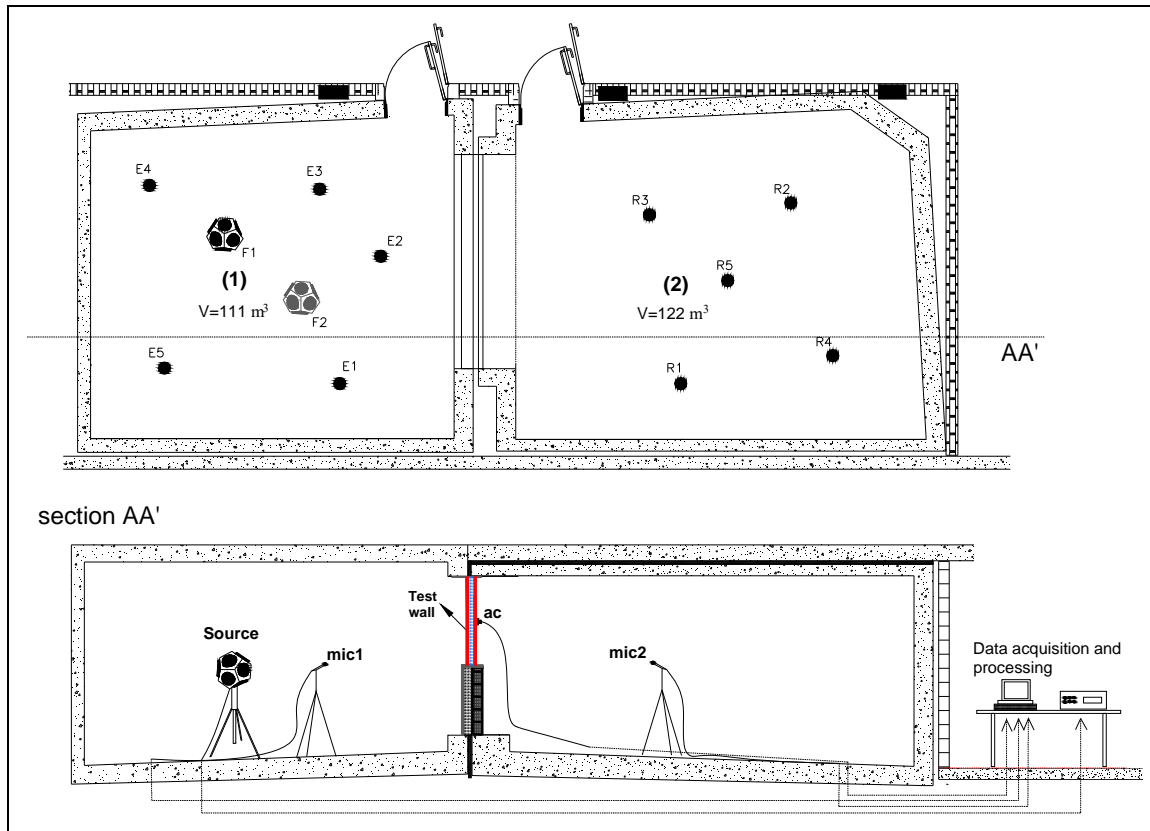


Figura 2: Esquema das câmaras acústicas ilustrando as posições de fonte, recetores e sistema de aquisição de sinal.

Na Figura 3 encontram-se as curvas de redução sonora obtidas para as diferentes paredes. Através da análise destes resultados, verifica-se que o painel de referência, designado por *Test Wall 1* apresenta um índice de redução sonora de $R_w=47$ dB, valor que se encontra abaixo do desempenho esperado para esta parede quando comparado com soluções semelhantes. No entanto, testadas com áreas de 10 m^2 (onde o resultado de R_w foi cerca de cerca de 3 dB melhor). No entanto, se adicionarmos os termos de correção (C e C_r), o desempenho acústico está dentro dos valores obtidos para soluções idênticas disponíveis no mercado. Esta discrepância de resultados deverá estar relacionada com as dimensões da amostra que foi testada, que correspondem a uma área de 1.85 m^2 , enquanto, no ensaio normalizado as dimensões são de cerca de 10 m^2 .

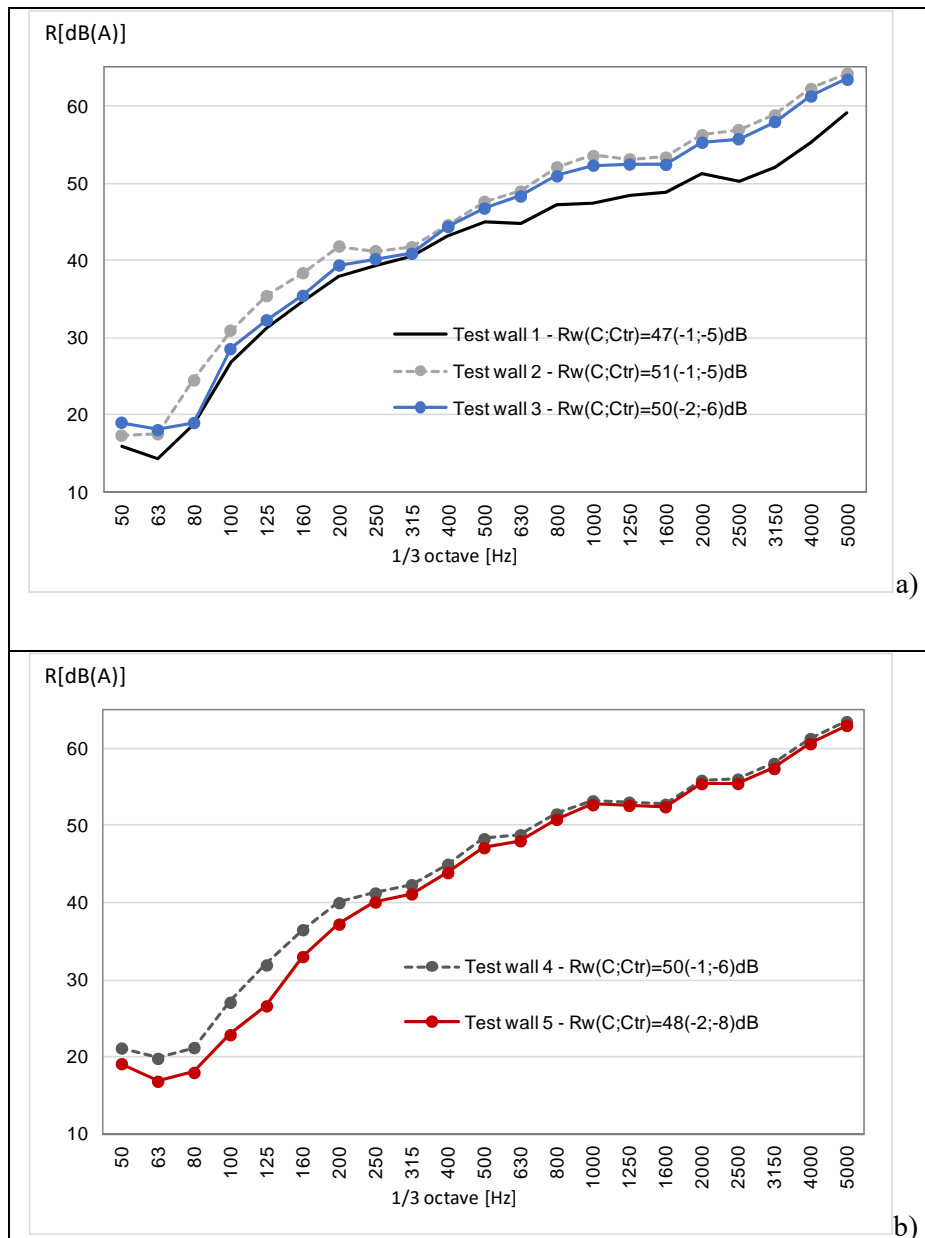


Figura 3: Curvas de redução sonora resultantes dos ensaios efetuados às paredes em LSF: a) Paredes em gesso cartonado; b) Paredes em gesso cartonado+OSB.

Através da análise destes resultados, verifica-se que a incorporação da tira de borracha num dos lados do perfil metálico conduz a um aumento significativo no desempenho acústico, obtendo-se um valor de R_w 3 ou 4 dB acima do registado na parede de referência. Também é possível notar que o desempenho melhor é obtido quando a montagem da tira é feita sem a utilização de parafusos (Walls #2 e #4). Este resultado evidencia que se for utilizada uma ligação flexível, é possível obter um desempenho acústico superior.

3 Rigidez dinâmica

Nesta secção são apresentados os resultados da avaliação da rigidez dinâmica aparente de materiais resilientes, tendo por base a norma ISO 9052-1 [9]. De acordo com esta norma a rigidez dinâmica aparente, s'_t , por unidade de área de amostra (MN/m^3), é obtida através do método da ressonância. De acordo com este método, a frequência fundamental, na vertical, de um sistema mola-massa, é primeiramente obtida, em que a mola corresponde ao material resiliente e a massa a uma placa metálica apoiada sobre o material. A frequência de ressonância deste sistema relaciona-se com a rigidez dinâmica aparente através da seguinte expressão:

$$f_r = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{s'_t}{m'_t}} \quad (1)$$

em que s'_t corresponde à rigidez dinâmica aparente (MN/m^3) e m'_t à massa total por unidade de área utilizada durante o teste (kg/m^3). A rigidez dinâmica aparente é obtida a partir da expressão anterior fazendo:

$$s'_t = 4\pi^2 m'_t f_r^2 \quad (2)$$

De acordo com norma ISO 9052-1 [9], deverão ser ensaiadas, pelo menos, 3 amostras do material resiliente. Estas amostras deverão ser quadradas com dimensões $200 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$ e sobre elas, deverá ser colocada uma película de plástico, onde será aplicada uma camada de gesso de, pelo menos, 5 mm, de modo a retirar eventuais irregularidades existentes na superfície da amostra. Por fim, e antes de o gesso começar a secar, é colocada uma placa de carga (chapa de aço), que deverá ser quadrada com $(200 \pm 3) \text{ mm} \times (200 \pm 3) \text{ mm}$ e com uma massa de aproximadamente 8 kg. A carga total de cada provete, incluindo acelerómetro, deve ser de $8 \text{ kg} \pm 0.5 \text{ kg}$.

Após um período de secagem do gesso de $24 \text{ h} \pm 2 \text{ h}$, os ensaios são realizados numa base de inércia elevada de modo a garantir que, a vibração desta base possa ser desprezável em relação à de vibração da placa de carga.

Na Tabela 1 são apresentados os materiais testados e espessuras correspondentes. A Figura 4 apresenta imagens das várias amostras destes materiais que foram analisadas. Foram testadas várias amostras de aglomerado de borracha com as seguintes características: diferentes densidades e espessura idêntica; densidade aproximada e diferente espessura; uma amostra de espessura irregular (pitonada) e um aglomerado de borracha e cortiça. De modo a possibilitar a comparação de desempenho foi seleccionada um polietileno reticulado com 5 mm, que corresponde a um material utilizado na construção corrente, em pisos flutuantes. Foram determinadas as massas volúmicas aparentes de cada amostra, a partir da pesagem da amostra e da determinação do volume da mesma.

O ensaio de rigidez dinâmica consiste na excitação do sistema através de um martelo de impacto sobre a placa de carga, sendo a vibração medida através de um acelerómetro que é colocado no centro da mesma. A excitação do sistema deverá ser provocada na zona central da placa, de modo a que ocorram apenas vibrações verticais.

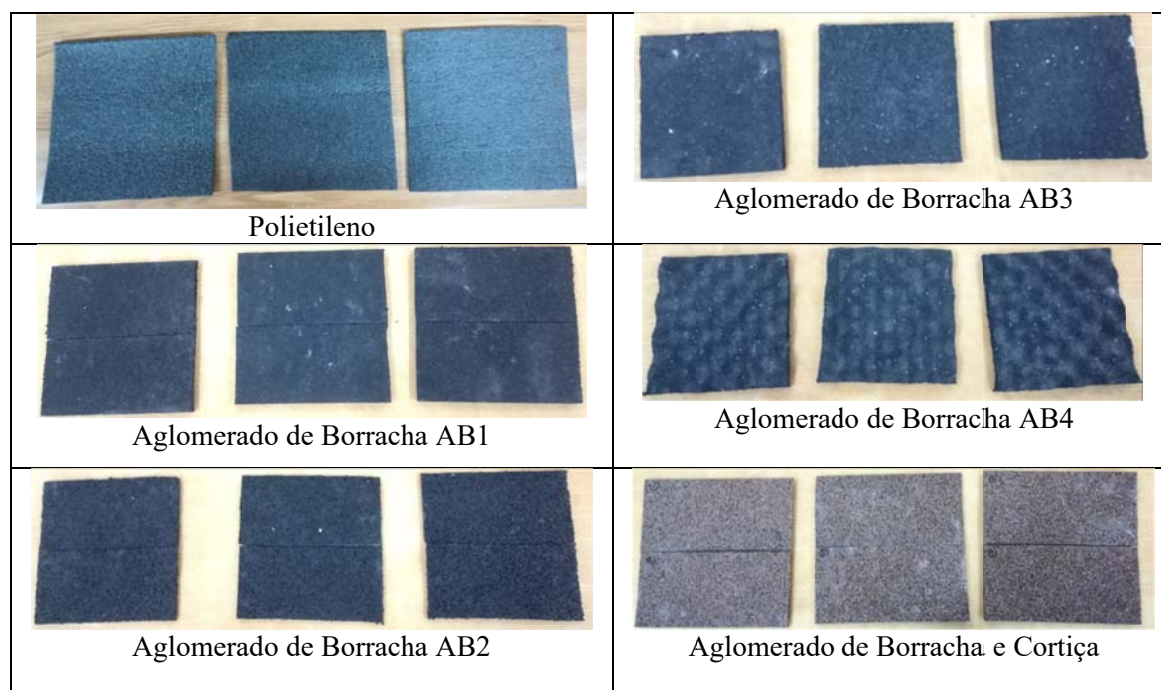


Figura 4 - Imagens das diversas amostras testadas.

Tabela 1 – Materiais testados e respetivas características principais.

Material	Espessura [mm]	Massa volúmica média [kg/m ³]
Polietileno (1ª amostra)	5	47,3
Polietileno (2ª amostra)		
Polietileno (3ª amostra)		
Aglomerado de Borracha AB1 (1ª Amostra)	5	663,4
Aglomerado de Borracha AB1 (2ª Amostra)		
Aglomerado de Borracha AB1 (3ª Amostra)		
Aglomerado de Borracha AB2 (1ª Amostra)	5	777,2
Aglomerado de Borracha AB2 (2ª Amostra)		
Aglomerado de Borracha AB2 (3ª Amostra)		
Aglomerado de Borracha AB3 (1ª Amostra)	10	790,0
Aglomerado de Borracha AB3 (2ª Amostra)		
Aglomerado de Borracha AB3 (3ª Amostra)		
Aglomerado de Borracha AB4 (1ª amostra)	15/7	832,5
Aglomerado de Borracha AB4 (2ª amostra)		
Aglomerado de Borracha AB4 (3ª amostra)		
Aglomerado de Borracha e Cortiça (1ª Amostra)	5	623,3
Aglomerado de Borracha e Cortiça (2ª Amostra)		
Aglomerado de Borracha e Cortiça (3ª Amostra)		

Nos ensaios realizados registaram-se acelerações e forças, sendo possível apresentar a aceleração do sistema. Assim, a função transferência de resposta em frequência, permite identificar a frequência para a qual ocorre a ressonância do sistema, conforme se exemplifica na Figura 5.

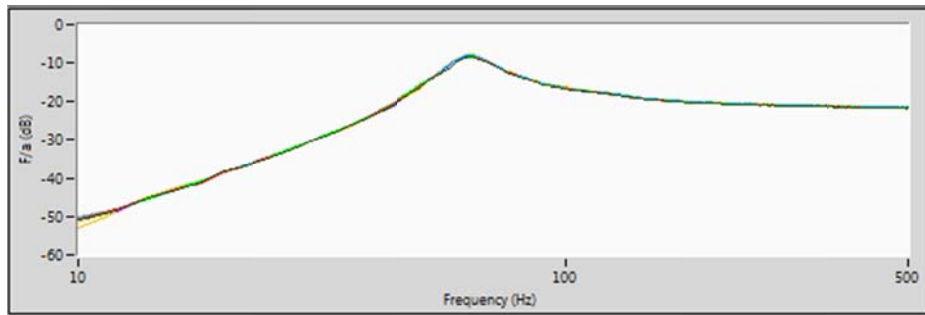


Figura 5 – Exemplo de uma função de transferência.

Para cada amostra de material resiliente, o acelerómetro foi colocado no centro da placa de carga e excitou-se o sistema, através de um martelo de impacto, em quatro pontos situados na proximidade do acelerómetro. Foi recolhida informação acerca da aceleração e da força para cada um dos quatro pontos de excitação do sistema. Para cada uma das medições, foi obtida a função de aceleração na qual foi identificado o pico de ressonância e a correspondente frequência de ressonância. Através da expressão (2), determinou-se a rigidez dinâmica aparente para cada uma das medições. Assim, a rigidez dinâmica aparente de cada uma das várias amostras de material resiliente é uma média de doze valores obtidos, devendo o desvio padrão ser inferior a 10%.

Os resultados finais encontram-se na Tabela 2. Refira-se que os ensaios foram realizados primeiro sem efectuar a aplicação do gesso, e seguidamente aplicando a camada de gesso e aguardando pela respectiva secagem (conforme recomenda a norma). Este procedimento torna a preparação do ensaio mais morosa, pelo que se pretendia avaliar se numa fase preliminar de desenvolvimento de amostras seria dispensável a aplicação desta camada de gesso.

Através da análise desta tabela é possível verificar que as amostras de aglomerado de borracha com diferente massa volúmica apresentam valores de rigidez dinâmica distintos, sendo o melhor resultado correspondente ao do material menos denso (34 MN/m^3). Quando comparamos amostras com densidade semelhante e diferente espessura, o valor da rigidez dinâmica aparente é bastante aproximado (57 e 56 MN/m^3). Relativamente ao aglomerado de borracha, com forma pitonada e espessura variável, entre 15 e 7 mm, que resulta numa espessura média de 11 mm, apesar de mais denso, verifica-se que a rigidez dinâmica é bastante inferior (melhor) à do aglomerado de borracha com 10 mm (16 MN/m^3). Por último o material que apresenta pior resultado corresponde ao do aglomerado de borracha e cortiça com um valor de 131 MN/m^3 .

Comparando os resultados dos aglomerados de borracha com os obtidos para o polietileno observa-se que a borracha permite ter um desempenho acústico aproximado ou mesmo melhorado.

Relativamente aos ensaios realizados sem a aplicação da camada de gesso cartonado constata-se que, com exceção do aglomerado de borracha e cortiça, os resultados obtidos são muito próximos.

Tabela 2 – Resultados referentes à rigidez dinâmica dos materiais testados

Material	fr sem gesso [Hz]	s't sem gesso [MN/m ³]	fr com gesso [Hz]	fr com gesso [Hz]	s't com gesso [MN/m ³]	s't com gesso [MN/m ³]
Polietileno (1ª amostra)	71	54	65,0	65	47	47
Polietileno (2ª amostra)			63,5		45	
Polietileno (3ª amostra)			66,5		49	
Aglomerado de Borracha AB1 (1ª Amostra)	58	36	58,0	53	40	34
Aglomerado de Borracha AB1 (2ª Amostra)			40,0		18	
Aglomerado de Borracha AB1 (3ª Amostra)			61,5		43	
Aglomerado de Borracha AB2 (1ª Amostra)	72	56	76,0	72	65	57
Aglomerado de Borracha AB2 (2ª Amostra)			70,5		55	
Aglomerado de Borracha AB2 (3ª Amostra)			69,0		51	
Aglomerado de Borracha AB3 (1ª Amostra)	76	61	71,5	71	57	56
Aglomerado de Borracha AB3 (2ª Amostra)			71,0		57	
Aglomerado de Borracha AB3 (3ª Amostra)			69,5		54	
Aglomerado de Borracha AB4 (1ª amostra)	39	16	38,5	38	16	16
Aglomerado de Borracha AB4 (2ª amostra)			38,0		16	
Aglomerado de Borracha AB4 (3ª amostra)			36,0		15	
Aglomerado de Borracha e Cortiça (1ª Amostra)	131	184	116,0	107	154	131
Aglomerado de Borracha e Cortiça (2ª Amostra)			106,5		129	
Aglomerado de Borracha e Cortiça (3ª Amostra)			97,5		109	

4 Conclusões

Neste trabalho foi realizado um estudo preliminar em que se pretende avaliar as possibilidades de utilização de reciclados de borracha para melhorar o desempenho acústico de soluções construtivas. Para o efeito foi efectuada uma caracterização inicial do desempenho de materiais existentes no mercado, compostos por reciclados de borracha, visando duas aplicações distintas. Numa primeira parte foi analisada a possibilidade de melhoria do isolamento acústico de divisórias leves, com estrutura em LSF, quando se inserem tiras de borracha ao longo dos perfis metálicos que compõem a estrutura da parede. Numa segunda parte foi avaliada a rigidez dinâmica de reciclados de borracha, face ao polietileno. Verificou-se que as tiras de borracha quando aplicadas nos topos dos perfis, podem melhorar o desempenho acústico de divisória. No entanto, o sistema de fixação destas bandas (e das divisórias ao perfil), tem também contributo importante no ganho que se pode conseguir. Relativamente à rigidez dinâmica confirma-se que o aglomerado de borracha permite obter resultados bastante satisfatórios e face ao polietileno poderá até possibilitar a obtenção de um melhor desempenho.

Agradecimentos

Parte das soluções construtivas estudadas no âmbito deste trabalho fazem parte do projeto de investigação “Tyre4BuildIns – *Recycled tyre rubber resin-bonded for building insulation systems towards energy efficiency*” – apoiado pelo FEDER através do Programa Operacional de Fatores de Competitividade - COMPETE - e por fundos nacionais da Fundação para a Ciência e Tecnologia - FCT - no âmbito do projeto POCI-01-0145-FEDER-032061.



Referências

- [1] J. Pfretzschner, R. M. Rodriguez, Acoustic properties of rubber crumbs, *Polymer Testing* (18), 1999, 81–92.
- [2] K. V. Horoshenkov, M. J. Swift, The effect of consolidation on the acoustic properties of loose rubber granulates, *Applied Acoustics*, 62, 2001, pp.665-690.
- [3] M. Sobral, A.J.B. Samagaio, J.M.F. Ferreira b, J.A. Labrincha, Mechanical and acoustical characteristics of bound rubber granulate, *Journal of Materials Processing Technology*, 142, 2003, pp.427–433.
- [4] Zhou Hong, Li Bo, Huang Guangsu, He Jia, A novel composite sound absorber with recycled rubber particles, *Journal of Sound and Vibration*, 304, 2007, pp.400–406.
- [5] Asdrubali F., Baldinelli G., D’Alessandro F., Schiavoni S. *Manufacturing process optimization of resilient materials made from recycled tyre granules granules*, Proceedings of the 16th ICSV, Krakow, Poland, 2009
- [6] Asdrubali F., D’Alessandro F., Impact Sound Insulation and Viscoelastic Properties of Resilient Materials made from Recycled Tyre Granules, *International Journal of Acoustics and Vibration*, 16(3), 2011, pp. 119-123.
- [7] L. Lapčík Jr., P. Augustin, A. Pístěk, L. Bujnoch, Measurement of the dynamic stiffness of recycled rubber based railway track mats according to DB-TL 918.071 standard, *Applied Acoustics* 62, 2001, pp.1123-1128.
- [8] Standards ISO 10140 (2010). Acoustics. Laboratory measurement of sound insulation of building elements.
- [9] Norma ISO 9052-1 (1989). Acoustics. Determination of dynamic stiffness. Part 1: Materials used under floating floors in dwellings.