

Avaliação do isolamento acústico de protótipo revestido com argamassa adicionada de EVA e vermiculita conforme critérios da NBR 15575-4

Francisco Ygor Moreira Menezes^[1], Sara Jamille Marques de Souza^[2], Cícero Joelson Vieira Silva^[3]

[1] ygor.moreira.eng@gmail.com. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Campus Cajazeiras.

[2] sarajamille03@gmail.com. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Campus Cajazeiras.

[3] cjoelson@ymail.com. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Campus Cajazeiras.

Resumo

A preferência por determinados tipos de materiais e a tecnologia construtiva implicam em circunstâncias que podem agregar características de forma a aprimorar as condições de conforto sonoro de edificações, além de influenciar nas mais variadas propriedades que se tem em um sistema construtivo. Desta forma, este trabalho tem por objetivo realizar uma análise, segundo critérios da NBR 15575-4 (ABNT, 2013), Edificações Habitacionais – Desempenho, Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas (SVVIE), do conforto acústico de um Sistema de Vedação Vertical (SVV) composto por argamassa de revestimento acrescida da junção entre Etileno Acetato de Vinila (EVA) e vermiculita, com 1,25% em relação à massa da areia, e traço de 1:1:6. Tratou-se de um trabalho experimental no qual, do ponto de vista metodológico, com base na NBR ISO 10052 (ABNT, 2020), Acústica — Medições em campo de isolamento a ruído aéreo e de impacto e de sons de equipamentos prediais (Método simplificado), realizou-se testes para avaliação do isolamento acústico e, em seguida, recorreu-se a NBR 15575-4 (ABNT, 2013) para classificação e avaliação do conforto acústico. Em conformidade com os métodos utilizados obteve-se, como principais resultados a classificação do isolamento acústico no protótipo como de nível superior, com $D_{2m,nT,w}$ de 32 dB.

Palavras-chave: Conforto acústico. Materiais alternativos. Argamassa de revestimento.

Abstract

The preference for certain types of materials and the constructive technology imply circumstances that may aggregate characteristics in order to improve the conditions of the buildings sound comfort, in addition to influencing the most varied properties that are in a constructive system. In this way, this work aims to perform an analysis based on the NBR 15575-4 (ABNT, 2013), Residential Buildings – Performance, Part 4: Internal and external vertical sealing systems (IEVSS), of the acoustic comfort of a Vertical Sealing System (VSS) composed of coating mortar added to the union between Ethylene Vinyl Acetate (EVA) and vermiculite, with 1.25% relative to the sand mass, and a rate of 1:1:6. It was an experimental work in which, from the methodological point of view, based on NBR ISO 10052 (ABNT, 2020), Acoustics – Field measurements of airborne and impact sound insulation and of service equipment sound (Survey Method), tests were performed to evaluate the acoustic insulation, and then NBR 15575-4 (ABNT, 2013) was used for classification and evaluation of the acoustic comfort. In accordance with the used methods, were obtained, as the main results, the classification of the acoustic insulation in the prototype as superior level, with $D_{2m,nT,w}$ de 32 dB.

Keywords: Acoustic comfort; Alternative materials; Coating mortar.

1 Introdução

A busca por técnicas construtivas eficientes e com pouco impacto ao meio ambiente se tornou, ao longo do progresso da engenharia, uma discussão pertinente no meio científico e no

mercado de trabalho. Em sua pesquisa, Figueiredo e Silva (2010), expõem que alguns critérios são de extrema importância para a construção de edificações como a diminuição da geração de resíduos sólidos, diminuição dos impactos provocados pela construção nos

ecossistemas, máxima qualidade na projeção do interior de ambientes incluindo conforto térmico e sonoro.

O desempenho eficiente dos Sistemas de Vedação Vertical (SVV) está correlacionado ao meio. Desta forma, Friedrich (2010) argumenta a respeito de causas das crescentes indagações sobre este assunto em edificações relatando que uma das justificativas seria o desenvolvimento desestruturado de grandes centros urbanos proveniente de fatores como o desenvolvimento tecnológico. Com isso, é possível destacar a importância dos SVVs que influenciam na proteção contra ruídos, uma vez que, a depender do índice de redução sonora do agrupamento de todos os materiais constituintes da parede, o desempenho deste isolamento será inferior ou superior.

Por conseguinte, evidencia-se a existência de critérios além de resistência mecânica e durabilidade dos materiais utilizados na construção de uma residência, baseados nas normas de desempenho NBR 15575-1 (ABNT, 2013) e NBR 15575-4 (ABNT, 2013), que impõem delimitações e exigências técnicas que atendam às necessidades do usuário e estabelecem critérios para o conforto no interior de edificações.

À vista disso, existe a possibilidade de utilização de materiais convencionais e não convencionais em argamassas, com a finalidade de integrar características ao composto, agindo de forma benéfica e maximizando as propriedades já existentes. Uma vez que, se podem analisar as diversas interações que ocorrem entre uma adição e a matriz cimentícia da mistura, sendo possível observar tais melhorias nas propriedades da argamassa.

Em paralelo a isto e dado que é persistente a busca por novos tipos de materiais, sejam eles naturais ou oriundos de resíduos sólidos, autores como Garlet (1998), Lucas e Benatti (2008), Orth, Baldin e Zanotelli (2014), Rocha (2008), destacam que os métodos industriais alavancaram a produção de resíduos sólidos, aumentando o consumo e a exploração de novos materiais. Já Andrade e Guimarães (2017) ressaltam a importância da reutilização e reciclagem de tais resíduos.

A partir da indústria e perante as consequências ocasionadas pelo descarte de resíduos sólidos, tem-se buscado reaproveitar materiais que antes seriam descartados. Deste modo, tratando-se de resíduos industriais nota-se

a produção calçadista, conhecida como um dos processos de produção que geram uma ampla parcela de resíduos sólidos, onde, dentre estes, destaca-se o Etileno Acetato de Vinila (EVA), que possui características favoráveis para utilização em adições e substituições de agregados naturais no mercado da construção civil.

Por outro lado, com relação aos materiais de origem natural, Cintra (2013) explica que a vermiculita expandida possui importantes aspectos que influenciam na estrutura das argamassas com relação ao peso estrutural, isolamento térmico e acústico, incombustibilidade, entre outras propriedades.

Assim, a partir dos pontos expostos, se torna evidente que encontrar materiais que possuam condições e características favoráveis para serem utilizados na construção é um grande objetivo assim como, construir um ambiente com condições que atendam a um padrão de alta qualidade com materiais que não agridam ao meio ambiente.

Percebendo a importância desta questão e reconhecendo os obstáculos em utilizar novos materiais na construção civil, esta pesquisa tem a intenção de realizar a avaliação e classificação, segundo critérios da NBR 15575-4 (ABNT, 2013), do conforto acústico de um protótipo construído a partir de paredes em alvenaria cerâmica, com Sistema de Vedação Vertical (SVV) composto por argamassa de revestimento acrescida da junção entre Etileno Acetato de Vinila (EVA) e vermiculita, com 1,25% em relação à massa da areia, e traço de 1:1:6.

2 Referencial teórico

Com a finalidade de realizar uma análise conceitual recorreu-se a autores como Brosler (2011), Rocha *et al.* (2013), Ugarte, Sampaio e França (2008), Cintra (2013) e Simões *et al.* (2011), discutindo-se, desta forma, sobre as questões a seguir.

2.1 Propriedades do EVA e vermiculita em argamassas de revestimento

Em estudos como o de Rocha *et al.* (2013) verificou-se que o EVA possui uma baixa resistência à compressão axial, não sendo indicado para adição em concretos estruturais. Contudo, em sua pesquisa eles identificaram

algumas características como baixo peso específico, considerável resistência ao impacto, melhoria do acabamento e finalização de revestimentos de paredes, que mostram, dessa forma, o potencial que este tem para ser inserido em diversas áreas da construção, agregando e/ou melhorando propriedades já existentes em argamassas e concretos.

Assim, ao utilizar o EVA como agregado em adição às argamassas e/ou concretos, a depender da porcentagem, tem-se uma melhora significativa das propriedades já existentes. Conforme Brancher (2016), algumas características que este material poderá agregar aos elementos construtivos consistem em:

- Alívio de cargas: devido ao seu baixo peso específico implicando em estruturas mais leves com menos custos (redução de aço e concreto);
- Conforto térmico e acústico: o EVA possui uma estrutura porosa, na qual as partículas de cimento se depositam superficialmente sob as partículas de EVA implicando dessa forma, em um aumento no número de vazios e assim, em uma redução da resistência mecânica. Porém, ocorrerá uma maior dissipação de energia mecânica, uma vez que, devido o material possuir características elásticas, ocorrerá amortecimento da energia cinética (no interior do material) e um aumento no tempo de contato resultando em redução de ruídos;
- Aumento do fator A/C: devido a porosidade apresentada nas partículas de EVA e a sua baixa granulometria, as argamassas acrescidas deste agregado absorverão uma maior quantidade de água.

Dessa forma, este material poderá agregar uma série de particularidades importantes às argamassas de revestimento em paredes de alvenaria, uma vez que, estas não sofrem grandes esforços de compressão, contudo trabalham como uma camada de vedação em residências que além de revestir, implicam em isolar o ambiente externo do interno, garantindo ao proprietário um conforto apropriado em termos de temperatura e som.

Em paralelo, quanto a vermiculita, a NBR 11355 (ABNT, 2015) a define como um agregado de origem mineral, incombustível, que sofre expansão ao ser submetido a altas temperaturas. Ugarte, Sampaio e França (2008) explicam que a vermiculita é composta por vários minerais como ferro, magnésio, alumínio, entre outros, e que possui uma estrutura micáceo-

lamelar e clivagem basal. Os pesquisadores ainda retratam que a vermiculita em sua forma expandida possui características como: baixa massa específica aparente, propriedades térmicas e acústicas, adesão, resistência à formação de rachaduras e enrugamentos, além de ser um material não abrasivo, inodoro e não cancerígeno.

Ugarte, Sampaio e França (2008) explicam ainda que a vermiculita é comercializada em sua forma natural. Contudo, o uso desta é limitada necessitando passar por um processo de expansão térmica que ocorreria devido ao que Cintra (2013) trata como esfoliação ou expansão, que consiste na exposição a altas temperaturas acarretando evaporação da água localizada no interior do mineral, expandindo-o.

Menezes et al. (2018) enfatiza que agregados leves em argamassas de vedação é uma opção pertinente para o mercado da construção civil, uma vez que as argamassas de revestimento convencionais não possuem características de isolamento térmico e acústico consideráveis.

Desta forma, agregar materiais que possam somar às características já existentes propriedades como as de isolamento, é promissor.

2.2 Conforto acústico em residências unifamiliares

É sabido que grandes centros urbanos produzem uma quantidade excessiva de ruídos, segundo Cintra (2013), oriundos em grande parte, por um amplo tráfego de transportes e obras da construção civil. Ressaltando ainda sobre ruídos internos, que podem ser derivados de equipamentos, vizinhança e tráfego de pessoas. Assim, tais ruídos, além de causarem incômodo aos proprietários de imóveis, podem acarretar doenças, gerando custo e insatisfação.

Melo e Andrade (2019) ressaltam que para reduzir o ruído em ambientes residenciais é necessário que haja condições mínimas que ofereçam conforto aos usuários. Com isso, a NBR 15575-4 (ABNT, 2013), Edificações habitacionais – Desempenho, Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE, delimita parâmetros de qualidade para os Sistemas de Vedação Vertical Internos e Externos (SVVIE), possibilitando ao usuário um conforto adequado. Os métodos de verificação do desempenho acústico citados nesta norma são

apresentados por normas internacionais, descritos como:

- Método de precisão: conforme a ISO 10140-2, este ensaia em laboratório diversos elementos construtivos, como janelas e paredes, a fim de determinar o nível de isolamento sonoro proporcionando assim, valores de referência.

- Método de engenharia: determina em campo o isolamento sonoro global de SVVIE, (ISO 140-5) e SVVI (ISO 140-4), no caso de fachadas e paredes internas, respectivamente.

- Método simplificado de campo: descrito pela NBR ISO 10052 (ABNT, 2020), este determina a capacidade de isolamento sonoro de recintos externos e internos de forma simples, em locais onde não se possui dispositivos para medição do tempo de reverberação, no qual a NBR 12179 (ABNT, 1992) trata como tempo no qual o ruído deixa de ser audível em um ambiente, após cessar emissão sonora.

Os parâmetros acústicos analisados pela NBR 15575-4 (ABNT, 2013) são descritos na Tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros acústicos de verificação

Símbolo	Descrição	Norma	Aplicação
R_w	Índice de Redução Sonora Ponderado	ISO 10140-2 ISO 717-1	Componentes, em laboratório.
$D_{nT,w}$	Diferença Padronizada de Nível Ponderada	ISO 140-4 ISO 717-1	Vedações verticais e horizontais internas, em edificações (paredes etc.).
$D_{2m,nT,w}$	Diferença Padronizada de Nível Ponderada a 2 m de distância da fachada	ISO 140-5 ISO 717-1	Fachadas, em edificações. Fachadas e coberturas em casas térreas e sobrados.

Fonte: NBR 15575-4 (ABNT, 2013, p. 28)

A NBR 12179 (ABNT, 1992), que trata de condições específicas do isolamento acústico em recintos fechados, define ruído como uma combinação de sons que não é regido por nenhuma Lei. Este ainda pode ser classificado em ruído aéreo, som produzido e conduzido através do ar; e ruído de impacto, som produzido por impactos e transmitido através do ar. O som, por sua vez, se propaga em forma de ondas onde, de acordo com Simões *et al.* (2011), o número de ciclos por segundo destas ondas é chamado de frequência sonora, dada em Hertz (Hz). Tem-se, ainda, o nível de pressão sonora que se trata da intensidade do som.

Cintra (2013) explica que a frequência sonora é dividida em bandas: banda de oitava e banda de terço de oitava. O ser humano não consegue distinguir tais frequências, contudo elas existem. Desta forma, a autora esclarece que as bandas de oitava são divisões da frequência da sua largura em uma oitava, onde a próxima frequência será múltipla da anterior, enquanto que as bandas de terço de oitava funcionam de forma semelhante, exceto pela separação das frequências por um terço de oitava.

Outro ponto merecedor de destaque encontra-se no índice de reverberação. Este, conforme NBR 12179 (ABNT, 1992), se trata do “tempo

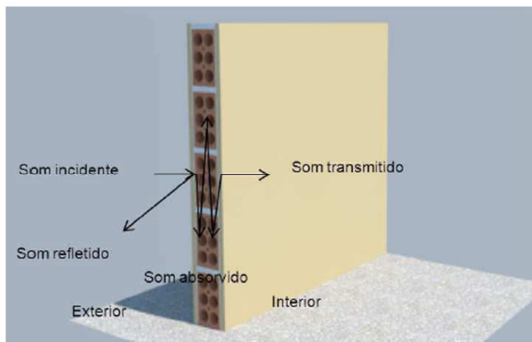
necessário para que um som deixe de ser ouvido”. Ele pode ser determinado a partir da NBR ISO 10052 (ABNT, 2020).

Mateus (2008) salienta que para verificar o desempenho sonoro de um ambiente é necessário esclarecer que o ouvido humano não responde de forma linear a mudanças de frequência. Desta forma, para compensar a audição humana os dispositivos leitores de pressão sonora são munidos de filtros que ajustam o som captado ao som percebido pelo ouvido humano. Assim, os principais filtros, ou curvas, de ponderação de frequência convencionados são: curva A, B e C.

Segundo Da Paz e Zannin (2014), a curva de ponderação A é comumente a mais utilizada entre as três citadas acima para estudos de conforto acústico devido a sua equivalência à percepção humana, uma vez que é sensível apenas às frequências intermediárias. A curva C é indicada para frequências muito altas. Por sua vez, a curva B, pouco utilizada, é intermediária a A e C.

Em se tratando das alvenarias de vedação, Cintra (2013) explica que ao entrar em contato com a alvenaria o som poderá se propagar de três formas distintas: incidente, absorvido ou refletido, como mostra a Figura 1.

Figura 1 – Propagação do som na alvenaria



Fonte: Cintra (2013)

A proporção de cada forma de propagação irá depender de várias condições, como o ambiente interno a edificação, as técnicas construtivas empregadas, os materiais que irão compor a alvenaria, entre outros fatores, que acarretarão na redução ou elevação da parcela de som transmitido.

Ademais, a necessidade de desenvolver técnicas capazes de aumentar o conforto em edificações está relacionada ao bem estar individual, de forma a melhorar a qualidade de vida das pessoas. Com isso, o estudo dos materiais e das técnicas construtivas que edificam uma residência se torna algo considerável para elucidar tais questões.

3 Método da pesquisa

Para desenvolvimento deste projeto, realizou-se uma análise de isolamento sonoro baseado nas normas NBR ISO 10052 (ABNT, 2020), EN ISO 717-1 e NBR 15575-4 (ABNT, 2013), em um protótipo de alvenaria.

Este possui dimensões de 2,45 m x 2,45 m, com um pé direito de 1,98 m, construído a partir de paredes de alvenaria com blocos cerâmicos de 8 furos, de 9x19x19cm, e com SVVIE composto por chapisco (1:3) (0,5 cm de espessura) e emboço (1:1:6) (2 cm de espessura), produzidos a partir de argamassa adicionada do composto de EVA (0,625% de adição) e vermiculita (0,625% de adição). No ambiente construiu-se, ainda, forro de gesso com espessura de 2 cm, telhado de uma água com cobertura em telha ondulada de fibrocimento e esquadria (porta e janela) de madeira.

Desta forma, trata-se de um ambiente fechado com características de um cômodo residencial para simular as condições reais de um ambiente domiciliar, como expõe a Figura 2.

Figura 2 – Protótipo



Fonte: Autoria própria (2020)

Para a medição do comportamento sonoro do protótipo recorreu-se ao método Análise do Isolamento Sonoro Aéreo de Fachadas descrito no método simplificado de campo, regulado pela NBR ISO 10052 (ABNT, 2020) e, para avaliação dos dados obtidos, considerou-se a norma EN ISO 717-1 e a NBR 15575-4 (ABNT, 2013) que possui parâmetros de referência, delimitando critérios e valores mínimos de isolamento acústico.

Empregou-se, como principal equipamento, um sonômetro (decibelímetro) multifuncional THDL-400 que opera em 4 faixas com nível de pressão sonora de 35 a 130 dB, resolução de 0,1 dB e precisão de $\pm 3,5$ dB. Este trabalha entre as frequências de 30 Hz a 10 kHz, programado para utilizar a faixa de ponderação de frequência dB (A), curva A. Como fonte emissora de ruído, utilizou-se uma caixa de som.

Quanto aos níveis de ruídos, seguiram-se as orientações da NBR ISO 10052 (ABNT, 2020) onde, se mediu a pressão sonora a partir de frequências em bandas de oitava, com as faixas de 125, 250, 500, 1000 e 2000 Hz.

Assim, realizou-se os seguintes procedimentos, de acordo com NBR ISO 10052 (ABNT, 2020), verificando a diferença de nível entre ambiente interno e externo por ruídos isolados, através de sonômetro.

a) Utilizando o método da fonte sonora, posicionou-se uma fonte sonora a uma distância horizontal de 5,10 m ($d > 5m$) da fachada do protótipo, com um ângulo de 45° em relação ao plano horizontal. Em seguida, posicionou-se o sonômetro a uma distância de 2m da fachada e, emitiu-se um ruído com a primeira frequência (125 Hz);

b) Leitura da pressão sonora emitida pela fonte sonora, em um intervalo de 30 s.

c) Posicionou-se o sonômetro a 2m do elemento de separação, no interior no protótipo, e realizou-se o mesmo procedimento descrito no item anterior. Colheram-se leituras para obtenção da pressão sonora média do ambiente da fonte sonora ($\bar{L}_{1,2m}$) e do ambiente de recepção (\bar{L}_2).

d) Fez-se o mesmo procedimento para cada frequência citada.

O ensaio foi realizado com a porta e janela fechada como indicado pela norma.

Após esta etapa, determinou-se a diferença de nível da fachada (em dB) do protótipo através da Equação 1, de acordo com os dados obtidos no procedimento.

$$D_{2m} = \bar{L}_{1,2m} - \bar{L}_2 \quad (1)$$

Em seguida, conforme a Tabela 3 da NBR ISO 10052 (ABNT, 2020), através das características do ambiente: com mobília, sem mobília, tipo de piso (leve ou pesado), paredes/teto (leves ou pesados), e após determinado o volume interno em m³, classificou-se o protótipo segundo as opções a; b; c; d; e; f; g; h, ou ainda, segundo a combinação destes em a + e; b + f; c + g; d + h. A partir desta classificação, determinou-se o índice de reverberação para as frequências de 125, 250, 500, 1000, 2000 Hz.

Posteriormente, calculou-se a diferença de nível normalizada de fachada (em dB) para todas as frequências ensaiadas em ambos os protótipos, por meio da Equação 2.

$$D_{2m,nT} = D_{2m} + k \quad (2)$$

Após concluídas as medições e de posse dos resultados, determinou-se com base nos valores de referência da EN ISO 717-1 uma curva logarítmica que define o comportamento do isolamento sonoro imposto pelo SVV.

No tocante à diferença padronizada de nível ponderada ($D_{2m,nT,w}$), de acordo com a EN ISO 717-1, deslocou-se a curva de referência de 1 em 1 dB até que a soma dos desvios desfavoráveis (diferença entre os valores medidos, valores abaixo da curva de referência, e os valores da curva de referência) seja o maior possível, mas não superior a 10 dB, na frequência de 500 Hz. E em seguida, verificou-se o valor da curva de referência deslocada a uma frequência de 500 Hz que corresponde diferença padronizada de nível ponderada ou, ainda, à magnitude global para avaliação do ruído aéreo. E assim, classificou-se quanto ao nível de desempenho acústico o protótipo em Mínimo (M), Intermediário (I) ou Superior (S), como exposto no Quadro 1.

Quadro 1 – Diferença padronizada de nível ponderada da vedação externa, $D_{2m,nT,w}$, para ensaios de campo

Classe de ruído	Localização da habitação	$D_{2m,nT,w}$ [dB]	Nível de desempenho
I	Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas.	≥ 20	M
		≥ 25	I
		≥ 30	S
II	Habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III.	≥ 25	M
		≥ 30	I
		≥ 35	S
III	Habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, desde que conforme a legislação.	≥ 30	M
		≥ 35	I
		≥ 40	S

Fonte: NBR 15575-4 (ABNT, 2013, p. 52)

Para a adaptação espectral, que segundo a EN ISO 717-1, trata-se de um método para adaptar as condições de isolamento a um tipo de ruído específico (somando os valores do ruído rosa (C) ou de tráfego urbano (C_{tr}) à magnitude global),

determinou-se as condições de adaptação referente a ambos os tipos de ruídos ponderados em A, a partir da EN ISO 717-1, calculando os coeficientes de acordo com as Equações 3 e 4.

$$X_{Aji} = -10 \lg \sum 10^{(L_{ij}-x_i)/10} \quad (3)$$

Onde, i é a variação das frequências de bandas de oitava, valores entre 125 e 2000 Hz; L_{ij} são os valores da curva de referência; e x_i são os valores do isolamento ($D_{2m,nT}$).

Após calcular o coeficiente X_{Aji} para os ruídos do tipo rosa e de tráfego urbano, como recomendado pela EN ISO 717-1, determinou-se os valores correspondentes aos respectivos ruídos, através da Equação 4.

$$C_j = X_{Aj} - X_W \quad (4)$$

No qual, X_W se trata da magnitude global apropriada, baseada na curva de referência ($D_{2m,nT,W}$); $X_{A,1}$ é a diferença de nível ponderada em A entre o ambiente de emissão (ao ar livre, em frente à fachada) e o de recepção, para ruídos rosa; e $X_{A,2}$ é a diferença de nível ponderada em A entre o ambiente emissor e o receptor, para ruídos de tráfego.

4 Resultados da pesquisa

Os ensaios para determinação do isolamento sonoro de cada SVV ocorreram de acordo com os métodos anteriormente descritos. No momento dos ensaios verificou-se a umidade relativa e temperatura ambiente, obtendo valores de 48,80 % e 32,9 °C, respectivamente.

Realizou-se os ensaios na fachada que sugeria maior exposição a ruído, fachada leste (Figura 3), do tipo tráfego. Desta forma, seguem-se os resultados e discussões acerca das características acústicas dos revestimentos que integram o SVV dos protótipos.

Figura 3 – Protótipo (Fachada Leste)



Fonte: Autoria própria (2020)

4.1 Análise do SVV do Protótipo segundo a NBR 15575-4

Inicialmente, realizou-se a coleta dos dados do ambiente emissor ($D_{1,2m}$) e do ambiente receptor (D_2) obtendo, a partir da Equação 1, a diferença de nível da fachada (D_{2m}) que, ao considerar o índice de reverberação, calculou-se a partir da Equação 2, a diferença de nível normalizada de fachada ($D_{2m,nT}$), Tabela 2.

Com relação ao índice de reverberação do ambiente, através da NBR ISO 10052 (ABNT, 2020), classificou-se o Protótipo em um ambiente sem mobília, com paredes/teto pesados (pautada na composição das paredes por blocos de alvenaria) indicando um ambiente do tipo “e”. A partir do volume interno, 9,245 m³, verificou-se os índices de reverberação (k) apresentados na NBR ISO 10052 (ABNT, 2020), conforme consta na Tabela 2.

Para determinação da diferença padronizada de nível ponderada ($D_{2m,nT,w}$), realizou-se, de acordo com as indicações da norma EN ISO 717-1, o ajuste da curva de referência (CR) à -20 dB, para frequência de 500 Hz, resultando assim em 32 dB. Verificou-se ainda, se a soma dos desvios desfavoráveis seria inferior a 10 dB como indicado pela EN ISO 717-1, bem como, se a soma dos desvios desfavoráveis divididos pela quantidade de frequências seria inferior a 2 dB, como preconiza Mateus (2008), obtendo assim resultados satisfatórios como mostra a Tabela 2.

Tabela 2 – Índice de Isolamento Único - Diferença padronizada de nível ponderada a 2m de distância da fachada (Protótipo 02)

Frequências (Hz)	D _{1,2m} (dB)	D ₂ (dB)	D _{2m} (dB)	k (dB)	D _{2m,nT} (dB)	Curva de Referência (dB)	Ajuste da CR -20	Desvio – Diferença (dB)
125	85,80	60,38	25,42	3,5	28,92	36	16	12,92
250	80,20	61,06	19,14	3,5	22,64	45	25	-2,36
500	86,50	57,58	28,92	3,5	32,42	52	32	0,42
1000	95,90	63,82	32,08	3,5	35,58	55	35	0,58
2000	91,90	64,78	27,12	1,5	28,62	56	36	-7,38

Somatório dos desvios desfavoráveis: $9,74 \leq 10$ dB

Somatório dos desvios desfavoráveis pelo número total de bandas: $1,95 \leq 2$ dB

Fonte: Autoria própria (2020)

Com relação aos índices de adaptação espectral, verificou-se, a partir das Equações 3 e 4, os resultados exibidos na Tabela 3.

Tabela 3 – Níveis sonoros C e Ct em bandas em bandas de oitava (Protótipo 02)

Frequência (Hz)	CR deslocada a -20	D _{2m,nT} (dB)	Desvio – Diferença (dB)	L _{i1}	L _{i2}	$10^{(L_{ij} - D_{2m,nT})/10}$	
125	16	28,92	12,92	-26	-20	3,22E-06	1,28E-05
250	25	22,64	-2,36	-19	-15	6,85E-05	1,72E-04
500	32	32,42	0,42	-13	-12	2,87E-05	3,61E-05
1000	35	35,58	0,58	-10	-8	2,77E-05	4,39E-05
2000	36	28,62	-7,38	-9	-11	1,73E-04	1,09E-04
$\Sigma(10^{(L_{ij} - D_{2m,nT})/10})$						3,01E-04	3,74E-04
XA,1 – Ruído Rosa:		35	AX,2 – Ruído de tráfego			34,3	
C:		3	C_{tr}:			2	

Fonte: Autoria própria (2020)

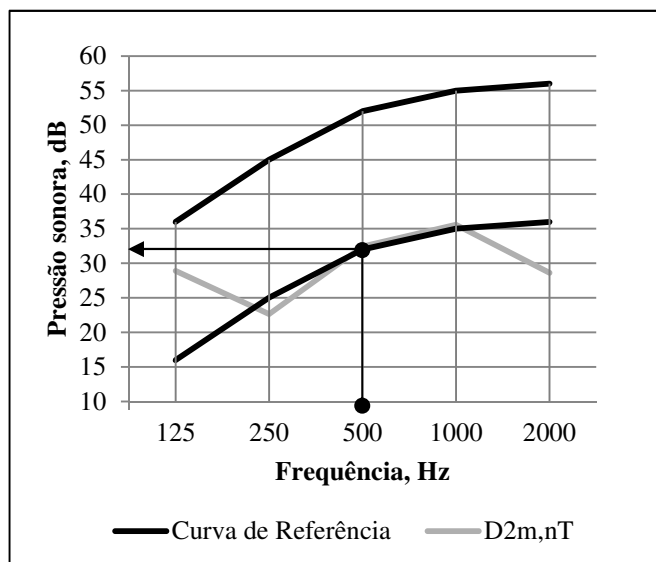
A partir dos resultados obtidos determinou-se, como sugerido pela NBR ISO 10052 (ABNT, 2020), a curva da Diferença Padronizada de Nível Ponderada a 2m de distância da fachada (D_{2m,nT,w}) de acordo com a curva de referência, indicada pela Figura 4.

Figura 4 – Diferença de nível normalizada de acordo com a NBR ISO 10052 (ABNT, 2020) - Medições de campo de isolamento acústico aéreo de fachadas

Descrição: Protótipo, revestimento chapisco mais emboço, com adição de 1,25% da mistura de EVA com vermiculita.		Data do ensaio: 29/01/2020	
Volume do ambiente receptor: 9,245 m ³		... Intervalo de frequência de acordo com os valores da curva de referência.	
		- Valores da curva de referência (EN ISO 717-1)	
Frequência (Hz)	Valores de referência em bandas de oitava (dB)	D_{2m,nT} (dB)	Curva de referência

Curva ajustada à -20

125	36	28,92
250	45	22,64
500	52	32,42
1000	55	35,58
2000	56	28,62



Classificação de acordo com EN ISO 717-1.

D_{2m,nT,w} (C;Ctr): 32 (3;2)

Avaliação baseada em resultados de medição de campo obtidos pelo método simplificado.

Fonte: Elaboração própria (2020)

Desta forma, com base nos resultados expostos na Figura 3 e de acordo com os valores de referência da NBR 15575-4 (ABNT, 2013), para ruídos classe I, apresentados no Quadro 1, classificou-se o protótipo em nível de desempenho acústico **Superior (D_{2m,nT,w} ≥ 30)**.

À vista disso, no estudo apresentado por Melo e Andrade (2019), entre as amostras analisadas apenas 7 paredes são compostas por blocos de 8 furos, onde existe uma variação da espessura da parede quanto ao tipo de revestimento (argamassa e cerâmica; argamassa e pintura), e considera-se ainda as dimensões das esquadrias e o material que as compõe (vidro).

Ao realizar uma análise da amostra com referência de Vedação E1 do trabalho destes autores, verifica-se que, mesmo com uma espessura total da alvenaria (17,5 cm) maior que a do protótipo descrito neste trabalho (14 cm) obteve-se D_{2m,nT,w} (25 dB), inferior ao do protótipo (32 dB).

Uma das possíveis causas para esta diferença seria a composição da argamassa de revestimento, uma vez que Melo e Andrade (2019) analisaram revestimentos compostos por argamassa convencional enquanto que o protótipo, descrito neste trabalho, é revestido com argamassa leve adicionada de EVA e vermiculita. Desta forma, mesmo havendo outras camadas como cerâmica e/ou tinta nas amostras analisadas pelos pesquisadores, a composição da argamassa interfere diretamente no comportamento de isolamento acústico das paredes.

Cintra (2013) verificou que argamassas acrescidas de vermiculita possuem uma melhor absorção sonora. Isto indica que argamassas leves, deste tipo, proporcionam um efeito de amortecimento sonoro, diminuindo a velocidade do som ao passar pela superfície. A pesquisadora explica ainda que o alto potencial de isolamento acústico destas argamassas está diretamente relacionado ao alto grau de porosidade e baixa densidade que as mesmas possuem.

Outro ponto importante na amostra descrita no estudo de Melo e Andrade (2019), seria as dimensões e materiais das esquadrias nas paredes analisadas uma vez que, de acordo com a NBR 12179 e Cintra (2013), existe uma notável variação no isolamento sonoro do ambiente a depender dos materiais que irão compor as paredes, visto que o isolamento acústico se relaciona à propriedade de determinados materiais refletirem parcial ou totalmente o ruído.

Esta variação descrita anteriormente pode ser notada na pesquisa de Cardoso (2018), onde a faixa analisada também possui uma esquadria em vidro, com dimensões consideráveis, que ao ser testada resultou em D_{2m,nT,w} de 42(-2;-6) dB, indicando um bom comportamento de isolamento sonoro da faixa estudada.

Ressalta-se, por fim, que o protótipo estudado possui dimensões, características ambientais e materiais construtivos que divergem dos modelos estudados nas pesquisas de Melo e Andrade (2019) e Cardoso (2018), não tornando possível, por tanto, realizar comparações diretas entre os resultados obtidos.

5 Conclusão/Considerações

A pesquisa teve como principal objetivo a avaliação e classificação segundo critérios da norma de desempenho NBR 15575-4 (ABNT, 2013) das condições de isolamento acústico de um protótipo residencial construído com revestimento adicionado do Etileno Acetato de Vinila (EVA), material de origem industrial e inerte quimicamente, e da vermiculita, material de origem natural, ambos com características de isolamento sonoro.

O revestimento do protótipo estudado possui, segundo a norma de desempenho NBR 15575-4 (ABNT, 2013), um nível de isolamento sonoro do tipo Superior, indicando um excelente comportamento acústico desempenhado pelo protótipo em meio ao ambiente no qual estava exposto.

Observou-se perante outros estudos como o Melo e Andrade (2019) e Cardoso (2018), que as esquadrias, materiais de composição e dimensões das mesmas, interferem significativamente no desempenho de isolamento sonoro das amostras estudadas.

Por fim, entende-se que o composto de EVA e vermiculita, em proporções ideais, como adição em argamassas de revestimento é uma alternativa viável para alcançar um SVV que melhore as condições de conforto acústico, contudo é necessário verificar outras características inerentes às argamassas com essa adição e em proporções diversas uma vez que o revestimento possui várias funções na alvenaria, logo é necessário realizar um estudo minucioso com o objetivo de viabilização da mesma para inserção no mercado construtivo.

Referências

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR ISO 10052. Acústica – Medições em campo de isolamento a ruído aéreo e de impacto e de sons de equipamentos prediais – Método simplificado. Rio de Janeiro, 2020.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15575-1. Edificações Habitacionais – Desempenho, Parte 1: Sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE. Rio de Janeiro, 2013.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15575-4. Edificações Habitacionais – Desempenho, Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE. Rio de Janeiro, 2013.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 11355. Vermiculita expandida – Análise granulométrica – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2015.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12179. Tratamento acústico em recintos fechados. Rio de Janeiro, 1992.

ANDRADE, É. S.; GUIMARÃES, C. C. Propriedades de argamassas com eva (ethylene vinyl acetate) em substituição parcial ao agregado. **REEC-Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 13, n. 1, 2017.

BRANCHER, L. R. *et al.* Acoustic Behavior of Subfloor Lightweight Mortars Containing Micronized Poly (Ethylene Vinyl Acetate) EVA. **Materiais**, v. 9, n. 51, p. 1-9, 2016.

BRASIL. **Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010**. Diário Oficial da União, Poder Legislativo, Brasília, DF, 03 de agosto de 2010, p. 1.

CARDOSO, D. A. R. **Avaliação do desempenho funcional de uma habitação com estrutura em LSF**. 2018. Tese de (Doutorado). Universidade de Coimbra, Coimbra - PT, 2018.

CINTRA, C. L. **Argamassa para revestimento com propriedades termo acústicas, produzida a partir de vermiculita expandida e borracha reciclada de pneus**. 2013. Tese (Doutorado), Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia dos Materiais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos - SP, 2013.

DA PAZ, E. C.; ZANNIN, P. H. Avaliação do ruído de tráfego noturno – estudo de caso na cidade de Curitiba, Brasil. **Raega - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 31, p. 29-52, 2014.

FIGUEIREDO, F. G. de; SILVA, V. G. da. Processo de Projeto Integrado: recomendações para empreendimentos com metas rigorosas de desempenho ambiental. **PARC – Pesquisa em Arquitetura e Construção**. Campinas, SP, v. 1, n. 5, p. 1-30, 2010.

- FRIEDRICH, A. F. **Avaliação da contribuição do revestimento na isolamento sonora de paredes de alvenaria**. 2010. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS, 2010.
- GARLET, G. **Aproveitamento de resíduos de e.v.a. (ethylene vinyl acetate) como agregado para concreto leve na construção civil**. 1998. Dissertação (Mestrado), Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre - RS, 1998.
- ISO: INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 10140-2**, Acoustics – Measurement of sound insulation of building elements – Part 2: Laboratory measurements of airborne sound insulation.
- ISO: INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 140-4**, Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 4: Field measurements of airborne sound insulation between rooms.
- ISO: INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 140-5**, Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 5: Field measurements of airborne sound insulation of façade elements and façades.
- ISO: INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 717-1**, Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of buildings elements – Part 1: Airborne sound insulation
- LUCAS, D.; BENATTI, C. T. Utilização de resíduos industriais para a produção de artefatos cimentícios e argilosos empregados na construção civil. **Revista em agronegócio e meio ambiente**, v. 1, n. 3, p. 405-418, 2008.
- MATEUS, D. **Acústica de Edifícios e controle de ruído**. DEC-FCTUC, Coimbra, 2008.
- MELO, M. G. M. A.; ANDRADE, F. K. G. Desempenho acústico de fachadas: métodos de simulação e ensaios de campo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 6., 2019, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: PPGAU/FAUeD/UFU, 2019. p. 1183-1194.
- MENEZES, F. Y. M. et al. Adição de EVA e vermiculita em argamassas de revestimento: análise do desempenho térmico. In: MARTINS, B. C. (org). **O Essencial da Arquitetura e Urbanismo 3.1ª ed.** Ponta Grossa-SP: Atena Editora, 2019, v.3, p. 437-447. Disponível em: <https://www.atenaeditora.com.br/post-artigo/14118>
- ORTH, C. M.; BALDIN, N.; ZANOTELLI, C. T. A geração de resíduos sólidos em um processo produtivo de uma indústria automobilística: uma contribuição para a redução. **Gestão & Produção**, São Carlos, v. 21, n. 2, Jun. 2014.
- ROCHA, F. de M. D. **Aproveitamento de resíduos sólidos industriais em materiais alternativos na perspectiva da construção seca: bloco EVA - intertravamento e racionalização das alvenarias**. 2008. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa - PB, 2008.
- ROCHA, F. M. D. et al. Pré-moldado (bloco EVAi) para alvenaria intertravada: projeto, produção, desempenho e simulação de uso em habitação social. **Ambiente Construído**, v. 13, n. 2, p. 47-60, 2013.
- SIMÕES, F. M. et al. **Acústica arquitetônica**. Rio de Janeiro: Procel Edifica, 2011.
- UGARTE, J. F. O.; SAMPAIO, J. A.; FRANÇA, S. C. A. Vermiculita. IN: **Rochas e Minerais Industriais no Brasil: usos e especificações**. 2ª ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2008. p. 865-887.