



Análise de desempenho acústico de soluções em paredes de geminação aplicadas em obra de alvenaria estrutural cerâmica

Freitas, A.R.¹; Marquez, J.C.²; Schmitt, R.³; Luz, J.L.⁴

¹⁻⁴ Scala Acústica, Blumenau, SC, Brasil, {andrew, julio, rafael, jean}@scaladb.com.br

Resumo

As unidades habitacionais multifamiliares são edificações brasileiras tradicionais e, para facilitar o acesso à casa própria para as classes menos favorecidas financeiramente, houve a aprovação da Lei Nº11.977, que instituiu o Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV). Nos últimos anos, com base num histórico de medições realizadas nestes tipos de edificações populares por diversos laboratórios de acústica no Brasil, nota-se certa dificuldade para atingir os níveis mínimos obrigatórios para diversos sistemas construtivos referente ao desempenho acústico requerido pela norma ABNT NBR 15575. Dentre os sistemas construtivos das edificações, nas vedações verticais internas há um grande desafio no quesito isolamento sonoro de paredes de geminação que envolvem pelo menos um dormitório, em que na maioria dos casos não atende ao nível mínimo de Diferença Padronizada de Nível Ponderado ($D_{nT,w} \geq 45$ dB). Para o presente trabalho, objetivou-se realizar medições em uma habitação multifamiliar construída a partir do PMCMV, na cidade de Pinhais/PR, a fim de avaliar o isolamento sonoro das paredes de geminação existentes entre dormitórios e, posteriormente, as paredes que receberam soluções específicas com objetivo de aumentar o índice de isolamento e atender a norma de desempenho. O estudo de caso contém 18 amostras avaliadas de paredes de geminação, sendo 02 a modulação base e 16 soluções. Utilizou-se o bloco cerâmico estrutural 19x19x29 cm e revestimento argamassado de 1,5 cm em ambos os lados como modulação base em todas as verificações, variando espessuras e tipos de revestimentos (aderidos e flutuantes), além do volume de dois dormitórios. Todas as avaliações seguiram o procedimento de ensaio e pós-processamento, pelas normas ABNT NBR ISO 16283-1 e 717-1, respectivamente. Os resultados mostram condições iniciais de paredes existentes que não atendiam o requisito mínimo, sendo assim 07 soluções adotadas apresentaram resultados satisfatórios para o cumprimento normativo.

Palavras-chave: isolamento acústico, desempenho acústico, paredes de geminação, acústica de edificações, PMCMV.

Analysis of the acoustic performance of twinning wall solutions applied in a ceramic structural masonry building

Abstract

Multifamily housing units are traditional Brazilian buildings and, to facilitate access to home ownership for the less financially favored classes, Law No.11,977 was approved, which established the Minha Casa Minha Vida Program (PMCMV). In recent years, based on a history of measurements carried out in these types of popular buildings by various acoustics laboratories in Brazil, there is some difficulty in achieving the minimum mandatory levels for various construction systems regarding the acoustic performance required by the ABNT NBR 15575 standard. Among the construction systems of buildings, there is a great challenge in terms of the sound insulation of twin walls involving at least one bedroom in the internal vertical sealing, which in most cases doesn't meet the minimum level of Standardized Weighted Level Difference ($D_{nT,w} \geq 45$ dB). For the present work, the objective was to carry out measurements in a multifamily dwelling built from the PMCMV, in the city of Pinhais/PR, in order to evaluate the sound insulation of the existing twinning walls between bedrooms and, later, the walls that received solutions specific in order to increase the insulation index and meet the performance standard. The case

study contains 18 evaluated samples of twinning walls, being 02 the base modulation and 16 solutions. The 19x19x29 cm structural ceramic block and 1.5 cm mortar coating on both sides were used as the base modulation in all verifications, varying thicknesses and types of coatings (adhered and floating), in addition to the volume of two bedrooms. All evaluations followed the test and post-processing procedure, according to the ABNT NBR ISO 16283-1 and 717-1 standards, respectively. The results show initial conditions of existing walls that did not meet the minimum requirement, so 07 adopted solutions showed satisfactory results for regulatory compliance.

Keywords: isolamento acústico, desempenho acústico, paredes de geminação, acústica de edificações, PMCMV.

1. Introdução

Em se tratando de moradias populares no Brasil, pode-se afirmar que é um tema complexo e importante que remonta a décadas de discussões no país. Nesse sentido, programas criados com a finalidade de garantir o direito à moradia, previsto na Constituição Federal de 1988 [1], foram criados para atingir esse objetivo através da democratização do acesso à casa própria para famílias de baixa renda.

Como exemplo disso, pode-se citar o “Programa Minha Casa, Minha Vida” (PMCMV), instituído pela Lei Nº 11.997 de 7 de julho de 2009 [2]. Projetos governamentais como este ocorrem através do financiamento de moradias por meio de parcerias com a iniciativa privada. Assim, famílias que cumpram com os requisitos previstos pelo programa têm acesso a benefícios que facilitam a conquista da casa própria, tendo seu direito à moradia garantido. Além disso, a implementação de programas como este fomenta o mercado imobiliário nacional, visto que incentiva o aumento do número de novas moradias no país. A prova disso é que, desde sua criação em 2009, o PMCMV já entregou mais de 4 milhões de residências [3], beneficiando dezenas de milhões de brasileiros e representando um grande volume das obras residenciais realizadas no país.

Com o mercado aquecido, as construtoras buscam ao máximo obter lucro através dessas novas oportunidades. Nesse sentido, a otimização dos resultados de uma empresa de construção pode ser obtida quando for possível resolver um dos dois problemas seguintes: maximizar a produção para um dado custo total ou minimizar o custo total para um dado nível de produção [4]. Entretanto, a partir do momento em que se visa baratear os custos desse tipo de construção a fim de torná-lo viável e lucrativo, a qualidade começa a se tornar um desafio.

Muitas vezes, na intenção de economizar, as construtoras e incorporadoras optam por materiais e tipologias que representem menores gastos no montante final da obra. Nesse sentido, problemas como a ausência de privacidade sonora, tema relacionado a este estudo, surgem e se tornam um ponto a ser estudado quando se refere às moradias populares. Além disso, vale ressaltar que existe uma tendência à precariedade no isolamento acústico nesses tipos de edificações, porém não é uma exclusividade, já que casos de ausência de privacidade sonora podem ser encontrados até mesmo em edifícios de alto padrão.

Inicialmente, a moradia industrializada deveria, em sua concepção básica, ser uma alternativa capaz de oferecer uma habitação digna a custo razoável, além de oferecer segurança e qualidade de vida [5]. Dessa forma, é necessário ressaltar a importância do isolamento acústico nestes tipos de residências, visto que é um fator diretamente ligado à qualidade de vida de quem as habita. A ausência de um ambiente isolado acusticamente pode acarretar em diversos problemas relacionados ao bem-estar físico e mental dos moradores, afetando a concentração, a produtividade e a qualidade do sono, além de não contemplar a privacidade sonora. Nesse sentido, é primordial que, por mais que sejam obras que visem o baixo custo de construção, haja um estudo visando garantir o conforto acústico dos moradores que ali habitarão [6].

Visando esse objetivo, foram criadas normas regulamentadoras que estabelecem critérios de desempenho para o tema abordado, como a ABNT NBR 15575:2021 [7], a fim de estabelecer que os habitantes tenham sua privacidade acústica garantida. Para garantir que a edificação seja entregue ao cliente com um padrão mínimo de qualidade, a referida norma brasileira estabelece requisitos mínimos obrigatórios a serem

atendidos e também, em carácter opcional, os requisitos intermediário e superior. Todavia, analisando-se as moradias populares, nota-se que em se tratando de sistemas de vedações verticais internas separando dormitórios de unidades habitacionais distintas, muitas vezes não ocorre o cumprimento dos parâmetros estabelecidos por norma.

Tendo em vista isso, o presente estudo visa a análise de amostras de diferentes tipologias no mesmo empreendimento, analisando seus respectivos desempenhos e estudando possíveis soluções e alternativas para que sistemas construtivos entre dormitórios se enquadrem nos requisitos da Norma de Desempenho ABNT NBR 15575:2021 [7].

2. Fundamentos

O isolamento acústico em edificações é propiciado por paredes ou divisórias (vedações verticais) que tem objetivo de atenuar a transmissão da energia sonora de um ambiente para outro, em quem pode se propagar por via aérea e estrutural [8]. O isolamento sonoro de uma parede (ou divisória) é função de sua massa, rigidez e amortecimento. Para uma parede simples, quanto maior a massa, maior tende a ser sua capacidade de isolamento acústico [9]. Já para uma parede composta, o conceito da massa continua, porém, é muito importante que quando as soluções forem acopladas a uma parede base, os elementos sejam isolados um do outro, para que não haja ligações rígidas entre os sistemas. [10].

A ABNT NBR 15.575:2021 [7] é a norma técnica brasileira de desempenho em edificações habitacionais que, dentre vários requisitos abordados, contempla a acústica, que tem por objetivo garantir que as edificações habitacionais atendam aos requisitos mínimos obrigatórios de desempenho [7].

O capítulo 12 da parte 4 da ABNT NBR 15.575:2021 [11] apresenta requisitos e critérios para a avaliação do isolamento acústico entre os meios externos e internos de uma edificação [7]. Para fim do presente trabalho será exposto o sistema de vedações verticais internas (SVVI) pelo fato de que o foco são as paredes divisórias entre dormitórios, logo avaliou-se a Diferença Padronizada de Nível Ponderado ($D_{nT,w}$) a partir dos valores de Diferença Normalizada de Nível (D_{nT}) que coletou-se nas medições para cada frequência, oriundo das coletas em campo (obra).

O índice de Diferença Padronizada de Nível Ponderado ($D_{nT,w}$) representa o isolamento aos ruídos aéreos medidos em campo. É chamada de padronizada, pois corrige a diferença em relação a um tempo de reverberação padronizado de 0,5 segundos. Para obtenção dos valores únicos da Diferença Padronizada de Nível Ponderado ($D_{nT,w}$) das amostras ensaiadas, realizaram-se o pós-processamentos de dados no *software* dBati da 01 dB, no qual calcula-se o valor único global após determinadas etapas. Os dados necessários para os referidos cálculos são: o ruído emitido na sala de emissão, o ruído recebido, o ruído de fundo e o tempo de reverberação na sala de recepção. Com a aquisição destes dados é possível iniciar os processos para o cálculo do D_{nT} , conforme os procedimentos descritos na ABNT NBR 16283-1:2018 [12]. Por fim, finaliza-se o processo com o procedimento descrito na ABNT NBR 717-1:2021 [13], para obtenção do valor único de $D_{nT,w}$. No presente trabalho são apresentadas as cinco etapas necessárias para a caracterização do desempenho acústico ao isolamento a ruído aéreo do sistema avaliado.

Etapa 01: Média dos pontos coletados - A partir dos dados coletados na sala de recepção e emissão é realizado uma média dos vários pontos coletados no campo reverberante do ruído emitido, recebido e de fundo, e tempo de reverberação;

Etapa 02: Análise de correção do ruído de fundo - Verifica-se a interferência do ruído de fundo, por cada frequência, para analisar se é necessário a realização de correção.

- Se a diferença entre o valor do ruído de fundo e o ruído recebido for maior que 10 dB, assume-se o valor obtido na coleta de ruído recebido sem nenhuma correção.
- Quando a diferença entre o ruído de fundo e o ruído recebido for entre 6 e 10 dB, aplica-se uma correção para a média energética dos níveis de pressão sonora utilizando a Equação 1.

$$L_{2,corrigido} = 10 \log_{10} \left(10^{\frac{L_2}{10}} - 10^{\frac{L_{rf}}{10}} \right), \quad (1)$$

em que $L_{2,corrigido}$ é o nível médio recebido corrigido (em decibel), L_2 é o nível médio recebido (em decibel) e L_{rf} é o nível médio de ruído de fundo (em decibel).

• Já quando a diferença entre os níveis for inferior ou igual a 6 dB, aplica-se a correção de 1,3 dB na banda de avaliação, conforme a Equação 2.

$$L_{2,corrigido} = L_2 - 1,3; \quad (2)$$

Etapa 03: Obtenção da diferença entre valores emitidos e recebidos - Com os dados do ruído emitido (L_1) e do ruído recebido (L_2), após correção ou não dos valores, é possível obter a diferença de média energética dos níveis de pressão sonora (D) entre a sala de emissão e a sala de recepção, por cada frequência, conforme a Equação 3.

$$D = L_1 - L_2, \quad (3)$$

em que L_1 é o nível de pressão sonora emitido da sala emissora e L_2 é o nível de pressão sonora recebido na sala receptora;

Etapa 04: Obtenção da Diferença de nível padronizada (D_{nT}) - A partir do cálculo da diferença entre os níveis emitidos e os ruídos recebidos, deve-se padronizar os valores a partir de um valor de referência do tempo de reverberação, conforme a Equação 4.

$$D_{nT} = D + 10 \log_{10} \left(\frac{T}{T_0} \right), \quad (4)$$

em que D é a diferença entre o nível de pressão sonora da sala de emissão e da sala de recepção, $T_0 = 0,5$ segundos é o tempo de reverberação de referência e T é o tempo de reverberação da sala de recepção;

Etapa 05: Obtenção da Diferença de nível padronizada ponderada ($D_{nT,w}$) - Por fim, com os valores de D_{nT} obtidos de acordo com a ABNT NBR ISO 16283-1:2018 [12], são comparados com os valores de referência nas frequências de medição dentro da faixa de 100 Hz a 3150 Hz para bandas de terço de oitava, a fim de obter a curva ajustada conforme a ABNT NBR 717-1:2021 [13]. Logo os valores dependentes das frequências do isolamento a ruído aéreo são convertidos em um valor único, caracterizando o desempenho acústico do sistema avaliado.

A Norma de desempenho ABNT NBR 15575-4:2021 [11], para a avaliação de desempenho acústico, cita a existência de dois métodos de medição: o de engenharia e o simplificado. Para o presente trabalho utilizou-se o método de engenharia, que tem seu procedimento descrito na norma ABNT NBR ISO 16283-1:2018 [12] e possui maior precisão, pois seu método de cálculo engloba o tempo de reverberação medido na sala de recepção. Os resultados e avaliações que serão apresentados são oriundos de medições de isolamento sonoro coletadas em campo.

As medições foram realizadas com o medidor de nível de pressão sonora modelo Solo Black, da fabricante 01dB, calibrado com o calibrador modelo Cal 21, também da fabricante 01dB, a fonte omnidirecional modelo DDC-100, da fabricante Grom, e o amplificador de potência modelo PSC2.400, da fabricante Hypex. Para as coletas do tempo de reverberação de cada ambiente receptor, escolheu-se o método da resposta impulsiva integrada, no qual obtém-se as curvas de decaimento a partir de integração reversa no tempo do quadrado das respostas impulsivas, conforme a ABNT NBR ISO 3382-2:2017 [14].

A realização das coletas dos registros sonoros foi com microfone fixo, ou seja, microfone que está no

espaço utilizando um tripé para que fique estático, além de conter com um operador na sala, respeitando os demais critérios de execução de ensaio estabelecidos pela ABNT NBR ISO 16283-1:2018 [12]. Realizou-se 10 posições de microfone na sala de recepção e emissão e duas posições distintas de fonte sonora, distribuídas aleatoriamente, sendo que as distâncias entre as posições de microfone fixo foram maior que 0,70 metros, qualquer posição do microfone e os limites da sala maior que 0,50 metros e qualquer posição do microfone e fonte sonora maior que 1,00 metro.

A Tabela 1 apresenta o critério e níveis de desempenho de isolamento a ruído aéreo de vedação vertical interna adaptada para o presente estudo, a qual refere-se à paredes de geminação entre dormitórios, de acordo com a ABNT NBR 15575-4:2021 [11].

Tabela 1: Critério e níveis de desempenho, $D_{nT,w}$, para ruído aéreo em sistemas de vedação vertical interna (adaptada para o presente estudo).

Elemento de separação	$D_{nT,w}$ dB	Nível de desempenho
Parede entre as unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), no caso de pelo menos um dos ambientes ser dormitório	45 a 49	Mínimo
	50 a 54	Intermediário
	≥ 55	Superior

3. Desenvolvimento

Para tornar este estudo possível, realizou-se uma parceria com uma construtora que permitiu a realização da pesquisa em uma de suas obras e forneceu a mão de obra para executar as soluções propostas. O edifício se localizava em Pinhais/PR, e foi primordial para que as avaliações se tornassem possíveis. Primeiramente, realizou-se uma medição inicial no sistema que denominaremos como "modulação base", pois em todas as soluções que serão ensaiadas esta tipologia estará presente.

Foram realizadas duas medições acústicas neste sistema, uma em um dormitório de 9,16 m² e outra em um dormitório de 6,87 m², ambos com pé direito de 2,58 metros. Como a volumetria dos dormitórios são diferentes, é necessário comparar as situações separadamente.

Para ambas medições apresentou-se um resultado insatisfatório perante a Norma de Desempenho ABNT NBR 15575:2021 [7] pois não houve o atendimento mínimo obrigatório ao desempenho acústico, logo foi necessária a realização de intervenções acústicas para que os sistemas em estudo estivessem de acordo com a Norma de Desempenho. Foram enviadas soluções distintas para a construtora, que executou as sugestões na obra estudada e após isso realizou-se novas medições.

A Figura 1, apresenta a modulação base que estará contemplada em todas as medições, sendo

1. Bloco cerâmico estrutural 19x19x29 cm com rendimento 18 blocos/m² e peso bloco 7,2 kg/bloco;
2. Reboco argamassado 1,5 cm em ambos lados densidade 1900 kg/m³.

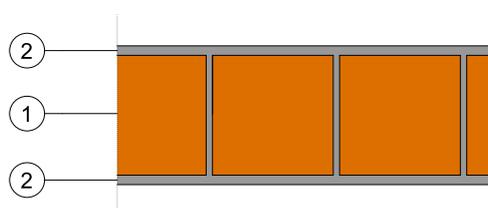


Figura 1: Modulação base para todos os ensaios do presente estudo.

Esse sistema tem uma espessura total 22 cm e a massa superficial do conjunto é de 209,6 kg/m². Salientamos que os dados de rendimento, peso, massa superficial, densidade e espessura dos sistemas que serão apresentados foram declarados pela construtora.

As transmissões indiretas se dão por elementos construtivos marginais que, para todos os ensaios, são idênticos e resumidos no sistema de piso e no sistema de vedação vertical externa. A tipologia adotada para o piso foi revestimento cerâmico 0,5 cm assentado com argamassa colante 0,5 cm, contrapiso 3 cm densidade 2100 kg/m³, manta acústica 5 mm, laje treliçada H8 altura 12 cm (bloco EPS 8 cm + capa de concreto 4 cm) com massa superficial 200 kg/m² e revestimento de teto em reboco argamassado 1,5 cm densidade 1900 kg/m³. Já para a vedação vertical externa foi a parede composta por alvenaria em bloco cerâmico estrutural 14x19x29 cm com rendimento 18 blocos/m² e peso bloco 5,1 kg/peça, reboco externo argamassado 2,5 cm e interno 1,5 cm densidade 1900 kg/m³, espessura total 18 cm.

No total foram 18 amostras ensaiadas, sendo 01 modulação base para o dormitório de 9,16 m² contemplando 05 soluções com diferentes tipologias, e 01 modulação base para o dormitório de 6,87 m² contemplando 11 soluções com diferentes tipologias. Realizou-se um número maior de ensaios no dormitório de menor volumetria pelo fato de que há uma dificuldade em atender o mínimo obrigatório da norma de desempenho, visto que a área de partição e volumetria são menores comparadas ao outro dormitório em avaliação.

Os ambientes que foram ensaiados são apresentados na Figura 2, sendo os dormitórios de 9,16 m² hachurados em vermelho e os dormitórios de 6,87 m² em azul.

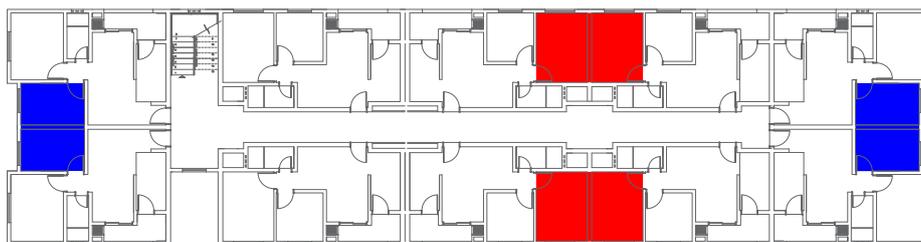


Figura 2: Planta baixa do empreendimento e os ambientes ensaiados em destaque.

3.1 Dormitório de 9,16 m²

No Quadro 1, apresenta-se a relação das amostras, os apartamentos de emissão e recepção e a descrição do sistema ensaiado para o dormitório de 9,16 m², sendo que a FACE A representa a solução em um lado da modulação base e a FACE B representa o outro lado.

Sendo que as soluções são:

- Solução A: Adição de reboco argamassado 2,5 cm;
- Solução B: Adição de 03 camadas de argamassa polimérica 0,5 cm + reboco argamassado 2,5 cm;
- Solução C: Adição de reboco argamassado 5,5 cm;
- Solução D: Adição de reboco argamassado 5,5 cm + 01 camada de argamassa polimérica 0,5 cm;
- Solução E: Adição de 02 chapas de gesso acartonado ST 12,5 mm desvinculadas entre elas com adesivo elástico com cavidade preenchida com lã de vidro 20 mm e fixadas sobre perfil Caneleta Ômega 20 mm;
- Solução M: Adição de 01 camada de argamassa polimérica 0,5 cm.

Quadro 1: Resumo Dormitório de 9,16 m²: amostras, apartamentos e a suas descrições do sistema ensaiado.

Amostra	Ap. emissor	Ap. receptor	Descrição do sistema	Massa superficial conjunto (kg/m ²)	Espessura conjunto (cm)
1	206	208	- FACE A: Não há Modulação base - FACE B: Não há	209,60	22,00
2	106	108	- FACE A: Não há Modulação base - FACE B: Solução A	257,10	24,50
3	206	208	- FACE A: Solução B Modulação base - FACE B: Não há	285,60	26,00
4	106	108	- FACE A: Não há Modulação base - FACE B: Solução C	314,10	27,50
5	106	108	- FACE A: Solução M Modulação base - FACE B: Solução D	324,10	28,50
6	105	107	- FACE A: Solução E Modulação base - FACE B: Solução E	245,60	31,00

3.2 Dormitório de 6,87 m²

No Quadro 2, apresenta-se a relação das amostras, os apartamentos de emissão e recepção e a descrição do sistema ensaiado para o dormitório de 6,87 m², sendo que a FACE A representa a solução em um lado da modulação base e a FACE B representa o outro lado.

Sendo que as soluções são:

- Solução A: Adição de reboco argamassado 2,5 cm;
- Solução B: Adição de 03 camadas de argamassa polimérica 0,5 cm + reboco argamassado 2,5 cm;
- Solução C: Adição de reboco argamassado 5,5 cm;
- Solução F: Adição de 01 chapa de gesso acartonado ST 12,5 mm diretamente sobre a alvenaria com massa colante 10 mm;
- Solução G: Adição de revestimento em argamassa polimérica 1,0 cm;
- Solução H: Adição de 02 chapas de gesso acartonado ST 12,5 mm desvinculadas com adesivo elástico diretamente sobre a alvenaria com massa colante 10 mm;
- Solução I: Adição de revestimento em argamassa polimérica 1,0 cm e reboco argamassado 2,5 cm;
- Solução J: Adição de 02 chapas de gesso acartonado ST 12,5 mm fixadas sobre perfil Caneleta Omega 20 mm e cavidade preenchida com lã de vidro 20 mm;
- Solução K: Adição de 01 chapa de gesso acartonado ST 12,5 mm diretamente sobre a alvenaria com massa colante 10 mm;
- Solução L: Adição de 02 chapas de gesso acartonado ST 12,5 mm diretamente sobre a alvenaria com massa colante 10 mm.

Quadro 2: Resumo Dormitório de 6,87 m²: amostras, apartamentos e a suas descrições do sistema ensaiado.

Amostra	Ap. emissor	Ap. receptor	Descrição do sistema	Massa superficial conjunto (kg/m ²)	Espessura conjunto (cm)
1	410	409	- FACE A: Não há Modulação base - FACE B: Não há	209,60	22,00
2	210	209	- FACE A: Solução F Modulação base - FACE B: Solução F	235,50	26,50
3	402	401	- FACE A: Não há Modulação base * - FACE B: Não há	209,60	22,00
4	202	201	- FACE A: Solução G Modulação base - FACE B: Solução G	247,60	24,00
5	102	101	- FACE A: Solução H Modulação base - FACE B: Solução H	251,90	29,00
6	110	109	- FACE A: Solução A Modulação base - FACE B: Solução A	304,60	27,00
7	110	109	- FACE A: Não há Modulação base - FACE B: Solução C	314,10	27,50
8	102	101	- FACE A: Solução I Modulação base - FACE B: Solução I	342,60	29,00
9	202	201	- FACE A: Solução J Modulação base - FACE B: Solução K	245,30	28,75
10	210	209	- FACE A: Solução B Modulação base - FACE B: Solução B	361,60	30,00
11	302	301	- FACE A: Solução J Modulação base - FACE B: Solução J	245,60	31,00
12	310	309	- FACE A: Solução J Modulação base - FACE B: Solução L	253,50	30,00

* - Caixas elétricas PVC 4x2 de tomadas envoltas com manta asfáltica 3 mm e interior preenchido com lã de vidro 20 mm.

Para que o estudo pudesse ser realizado, as soluções apresentadas acima foram idealizadas aproveitando os produtos e materiais disponíveis pela construtora parceira do estudo.

4. Resultados e discussões

A partir das medições, foi possível verificar os resultados de $D_{nT,w}$ para cada amostra ensaiada nos ambientes de recepção avaliados.

4.1 Dormitório de 9,16 m²

Os resultados globais para as amostras descritas anteriormente para o Dormitório de 9,16 m², estão apresentados na Figura 3.

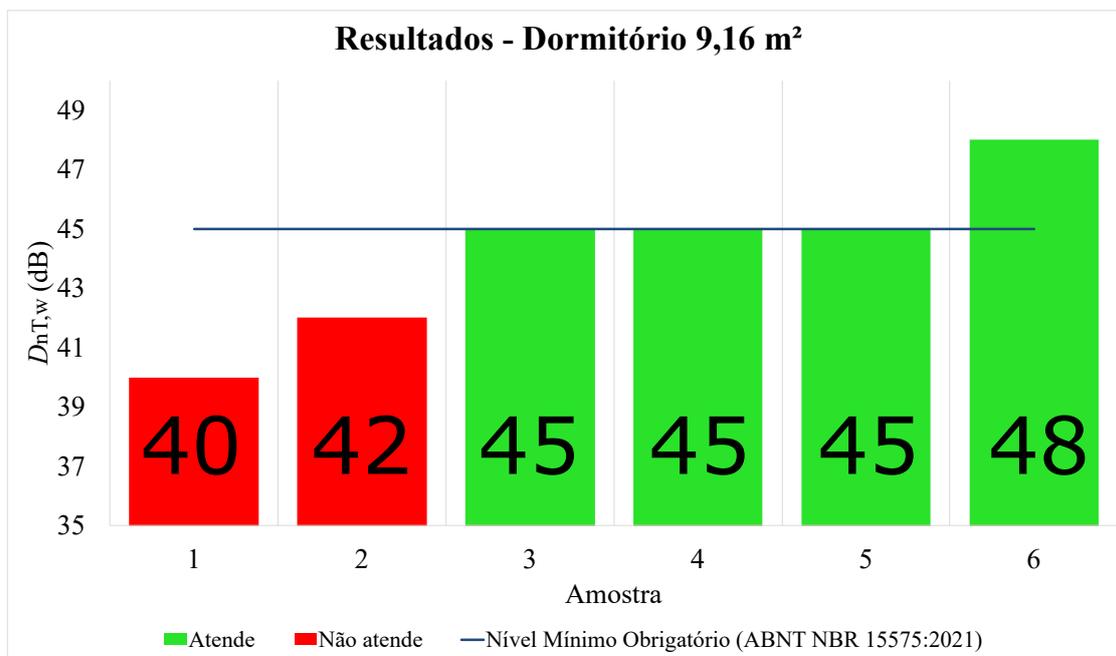


Figura 3: Resultado da Diferença Padronizada de Nível Ponderado ($D_{nT,w}$) para o dormitório de 9,16 m².

A seguir serão apresentados as discussões sobre os resultados das amostras.

Para o dormitório de 9,16m², onde foram ensaiadas 06 amostras, a modulação base (amostra 1) atingiu o $D_{nT,w}$ de 40 dB. Seguindo a análise, o sistema com adição de 03 (três) camadas de argamassa polimérica 0,5 cm adicionado a reboco argamassado de 2,5 cm (amostra 2) atingiu o $D_{nT,w}$ de 42 dB. Ambas as situações não atingiram o nível de desempenho mínimo exigido.

Amostras 3, 4, 5 e 6: Para essas amostras, o nível mínimo obrigatório da norma de desempenho foi alcançado com soluções aderidas e flutuante, visto que estas atingiram ganhos de 5 a 8 dB comparando à modulação base.

Amostras 2 e 4: Verificou-se que aumentando 2,5 cm de reboco argamassado de um lado na modulação base (amostra 2), obteve-se um acréscimo de 2 dB, e quando adicionou-se 5,5 cm em uma das faces (amostra 4) o ganho foi de 5 dB. Porém, constatou-se que se aumentar 5,5 cm de reboco argamassado e ainda adicionar 01 camada de argamassa polimérica de 0,5 cm (totalizando uma adição de revestimento em 6 cm à modulação base) ou aumentar 2,5 cm de reboco argamassado e ainda adicionar 03 camadas de argamassa polimérica de 0,5 cm (totalizando uma adição de revestimento em 4 cm à modulação base), o ganho permanece em 5 dB para ambas amostras.

Amostra 6: A amostra que ficou mais distante comparada às demais e obteve um ganho superior na ordem de 8 dB é uma solução mais robusta, a qual contempla chapas duplas de gesso acartonado com uma separação entre elas com adesivo elástico, cavidade preenchida em lã de vidro e fixadas sobre perfil canaleta ômega, em ambos lados da amostra.

4.2 Dormitório de 6,87 m²

Os resultados globais para as amostras para o Dormitório de 6,87 m², estão apresentados na Figura 4.

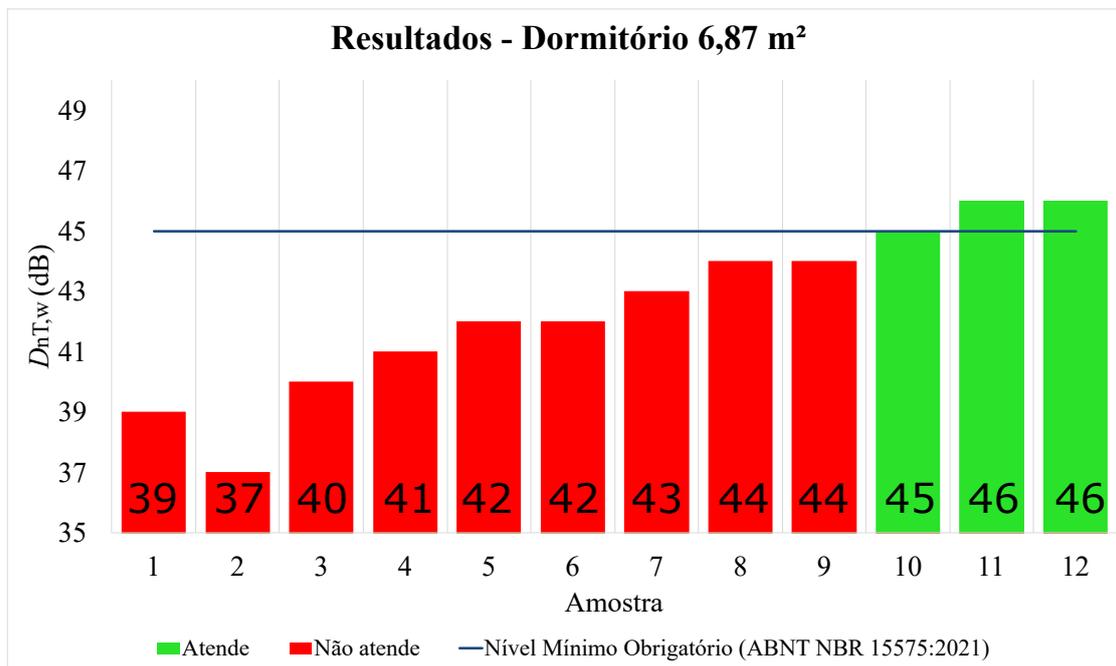


Figura 4: Resultado da Diferença Padronizada de Nível Ponderado ($D_{nT,w}$) para o dormitório de 6,87 m².

Para o dormitório de 6,87 m², onde foram ensaiadas 12 amostras, apenas as amostras 10, 11 e 12 atingiram o nível mínimo obrigatório da norma de desempenho com as soluções. As demais amostras obtiveram ganhos de 1 a 5 dB (amostras 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 9), e até decréscimo de 2 dB (amostra 2).

Amostras 2 e 5: Com a adição direta de 01 chapa de gesso acartonado, a alvenaria com massa colante fez com que o resultado diminuísse em 2 dB. Realizando-se um análise mais crítica, as frequências entre 100 e 800 Hz foram semelhantes, porém de 1000 até 3150 Hz houve diferenças entre 3 e 7 dB entre as duas amostras. Esse fato evidenciou que, acoplando uma chapa de gesso acartonado diretamente ao sistema, sem nenhum desvinculo, houve uma perda de isolamento nas altas frequências, mesmo aumentando a espessura e massa superficial da amostra (amostra 2). A partir disso, realizou-se o estudo com dupla chapa de gesso acartonado desvinculada entre elas com adesivo elástico, acoplado diretamente à alvenaria, em ambos lados. Observou-se que com o desvínculo elástico entre chapas, não ocorreu o fenômeno de decréscimo do isolamento, mas sim uma melhoria na ordem de 3 dB (amostra 5).

Amostra 3: Como as caixas elétricas estavam espelhadas na mesma parede, o presente estudo contemplou o reforço do isolamento nestas fragilidades. Foram adicionados manta asfáltica de 3 mm e preenchimento com lã de vidro 20 mm. Comparando à modulação base, sem tratamento nas caixas elétricas, obteve-se um ganho de 1 dB no valor global.

Amostra 4: Adicionando um revestimento de argamassa polimérica de 1,0 cm ao sistema em ambos lados, obteve-se um ganho de 2 dB, porém, ainda sem atingir o nível mínimo obrigatório.

Amostra 6 e 7: Para avaliar o aumento do reboco argamassado de 2,5 cm, adicionou-se este revestimento em ambos os lados, obtendo um ganho de isolamento de 3 dB (amostra 6). Na mesma ideia adicionou-se em um lado da amostra o reboco argamassado de 5,5 cm e teve um ganho de 4 dB (amostra 7).

Amostra 8: Como o reboco argamassado teve um ganho de 3 dB para adição de 2,5cm em cada lado, aumentou-se o revestimento com argamassa polimérica de 1,0 cm em ambos lados e obteve-se um ganho de 5 dB. Como a modulação base resultou em 39 dB, logo não se enquadra no nível mínimo obrigatório da norma de desempenho.

Amostra 9, 11 e 12: Como as chapas de gesso acartonado eram uma possibilidade a ser estudada, ensaiou-se a combinação de um lado com a adição de 02 chapas de gesso acartonado fixadas sobre o perfil canaleta ômega e cavidade preenchida com lã de vidro e do outro lado 01 chapa de gesso acartonado diretamente sobre a alvenaria com massa colante. Com essa composição da amostra 9, obteve-se um ganho de 5 dB. Como faltaria 1 dB para que o dormitório de menor volume atingisse o nível mínimo obrigatório da norma de desempenho, a amostra 12 contemplou o mesmo sistema da amostra 11 com a diferença de que em um lado foi adicionada mais uma chapa de gesso acartonado, logo com essa modificação o $D_{nT,w}$ foi de 46 dB. A fim de melhorar o isolamento acústico, a amostra 11 contemplou o sistema de 02 chapas de gesso acartonado fixadas sobre perfil canaleta ômega e cavidade preenchida com lã de vidro em ambos lados. Com essa alteração, obteve-se um ganho de 7 dB atingindo o $D_{nT,w}$ de 46 dB.

Amostra 10: Por fim, esse sistema contemplou revestimento em ambos lados de 03 camadas de argamassa polimérica e reboco argamassado de 2,5 cm e essa tipologia também resultou em $D_{nT,w}$ de 45 dB.

4.3 Comparação volumétrica entre os dormitórios de 6,87 m² e 9,16 m²

A Tabela 2 mostra que ocorreram tipo de amostras com as mesmas soluções para ambos dormitórios em avaliação, além da modulação base.

Tabela 2: Comparação de amostras que contém mesma solução porém os dormitórios têm volumetria distintas.

Amostra	Dormitório	Volume	Descrição do sistema	$D_{nT,w}$
1	6,87 m ²	17,72 m ²	- FACE A: Não há Modulação base - FACE B: Não há	39 dB
1	9,16 m ²	23,63 m ²	- FACE A: Não há Modulação base - FACE B: Não há	40 dB
4	6,87 m ²	17,72 m ²	- FACE A: Não há Modulação base - FACE B: Solução C	43 dB
7	9,16 m ²	23,63 m ²	- FACE A: Não há Modulação base - FACE B: Solução C	45 dB

Vale ressaltar que o mesmo sistema em estudo em um dormitório de menor volumetria, o resultado tende a ser pior comparado à um dormitório de maior volume, corroborando com os dados apresentados na Tabela 2.

5. Considerações finais

O presente estudo visa mostrar que os padrões PMCMV, ou até mesmo construções que buscam por se atentar ao quesito acústico, podem encontrar dificuldade em atender a Norma de Desempenho ABNT NBR 15575:2021 [7] ao adotar tipologias corriqueiras. Assim, é possível afirmar que, para vedações verticais internas, existem soluções robustas com a capacidade de atingir o nível mínimo obrigatório normativo, como por exemplo solução flutuante com adição de *drywall* com preenchimento de material absorvedor ao sistema. No entanto, existem soluções relativamente mais simples e de custo inferior, como a solução aderida da amostra 10, que também possibilitam atender ao requisito em questão.

Ademais, também é possível afirmar que a volumetria dos ambientes é um fator determinante para que a solução seja assertiva. Seguindo essa linha, pode-se dizer que as soluções são únicas e devem ser estudadas para cada ambiente, visto que a adoção da solução proposta para um determinado ambiente em outro distinto pode gerar resultados inesperados.

Em vista disso, a minimização de problemas relacionados ao isolamento acústico pode ocorrer através da realização projetos específicos com cálculos e simulações, os quais, executados na fase correta, auxiliam no diagnóstico de possíveis problemas futuros e possibilitam ao construtor ou incorporador construir com confiança.

Tendo em vista isso, é importante ressaltar que o intuito da Norma de Desempenho ABNT NBR 15575:2021 [7] é estabelecer requisitos mínimos de aceitabilidade visando garantir qualidade de vida aos moradores. No entanto, atender o nível mínimo obrigatório não afirma necessariamente o conforto acústico, mas garante segurança no viés jurídico, visto que minimiza riscos desnecessários e passivos.

Dessa forma, conclui-se que as construções destinadas a uso multifamiliar, independentemente se populares, de médio ou alto padrão, todas necessitam de isolamento acústico a fim de garantir a qualidade de vida de seus moradores.

Referências

1. BRASIL, Senado Federal do. *Constituição da República Federativa do Brasil de 1988*. Outubro 1988. Disponível em: https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/518231/CF88_Livro_EC91_2016.pdf.
2. FEDERAL, Governo. *Programa Minha Casa, Minha Vida*. Fevereiro 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/assuntos/materias/programa-minha-casa-minha-vida>.
3. VIEIRA, Eliana de A.; COSTA, Heloisa S. M. Residenciais de habitação de interesse social em montes claros, minas gerais: estratégias e/ou adaptações de seus moradores. *Revista Espinhaço*, v. 1, p. 72–81, 2020. doi: <http://dx.doi.org/10.5281/ZENODO.3941284>.
4. VASCONCELLOS, Marco A. S. de; PINHO, Diva B.; TONETO, Rudinei. *Manual de economia*. 7. ed. São Paulo: Saraiva Educação, 2017. ISBN 978-8547220297.
5. AMORIM, Cláudia N. D. Desempenho térmico de edificações e simulação computacional no contexto da arquitetura bioclimática: Estudo de caso na região de Brasília. *UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA—UnB Faculdade de Arquitetura e Urbanismo Curso de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo*, 1998.
6. NETO, Maria de F. F. *Nível de conforto acústico: uma proposta para edifícios residenciais*. Tese (Doutorado) — [sn], 2009.
7. ABNT. *NBR 15575: Edificações Habitacionais - Desempenho*. 2021. Rio de Janeiro.
8. GERGES, Samir N. Y. *Ruído - Fundamentos e Controle*. 2. ed. Florianópolis: NR EDITORA, 2000. ISBN 978-8587550026.
9. BRANDÃO, Eric. *Acústica de Salas: Projeto e Modelagem*. 1 (rev). ed. São Paulo: Blucher, 2016. ISBN 978-8521210061.
10. BISTAFA, Sylvio R. *Acústica aplicada ao controle do ruído*. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2018. ISBN 978-8521212843.
11. ABNT. *NBR 15575-4: Edificações habitacionais - Desempenho Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE*. 2021. Rio de Janeiro.
12. ABNT. *NBR ISO 16283-1: Acústica - Medição de campo do isolamento acústico nas edificações e nos elementos de edificações*. 2018. Rio de Janeiro.
13. ABNT. *NBR ISO 717-1: Acústica — Classificação de isolamento acústico em edificações e elementos de edificações Parte 1: Isolamento a ruído aéreo*. 2021. Rio de Janeiro.
14. ABNT. *NBR ISO 3382-2: Medição de parâmetros de acústica de salas Parte 2: Tempo de reverberação em salas comuns*. 2017. Rio de Janeiro.