XXVIII Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica
3 a 5 de outubro de 2018
Porto Alegre - RS

A IMPORTÂNCIA ENTRE A TIPOLOGIA DO CAIXILHO VERSUS A TIPOLOGIA DO VIDRO NO DESEMPENHO ACÚSTICO DE SISTEMAS DE VEDAÇÕES VERTICAIS EXTERNAS (FACHADAS)

Romero, Tiago Belletti[1]; Fengler, Bárbara[1]; Netto, Pedro do Espirito Santo[1]; Rocha, Raquel Rossatto[1]; Giner, José Carlos[1].

(1) Giner, Rua Padre Chico, 85 - Perdizes - São Paulo/SP - Brasil, projetos@giner.com.br

RESUMO

Atualmente se tem dado grande importância a aplicação da norma de desempenho NBR 15575:2013 nas edificações, com isso o desempenho acústico tem crescido em relevância no mercado. Um dos itens dessa avaliação refere-se a fachada, seu desempenho acústico depende de diversos elementos que a compõem, como exemplo, esquadrias (vidros e caixilho), a tipologia de blocos que compõem a vedação, o tipo de revestimento, entre outros. Neste artigo será apresentada uma comparação, a partir de medições *in loco*, dos resultados de diferença padronizada de nível ponderada a 2 metros de distância da fachada ($D_{2m,nT,w}$), para diferentes composições de esquadrias, procedimento normatizado pelas ISO 16283-3 e ISO 717-1. Em uma mesma composição de parede e no mesmo recinto foram obtidos os valores de $D_{2m,nT,w}$ para duas tipologias de caixilhos, nas quais algumas variações de vidro foram empregadas. Ambas apresentam bandeira com duas folhas de vidro fixas, duas folhas de vidro de correr em que há vedação a pressão transversal e venezianas automáticas. Para o primeiro caixilho aplicou-se 4 tipologias de vidros, enquanto que para o segundo empregaram-se duas, totalizando seis ensaios. Simulações em *software* comercial de isolamento acústico, SONarchitect ISO, foram realizadas para averiguação do desempenho no recinto. A partir dos resultados, pode-se perceber que mesmo com diversas composições de vidro o desempenho acústico manteve-se similar, demonstrando assim a grande importância que a escolha do caixilho impõe sobre o desempenho acústico da janela.

Palavras-chave: $D_{2m,nT,w}$, Desempenho acústico, Caixilho.

ABSTRACT

The application of the performance standard of buildings NBR 15575:2013 has been of great importance, thereby the acoustic performance has grown in relevance in the market. One of the items of this assessment refers to the façade, its acoustic performance depends on several elements that compose it, such as the window (frame and glass), the type of blocks, the type of coating, among others. In this paper we will show a comparison, from on-site measurements, of the weighted standardized level difference at 2 meters from the facade ($D_{2m,nT,w}$), for different composition of frames, procedure normalized by ISO 16283-3 and ISO 717-1. In the same wall composition and in the same room the values of $D_{2m,nT,w}$ were obtained for two types of frames, in which some variations of glass were employed. Both feature two fixed panes, two sliding panes, two locks with transverse pressure sealing and automatic shutters. For the first frame four types of glass were applied, while for the second two were used, in total six tests were made. Simulations in a commercial software for acoustic insulation, SONarchitect ISO, were performed to verify performance in the room. From the results, it can be noticed that even with several

DOI: 10.17648/sobrac-87087

glass compositions the acoustic performance remained similar, demonstrating the great importance that the choice of the frame imposes on the acoustic performance of the window.

Keywords: Façade sound insulation, $D_{2\mathrm{m,n}T,\mathrm{w}}$, Frame window.

1. INTRODUÇÃO

O crescimento de centros urbanos é um tema inegável e em constante discussão. São muitos os efeitos que esse processo provoca, sejam eles benéficos ou maléficos à população. Uma das consequências é o crescimento da frota de veículos. Na cidade de São Paulo, por exemplo, em dois anos esse aumento foi de aproximadamente 450.000, de acordo com o Detran SP [1] [2], sendo que em 2017 a marca de 6 milhões de automóveis foi ultrapassada [3]. Um dos principais efeitos do aumento do número de veículos nas cidades é o incremento da poluição sonora que esses geram, e por consequência, o aumento dos efeitos maléficos do ruído sobre a população.

As fachadas de uma edificação, entre um dos diversos objetivos, tem por função o controle do ruído externo (rodoviário, aeronáutico, ferroviário, entre outros). Com o crescimento urbano a exigência de fachadas com um melhor isolamento acústico é essencial. A norma NBR 15575 [4] de julho de 2013, regulamenta as condições mínimas de desempenho acústico e contribui portanto para a melhoria do isolamento em edificações.

É importante ter em vista que o desempenho acústico de fachadas depende de diversos elementos que a compõem, como exemplo, esquadrias (vidros e caixilho), a tipologia de blocos de uma vedação, o tipo de revestimento, entre outros. Neste artigo será apresentada uma comparação, a partir de medições *in loco*, dos resultados de diferença padronizada de nível ponderada a 2 metros de distância da fachada ($D_{2\mathrm{m,n}T,\mathrm{w}}$) para diferentes composições de esquadrias. Esses elementos, normalmente, são o elo fraco para o desempenho do isolamento acústico de uma fachada. Simulações em *software* comercial de isolamento acústico, SONarchitect ISO e Insul, também foram realizadas para averiguação do desempenho no recinto.

Para uma comparação adequada entre os dados obtidos *in loco* utilizaram-se medições padronizadas pelas normas ISO 16283-3 [5] e ISO 717-1 [6], método apresentado na Seção 2. Os resultados e comparação realizada são apresentados na Seção 3 e por fim, a conclusão é exposta na Seção 4.

2. METODOLOGIA

Neste capítulo serão apresentados o ambiente utilizado, os caixilhos que foram submetidos ao teste, os métodos de medição, as condições de medição, bem como o modelo simulado computacionalmente.

2.1 Ambiente de medição

Deseja-se do empreendimento sob análise o atendimento ao nível superior da norma de desempenho sendo que esse se localiza em região próxima ao aeroporto de Congonhas. Assim, sob rota de avião, o isolamento acústico da fachada é um item essencial ao projeto.

Para que uma comparação adequada seja realizada utilizou-se um único ambiente no qual somente a esquadria foi alterada. Consiste de um dormitório com área de 12,0 m^2, volume de

DOI: 10.17648/sobrac-87087

36,7 m^3 e área da divisória sob teste 9,2 m^2, sua planta baixa é demonstrada na Figura 1, sendo que a janela de 3,4 m^2 ocupa uma área de aproximadamente 37% da divisória externa, sendo um importante item do desempenho acústico da fachada.

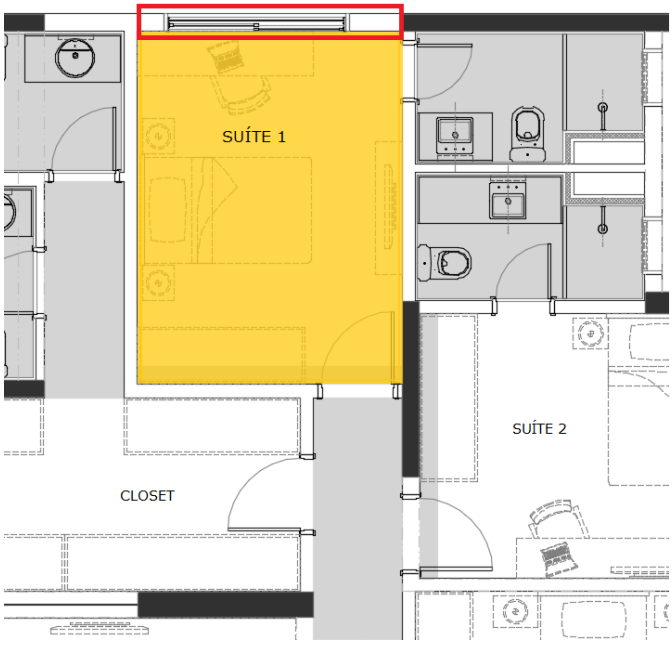

Figura 1: Planta baixa da suíte sob medição (Suíte 1), seus arredores e demarcação do sistema de vedação medido.

2.2 Composição das esquadrias e fachada

A fachada é composta de alvenaria de bloco de concreto com espessura de 190 mm, revestida com emboço de espessura de 15 mm pelo lado interno e 30 mm de argamassa no lado externo. Para as esquadrias utilizaram-se duas tipologias de caixilhos, chamados Caixilho 1 e Caixilho 2. É demonstrado na Figura 2 o caixilho já instalado na obra, ambas apresentam bandeira com duas folhas de vidro fixas, duas folhas de vidro de correr em que há vedação a pressão transversal, material elastomérico para vedação na junta de encontro das folhas móveis, caixilhos de alumínio e venezianas automáticas (as quais estavam fechadas durante a medição) com caixa integrada.

Para o Caixilho 1 quatro composições de vidro (utilizados tanto nos elementos móveis quanto fixos) foram testadas:

- Vidro de 10 mm composto de pó de vidro com controle solar de 4 mm e *float* incolor de 6 mm;
- Vidro de 10,51 mm composto de pó de vidro com controle solar de 4 mm com PVB acústico de 0,51 mm e *float* incolor de 6 mm;
- Vidro de 16,89 mm composto de vidro incolor de 8 mm com PVB acústico de 0,51 mm e vidro incolor de 8 mm com PVB incolor de 0,38 mm;
- Vidro insulado de 24,89 mm composto de *float* incolor de 6 mm com PVB acústico de 0,51 mm, câmara de ar de 12 mm com PVB incolor de 0,38 mm e *float* incolor de 6 mm.

E para o Caixilho 2:

DOI: 10.17648/sobrac-87087

Figura 2: Uma das esquadrias medidas, modelo apresenta folhas fixas no parte inferior, folhas móveis na superior, vedação a pressão transversal e venezianas automáticas.

- Vidro de 10 mm composto de pó de vidro com controle solar de 4 mm e *float* incolor de 6 mm;
- Vidro de 16,89 mm composto de vidro incolor de 8 mm com PVB acústico de 0,51 mm e vidro incolor de 8 mm com PVB incolor de 0,38 mm.

2.3 Métodos utilizados

Para medições de desempenho acústico de fachada utiliza-se o método normatizado pela ISO 16283-3 e para a avaliação dos resultados obtidos a ISO 717-1. A primeira determina a diferença padronizada de nível a 2 metros de distância da fachada ($D_{2\mathrm{m,n}T}$) resultado em banda de frequência de terço de oitavas. Enquanto a segunda obtém um valor global, a diferença padronizada de nível ponderada a 2 metros de distância da fachada ($D_{2\mathrm{m,n}T,\mathrm{w}}$).

Essas normas baseiam-se na aplicação de perdas de transmissão por frequência. Uma visualização do comportamento de uma parede simples é apresentada por Mendez [9], 1994 e Gerges [10], 2000 (*apud* Paixão [8], 2002), conforme Figura 3. Pode-se observar que o isolamento acústico de placas é regido por diferentes características em diferentes faixas de frequência, por exemplo, o aumento do amortecimento nesse elemento irá incrementar a perda de transmissão principalmente próximo a frequência de ressonância e de coincidência. Então, se é constatado problemas de isolamento próximo a frequência de ressonância deve-se melhorar o amortecimento do elemento em estudo. Entendendo, assim, as características acústicas pode-se implementar soluções mais eficientes e direcionadas ao problema.

Nesta subseção serão demonstrados os principais pontos dos procedimentos adotados pelas normas.

2.3.1 ISO 16283-3

Utilizou-se o método de medição a partir de alto-falantes e o método de pontos fixos de microfone. Restringindo as posições de microfone a distâncias maiores de: 0,7 m de outras posições de microfone, 0,5 m de qualquer superfície. Mede-se o ruído de fundo e o tempo de reverberação,

DOI: 10.17648/sobrac-87087

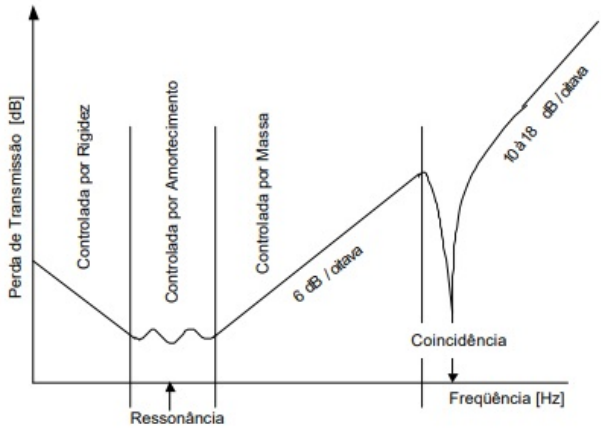

Figura 3: Perda de transmissão de uma parede simples. Fonte: Paixão, D. X. (2002) [8].

o segundo, normatizado pela ISO 3382-2 [7]. Distância de pelo menos 1 m entre posições de fontes sonora.

Cinco medições de ruído de fundo são tomadas e doze medidas de tempo de reverberação são utilizadas pelo método de ruído interrompido. A medição de recepção e emissão são tomadas com fonte sonora externa posicionada a 45^o do centro da fachada, a Figura 4 demonstra os limites apresentados na norma desse posicionamento. Para o valor de recepção, cinco medições são realizadas, e de emissão três.

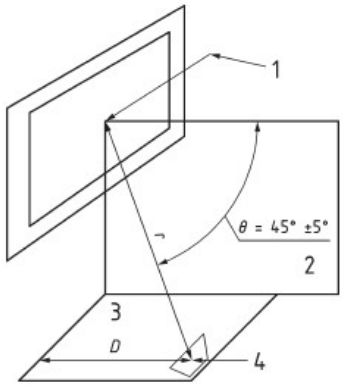

Figura 4: Demonstração dos requisitos para posicionamento da caixa acústica para medição de fachada conforme ISO 16283. Fonte: ISO 16283 (2016) [5].

A partir disso tem-se:

$$D_{2\mathrm{m}} = L_{1,2\mathrm{m}} - L_2\,, \tag{1}$$

sendo $L_{1,2\mathrm{m}}$ a média do nível de pressão sonora a distância de 2 m da fachada e L_2 a média energética do nível de pressão sonora interno a sala.

Para então, a partir de:

$$D_{2\mathrm{m,n}T} = D_{2\mathrm{m}} + 10\log\frac{T}{T_0}\,, \tag{2}$$

obter-se a diferença padronizada de nível a 2 metros de distância da fachada. Tem-se T o tempo

DOI: 10.17648/sobrac-87087

de reverberação da sala receptora, T_0 o tempo de reverberação de referência (0,5 s). Sendo o valor de $D_{2\mathrm{m,n}T}$ em banda de terço de oitava.

2.3.2 ISO 717-1

Para obtenção de um valor global a partir do $D_{2\mathrm{m,n}T}$ em banda de frequência de terço de oitava, utilizou-se o método apresentado na ISO 717-1. A partir do ajuste da curva demonstrada na Figura 5 tem-se o valor de $D_{2\mathrm{m,n}T,\mathrm{w}}$.

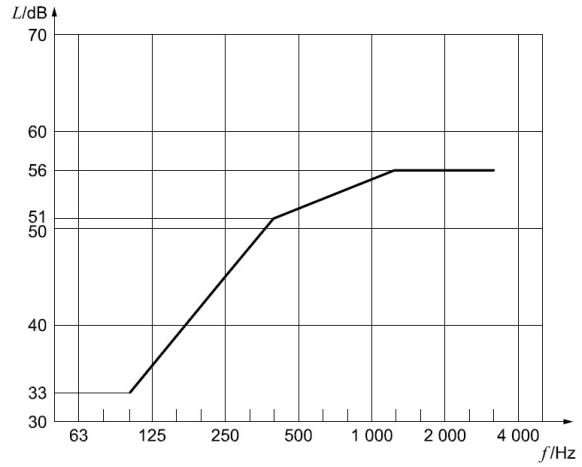

Figura 5: Curva de referência para a determinação do $D_{2\mathrm{m,n}T,\mathrm{w}}$. Fonte: ISO 717-1 (2013) [6].

2.4 Condições de medição

Para realizar as medições, utilizou-se o medidor de nível de pressão sonora e analisador de sinais XL2, microfone MC 230, gerador de sinais Minirator MRPRO, todos da *NTi Audio*. Empregou-se o calibrador da Bruel & Kjaer, tipo 4231, classe 1 e com certificado de calibração atualizado. Para medição do tempo de reverberação, foi utilizada a fonte omnidirecional dodecaédrica Giner AS I. Já para a emissão do lado externo, operou-se a fonte da FZ Audio Brasil. Utilizou-se uma extensão do microfone para realizar a medição a 2 m da fachada, para extrair e analisar os dados, empregou-se o *software* XL2 *Sound Insulation* da *NTi Audio*, do próprio medidor de nível de pressão sonora. A Figura 6 demonstra o posicionamento da fonte sonora e do microfone, no momento das medições.

2.5 Simulação

Para fim de comparação, foram realizadas simulações do desempenho de fachada com o *software* SONarchitect ISO[1]. Nessas simulações, considerou-se alvenaria em bloco de concreto de 190 mm de espessura, sem revestimento, simulada no *software* Insul[2]. Os desempenhos acústicos das esquadrias foram utilizados conforme laudos do índice de redução sonora, R_W, realizados em laboratórios e fornecidos pelos fabricantes. Para cada caixilho, foi simulado as composições de vidro (utilizadas no laudo), descritas abaixo:

[1] O *software* SONarchitect ISO é um *software* de cálculo de desempenho acústico de sistemas construtivos em edificações.

[2] O *software* Insul é um *software* de cálculo de desempenho acústico de elementos construtivos.

DOI: 10.17648/sobrac-87087

Figura 6: Posicionamento da fonte sonora para medição da fachada.

- Caixilho 1: vidro laminado de 10 mm composto por dois vidros de 5 mm cada. R_w = 37 dB conforme laudo realizado em laboratório;
- Caixilho 2: vidro laminado de 16,89 mm composto de vidro incolor de 8 mm com PVB acústico de 0,51 mm e vidro incolor de 8 mm com PVB incolor de 0,38 mm. R_w = 40 dB conforme laudo realizado em laboratório.

3. RESULTADOS

Conforme descrito na Seção 2, realizaram-se as medições do desempenho acústico de fachada de dois caixilhos diferentes em um mesmo ambiente, alterando o vidro utilizado. Ainda, foram realizadas simulações para duas composições de esquadrias.

Os resultados das medições e simulações são apresentados na Tabela 1, com as respectivas informações de cada composição, os resultados e o atendimento ao desempenho intermediário (INT) ou superior (SUP). É possível observar a comparação em bandas de frequência de oitava dos valores de $D_{2\mathrm{m},T}$ através da Figura 8. As comparações entre curvas obtidas através das simulações e medições podem ser analisadas na Figura 7.

Através dos valores obtidos com as medições é possível observar que mesmo com a modificação da composição e espessura dos vidros, os resultados de $D_{2\mathrm{m,n}T,\mathrm{w}}$ mantiveram-se muito próximos entre eles, com variação de até 1 dB. Essa ocorrência é observada nos Caixilhos 1 e 2, porém no Caixilho 1 torna-se nítido esse efeito ao alterar a espessura total de 10 mm para 24,89 mm com um acréscimo de 1 dB ao $D_{2\mathrm{m,n}T,\mathrm{w}}$.

Ao comparar os mesmos vidros, porém com caixilhos diferentes, percebe-se que a mudança do caixilho implica em grande diferença no resultado de $D_{2\mathrm{m,n}T,\mathrm{w}}$.

Para o caso da composição de Caixilho 1 com vidro insulado é possível perceber o efeito do espaçamento de ar, na Figura 8. Devido a frequência de ressonância da cavidade há uma redução mais acentuada nos valores de $D_{2\mathrm{m,n}T}$, na banda de 200 Hz, sendo que após essa frequência há uma melhora no isolamento.

DOI: 10.17648/sobrac-87087

Tabela 1: Resultados medidos e simulados para as tipologias de caixilhos.

Esquadria		$D_{2\mathbf{m},\mathbf{n}T,\mathbf{w}}$ **[dB]**		
Caixilho	**Vidro**	**Medição**	**Simulação**	**Atendimento a NBR 15575 (Classe III)**
1	10 mm (4 mm + 6 mm)	39	—	INT
	10 mm (5 mm + 5 mm)	—	41	SUP
	10 mm (4 mm + PVB + 6 mm)	39	—	INT
	16,89 mm (8 mm + PVB + 8 mm)	40	—	SUP
	24,89 mm (6 mm + PVB + câmara de ar + PVB + 6 mm)	40	—	SUP
2	10 mm (4 mm + 6 mm)	45	—	SUP
	16,89 mm (8 mm + PVB + 8 mm)	45	43	SUP

Como comentado, as medições foram realizadas no mesmo local, sendo que, a equipe que as realizou percebeu uma nítida diferença na sensação auditiva com a troca dos caixilhos (utilizando a mesma espessura de vidro), principalmente em altas frequências. Esse efeito se dá pela diferença de isolamento acústico entre os modelos, os resultados por bandas de frequência (Figura 8) demonstra graficamente essa variações em médias e altas frequências, o que condiz com a sensação auditiva no local. Tal divergência de resultados nessa faixa do espectro pode indicar problemas relacionados à montagem do caixilho.

A comparação entre os resultados simulados e medidos mostra valores que variaram $\Delta \simeq 2$ dB. No presente estudo, no caso do Caixilho 1, o desempenho do sistema de fachada simulado foi melhor do que o medido, enquanto para o outro caixilho pode-se perceber o contrário. Se ambos os caixilhos tivessem apresentados melhores resultados na simulação, ou o contrário, poderia ser indicativo de um desvio na simulação do bloco de concreto, porém não é o caso. Ainda, vale ressaltar que para o Caixilho 1 a composição do vidro apresentado no laudo utilizado na simulação não foi exatamente o mesmo utilizado na medição *in loco*, o que também pode influenciar nos resultados obtidos. Essas grandezas de desvios estão dentro do esperado, de fato, Metzen [12] (1999, *apud* Dias [11], 2009) apresenta diferenças entre valores de $D_{\mathrm{n}T,\mathrm{w}}$ obtidos através do método detalhado da EN 12354 e dos obtidos *in loco* de 2,5 dB. Ainda, a própria norma EN ISO 12354 [13] (2000, *apud* Dias [11], 2009) prevê desvios entre 1,5 e 2,5 dB entre esses casos.

Assim, em casos que o valor simulado de $D_{2\mathrm{m},\mathrm{n}T,\mathrm{w}}$ é muito próximo de limites dos requisitos de desempenho (mínimo, intermediário ou superior), deve ser adotada uma margem de segurança na simulação, visto que aspectos construtivos influenciam nos resultados do desempenho acústico.

DOI: 10.17648/sobrac-87087

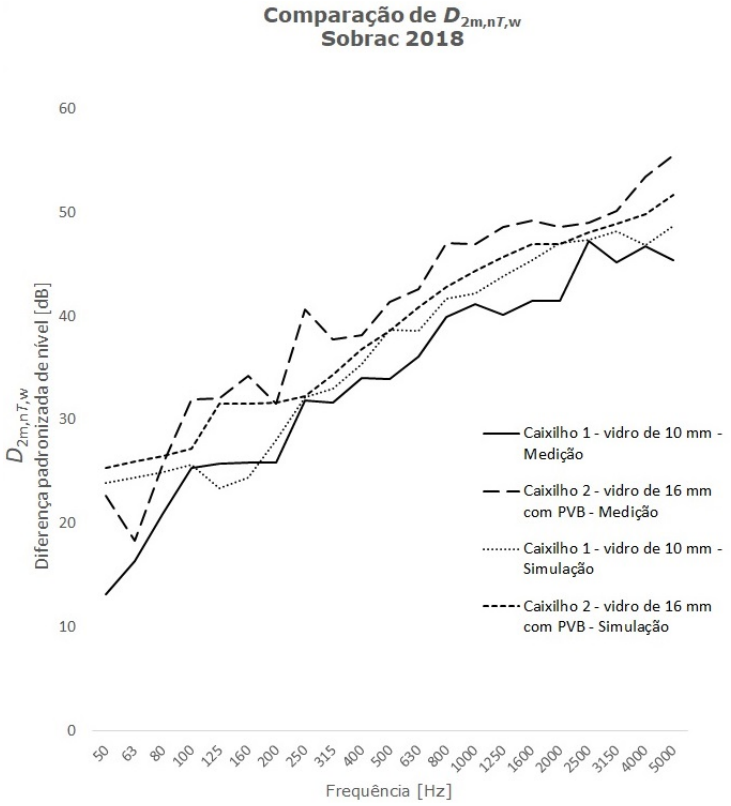

Figura 7: Comparação em bandas de frequência terço de oitava dos valores de $D_{2m,nT}$ medidos e simulados.

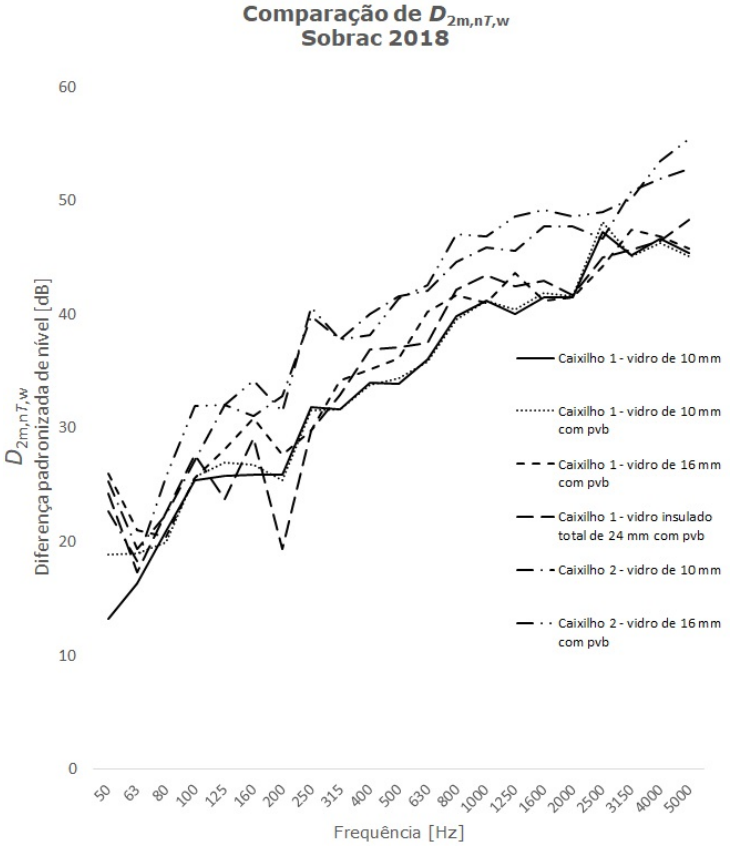

Figura 8: Comparação em bandas de frequência terço de oitava dos valores de $D_{2m,nT}$.

DOI: 10.17648/sobrac-87087

4. CONCLUSÃO

A partir dessas comparações é possível concluir que o caixilho tem forte papel no desempenho do isolamento acústico de uma esquadria, enquanto que o reforço no vidro, não necessariamente implica em uma melhora acústica.

A comparação entre resultados simulados e medidos oferece uma imagem de como a análise crítica de cada passo do projeto é um fator muito importante. Cada passo e seus empecilhos devem ser cuidadosamente observados, desde a inserção de dados coerentes (muitas vezes há a dificuldade na obtenção de laudos específicos), aplicação de cálculos adequados e execução de projeto com mínimas falhas.

REFERÊNCIAS

[1] Detran São Paulo. *Frota de veículos em São Paulo por tipo de veículo*. Disponível em: https://www.detran.sp.gov.br/wps/wcm/connect/portaldetran/detran/detran/estatisticastransito/sa-frotaveiculos/d28760f7-8f21-429f-b039-0547c8c46ed1. Acesso em 08/05/2018.

[2] Detran São Paulo. *Estatísticas de veículos novos, de transferências e por tipo de veículo para o ano de 2016*. Disponível em: https://www.detran.sp.gov.br/wps/wcm/connect/8e48d487-385d-424b-ad5a-670577a57062/Frota+de+Ve%C3%ADculos+2016.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=ROOTWORKSPACE-8e48d487-385d-424b-ad5a-670577a57062-mb04u0J. Acesso em 08/05/2018.

[3] Detran São Paulo. *Estatísticas de veículos novos, de transferências e por tipo de veículo para o ano de 2017*. Disponível em: https://www.detran.sp.gov.br/wps/wcm/connect/6e050111-c752-4178-a985-7234e6620cde/Frota+de+Ve%C3%ADculos+2017.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=ROOTWORKSPACE-6e050111-c752-4178-a985-7234e6620cde-mb04u0J. Acesso em 08/05/2018.

[4] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15575: *Edificações Habitacionais — Desempenho*. Ano: 2013.

[5] International Organization for Standardization. ISO 16283-3: *Acoustics - Field measurement of sound insulation in buildings and of buildings elements - Part 3: Façade sound insulation*. Ano: 2016.

[6] International Organization for Standardization. ISO 717-1: *Acoustics - Rating of sound insulation in buildings and of building elements*. Ano: 2013.

[7] International Organization for Standardization. ISO 3382-2: *Acoustics - Measurement of room acoustic parameters - Part 2: Reverberation time in ordinary rooms*. Ano: 2008.

[8] Paixao, D. X. *Caracterização do isolamento acústico de uma parede de alvenaria, utilizando análise estatística de energia (SEA)*. 2002. Tese de doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.

[9] Méndez, A. M.; *et al*. *Acustica Arquitectonica*. Buenos Aires: Universidad del Museo Social Argentino, 1994.

[10] Gerges, S. N. Y. *Ruído - Fundamentos e Controle*. 2ª ed. Revista e Ampliada. Florianópolis: NR Editora, 2000.

[11] Dias, R. M. de A. *Análise comparativa dos métodos normalizados de previsão da transmissão sonora por vias aérea*. 2009. Dissertação de mestrado. Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, PT.

[12] Metzen, H. A. *Accuracy of CEN-prediction models applied to German building situations*. Building Acoustics, Vol. 6, p.325-340, 1999.

[13] International Organization for Standardization. EN ISO 12354-1: *Building acoustics - Estimation of acoustic performance of building from the performance of elements - Part 1: Airborne soud insulation between rooms*. Bruxelas, Bélgica. Ano: 2000.

DOI: 10.17648/sobrac-87087