

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ACÚSTICO DE UMA FACHADA ESTRUTURADA EM *LIGHT STEEL FRAMING* POR MEIO DE DIFERENTES METODOLOGIAS

PACS: 43.58.+z

Rodrigo Scoczynski Ribeiro; Rosemara Santos Deniz Amarilla; Marielly Gonçalves Anacleto; Márcio Henrique de Avelar Gomes; Rodrigo Eduardo Catai; Adalberto Matoski
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil
Rua Deputado Heitor Alencar Furtado
5000 - Ecoville CEP 81280-340 - Curitiba - PR. Brasil
Tel: +55 (41) 3279-4500
E-mail: rodrigoribeiro@utfpr.edu.br; rosemara.deniz@hotmail.com; marielly_ga@hotmail.com; marciogomes@utfpr.edu.br; recatai@utfpr.edu.br; adalberto@utfpr.edu.br

ABSTRACT

This article presents comparisons of acoustic measurements performed with different methods for the façade sound insulation of a light steel framing structured building, sealed with OSB panels and cementitious board (externally) and plasterboard (internally). Measurements were performed using the following methods: traffic noise and loudspeaker, according to the guidelines of ASTM E966-10: 2011; with the deconvolution technique; and with the global field method recommended by ISO 16283-3: 2014. The results show the difference between the sound insulation values of the same façade through different measurement methods.

Key Words: Acoustic performance, light steel framing façade, measurement methods.

RESUMO

Este artigo apresenta comparações de medições realizadas com diferentes métodos para o isolamento da fachada de uma edificação térrea estruturada em *light steel framing*, com vedações de painéis em OSB e placa cimentícia (externamente) e gesso acartonado (internamente). As medições foram realizadas por meio dos seguintes métodos: com ruído de tráfego e com alto-falante, conforme orientações da norma norte-americana ASTM E966-10:2011; com a técnica de deconvolução; e com o método global de campo preconizado pela norma ISO 16283-3:2014. Os resultados mostram a diferença entre os valores de isolamento ao ruído aéreo de uma mesma fachada para diferentes metodologias de medições.

Palavras chave: Desempenho acústico, fachada *light steel framing*, métodos de medição.

INTRODUÇÃO

Diante do desenvolvimento tecnológico, a indústria da construção civil, progressivamente, procura por sistemas construtivos mais eficientes, com intuito de atender às demandas e às necessidades de mercado por meio do aumento de produtividade, utilização de materiais

sustentáveis, redução de desperdícios e tempo de execução, além de ambientes com conforto termo-acústicos. O sistema construtivo *Light Steel Frame* (LSF) está presente em inúmeros países, dentre estes o Brasil. Além disso, o mesmo é apresentado como uma alternativa bastante benéfica devido à eficácia quanto à velocidade de construção, redução de impactos ambientais e constância no orçamento [1].

O ambiente acústico em torno das edificações é influenciado por inúmeros fatores inter-relacionados e interdependentes ao processo construtivo, design e planejamento do edifício. De maneira geral, os profissionais da construção civil, arquitetos, engenheiros, tecnólogos, desempenham um papel no controle do ambiente acústico. Muitos problemas podem ser evitados ou resolvidos, principalmente nas fases iniciais do projeto sob consideráveis reduções de custos, pois o custo de medidas corretivas após o término de uma obra é inevitavelmente mais elevado [2].

A fachada consiste na parte visível de um edifício, cujas principais funções constituem-se desde garantir proteção térmica, acústica, até mesmo, satisfazer necessidades relacionadas à iluminação, impermeabilidade, resistência e estabilidade ao fogo, a fim de assegurar condições básicas de habitabilidade em ambientes internos. Geralmente, a fachada de uma edificação é composta por elementos construtivos distintos. Perante isso, sabe-se que a transmissão acústica através desses materiais construtivos está relacionada com a transmissão acústica de cada um dos seus componentes. O índice de redução sonora da oclusão das aberturas na fachada é um parâmetro fundamental para o isolamento de som na região de uma fachada [3].

Com base neste contexto, a presente pesquisa tem como objetivo principal avaliar o desempenho acústico de uma fachada estruturada em *light steel framing*. Para tanto, utilizou-se diferentes metodologias visando a comparação entre os resultados das medições para orientações de projetos futuros.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

As estruturas metálicas que são mais leves e cujo custo-benefício é maior são resultados de uma associação com o processo construtivo industrializado. O sistema que utiliza estas estruturas leves é o *Light Steel Framing* (LSF). O LSF tem estimulado grande interesse no mercado da construção civil brasileira, empregando os princípios da construção industrializada, como racionalização, padronização, orientação modular e transformação do local de trabalho em uma linha de produção [4].

No entanto, a estrutura em *light steel framing*, precisa fornecer um bom desempenho de isolamento do som, pesquisadores relatam que durante o último século os requisitos para melhor desempenho acústico nas edificações aumentaram gradualmente [5]. O aumento desses requisitos está relacionado ao fato de que o ruído perturba a população, afetando a qualidade de vida por permear as atividades humanas vinte e quatro horas por dia, principalmente em áreas urbanas [6]; [7]. Sendo assim, o nível de ruído elevado pode gerar diversos efeitos indesejáveis significativos, levando a problemas de saúde como falta de concentração, distúrbios do sono, perda da audição, estresse, hipertensão, baixa produtividade, interferência com a comunicação oral [7]; [8].

Observa-se que o conforto nos edifícios não está somente relacionado a parâmetros como iluminação, qualidade do ar, condições térmicas e ergonomia, mas também ao conforto acústico [5]. Para garantir um ambiente saudável nas edificações o isolamento do som aéreo tornou-se obrigatório [9]. Assim, tendo em vista os efeitos nocivos sobre a saúde humana, diversos países desenvolveram metodologias para avaliar o desempenho acústico das edificações, tais metodologias consistem em medições acústicas conforme procedimentos específicos padronizados em normas internacionais.

A norma europeia ISO 16283-3:2014 “*Acoustics - Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements*” [10], descreve os métodos que podem ser aplicados para

avaliar o desempenho acústico de fachada, ou seja, vedações externas, quanto ao ruído aéreo. E, a norma americana ASTM “*Field Measurements of Airborne Sound Attenuation of Building Facades and Facade Elements*” [11], é um guia que estabelece métodos para medir o isolamento aéreo de uma fachada em particular, bem como elementos da fachada. Diversas são as normas que visam ao conforto acústico. Particularmente na Europa, há pesquisas consideráveis em busca de melhores critérios de isolamento acústico do som aéreo e som de impacto [12].

MATERIAIS E MÉTODOS

As medições apresentadas nesta pesquisa foram realizadas ao ar livre, conforme estabelece a norma ASTM E966-10:2011, bem como a norma ISO 16283-3:2014, para a avaliação acústica da fachada referente aos ruídos de tráfego e de alto-falante. Durante as medições foram utilizados os seguintes instrumentos para coleta e tratamento de dados: dois analisadores de frequência classe 1, sendo um da marca Brüel&Kjaer, modelo B&K 2250 *Light* e um da marca 01dB, modelo *Solo Black*, o *software* de código aberto *Audacity* (para geração de ruído rosa) e *Microsoft Excel* para processamento dos dados.

O isolamento acústico foi medido em bandas de um terço de oitava (1/3 de oitava) cobrindo a faixa de frequência de 80 Hz a 4000 Hz. A fachada em estudo é constituída de uma vedação composta por *Oriented Strand Board* e placa cimentícia em sua face externa, e por placa de gesso acartonado em sua face interna. Toda a estrutura da fachada é composta por perfis de aço formados a frio (*light steel framing*). A fachada em questão está situada a trinta metros de uma rodovia com quatro pistas de rolamentos.

Para a medição acústica na fachada, referente ao método de ruído de tráfego, utilizou-se os dois analisadores de frequência simultaneamente (Figura 01A). Ambos com microfones acoplados a uma distância de 2,00m da fachada (com tolerância de 0,20m) do lado externo e de 1,50m de distância do lado interno, a uma altura de 1,50m. Foram realizadas três medições com duração de quinze minutos cada. Para a medição acústica na fachada, em relação ao método do alto-falante, mantiveram-se os mesmos posicionamentos dos analisadores de frequência. Nesta análise foram realizadas três medições de 30 segundos cada. O alto-falante foi posicionado a cinco metros da fachada em estudo, conforme mostra a Figura 01B.

Figura 01A – Esquema de medição do isolamento por meio do ruído de tráfego; Figura 01B - Esquema de medição do isolamento por meio do ruído do alto-falante



Fonte: Autores, (2017).

O tempo de reverberação no cômodo de recepção foi medido no trabalho de Matoski e Ribeiro [13] e verificado pela técnica de deconvolução na pesquisa de Ribeiro [14], com a descrição da metodologia publicada por Avelar [15]. Os resultados das medições realizadas pelo método simplificado de campo (ISO 10052:2004) no trabalho de Matoski e Ribeiro [13] também foram utilizadas para comparação com os resultados obtidos.

Sobre os resultados obtidos aplicou-se uma análise estatística com o teste *t* de *student*, com a definição de um intervalo de confiança (com 95% de confiança) para as diferenças de níveis de cada frequência analisada (100Hz a 3,15kHz para os requisitos das normas ISO e 80Hz a 4,00kHz para os requisitos das normas norte-americanas). Após a aplicação desta análise, uma nova média foi realizada, com os resultados que estiveram dentro dos intervalos de confianças. Conforme o Quadro 01, foram determinados os valores de isolamento da fachada utilizando as seguintes normas:

Quadro 01 – Normas aplicadas para determinar valores de isolamento da fachada

| |
|--|
| Obtenção das diferenças padronizadas de níveis ponderadas à 2,00m da fachada ($D_{2m,nT}$) utilizando a norma ISO 16283-3:2014; |
| Ponderação dos valores de $D_{2m,nT}$ para obtenção do número único ($D_{2m,nT,W}$), por meio da norma ISO 717-1:2013; |
| Obtenção dos valores de OINR (Θ) (<i>Outdoor indoor noise reduction</i>), conforme os parâmetros da norma norte-americana ASTM E966-10; |
| Determinação de um número único para os valores de OINR (Θ) medidos, obtendo-se assim o valor ponderado para o parâmetro OITC (<i>Outdoor indoor transmission class</i>), seguindo as orientações da norma norte-americana ASTM E1332-16. |

A definição das distâncias e parâmetros de medição foi realizada com o objetivo de atender simultaneamente as orientações das normas ISO 16283-3 e ASTM E966. Algumas diferenças entre normas podem ser observadas no Quadro 2.

Quadro 02 – Comparação entre a ISO 16283-3 e ASTM E966

| |
|---|
| Exigência de quantidade mínima de 50 veículos passando durante os tempos mínimos de medições, o que não ocorre na norma norte-americana. Esta orientação não foi alcançada para as medições em questão, ou seja, não houve tráfego em quantidade suficiente para atender os requisitos da norma ISO. Mesmo assim, foram mantidas as medições em atendimento à norma norte-americana; |
| O espectro de frequência analisado na norma norte-americana é de 80Hz à 3,15kHz, enquanto que na norma ISO o valor é de 100Hz a 3,15kHz; |
| O cálculo dos índices de isolamento, segundo a norma ISO, leva em consideração o tempo de reverberação da sala de recepção. A norma norte-americana orienta a para a subtração em 2dB, ao invés de alguma correção em função do tempo de reverberação; |
| Os alto-falantes possuem diferentes requisitos para utilização. A norma ISO orienta para um alto-falante que seja capaz de emitir um ruído cujas pressões sonoras entre as frequências não sejam diferentes em mais de 5dB, podendo chegar a 10dB caso uma das dimensões possua mais que 5,00m. Pesquisadores demonstram que os requisitos da norma internacional não são suficientes para a especificação do correto alto-falante [16]. A norma norte-americana, por sua vez, orienta para que um nível de pressão sonora emitido por um alto-falante à 2000Hz com inclinação de 45º possua, no máximo, 6dB que o mesmo nível emitido com a inclinação normal (90º). Ambas as recomendações para o alto-falante foram respeitadas. |
| Ambas as normas orientam para correções quanto ao nível de ruído de fundo. A norma ASTM solicita que sejam feitas correções quando o nível de ruído de fundo se o mesmo ficar entre de 5dB e 10dB abaixo do nível medido. A norma internacional cita este intervalo como sendo de 6dB a 10dB. Foram seguidas estas orientações. |
| Quanto aos ângulos, a norma norte-americana orienta que deve haver um ângulo de no mínimo 70º em cada direção do ponto de medição em relação à via, sendo $\phi_1 + \phi_2 > 140^\circ$. Ainda, o ponto de medição deve estar a uma altura em relação à via que não resulte em um ângulo superior a 30º. Estas recomendações foram verificadas. |
| A norma internacional recomenda que haja um ângulo de, aproximadamente, 60º, no mínimo, entre o observador e a via. Ainda, recomenda que a altura do ponto de medição em relação à via compreenda um ângulo de, no máximo, 40º. A distância da via ao ponto de medição deve ser de três vezes a extensão da fachada, ou 25m, qual foi maior. |

Para a diferença de nível padronizada aplicou-se a Equação 01, conforme preconiza a norma ISO 16283-3:

$$D_{2m,nT} = D_{2m} + 10 \log \frac{T}{T_0} \quad (01)$$

Onde:

- “T” é o tempo de reverberação na sala de recepção, medido no trabalho de Matoski e Ribeiro [13];
- “T₀” é o tempo de reverberação de referência, sendo igual a 0,5 segundos;
- D_{2m} é a diferença entre os níveis de pressão sonora médios medidos no exterior da edificação (à 2,00m da fachada) e no interior da edificação.

Os cálculos para determinação do número único de isolamento conforme a norma norte-americana ASTM E966-10 foram feitos conforme a Equação 02.

$$OINR(\theta) = L_{2m} - L_{in} - 2dB \quad (02)$$

Onde:

OINR (Θ) significa *outdoor-indoor noise reduction*, sendo a diferença entre os valores de pressões sonoras medidos no exterior (L_{2m} - à 2,00m da fachada) e no interior da edificação (L_{in}), que pode ser em função dos ângulos entre a fonte e o observador.

A obtenção de número único (*rating*) foi realizada por meio da Equação 03:

$$Rating = 100,13 - 10 \log \sum_f 10^{[(L_f - D_f + A_f)/10]} \quad (03)$$

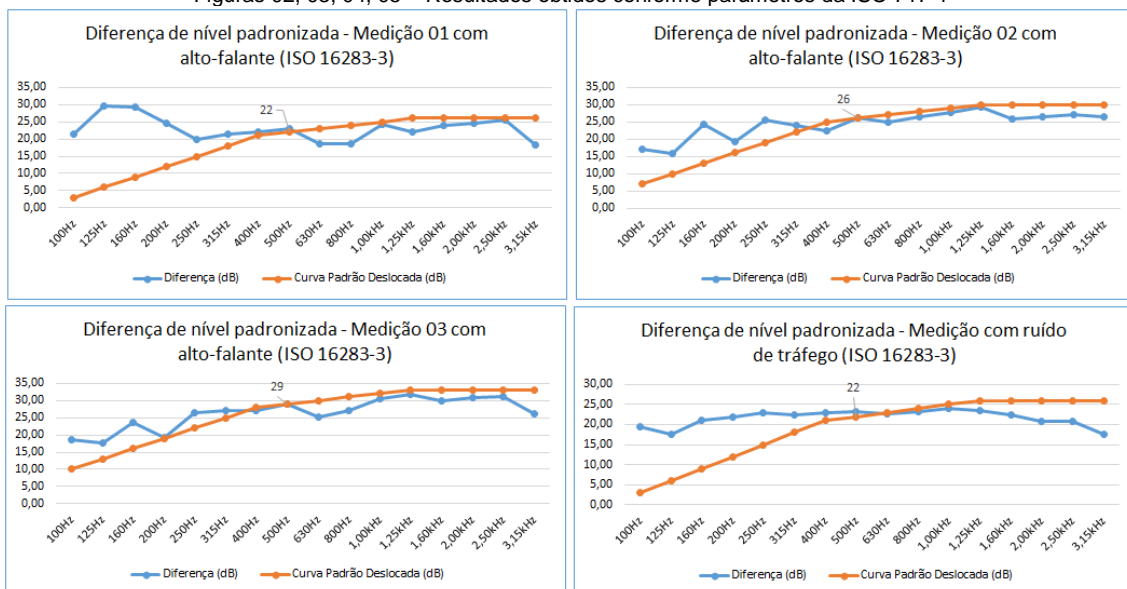
Onde:

- L_f é o espectro de referência para cada frequência, retirado da norma ASTM E966-10;
- A_f é o ajuste para uma ponderação em A, retirado da norma ASTM E966;
- D_f é a diferença de nível obtida para cada frequência.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados com as ponderações realizadas por meio dos parâmetros da norma ISO 717-1 podem ser verificados nas Figuras 02, 03, 04 e 05.

Figuras 02, 03, 04, 05 – Resultados obtidos conforme parâmetros da ISO 717-1



Fonte: Autores, (2017).

Após análise estatística com definição de intervalos de confiança para aceitação ou não de alguns dados (utilizando um teste *t* de *Student*), conforme o Quadro 03.

Quadro 03 – Definição de intervalos de confiança

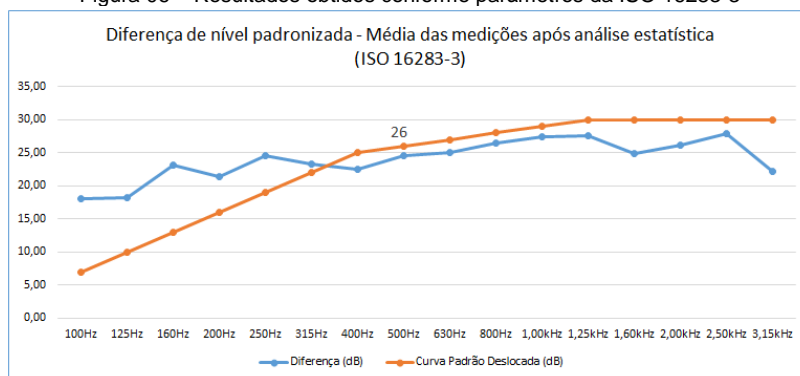
| Frequência (Hz) | D _{nT} (dB) |
|-----------------|----------------------|
|-----------------|----------------------|

| | Intervalo de confiança - Piso | Intervalo de confiança - Teto | Matoski e Ribeiro [13] | Medição 01 com alto-falante | Medição 02 com alto-falante | Medição 03 com alto-falante | Medição com ruído de tráfego | Média |
|------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-------|
| 100 | 16,49 | 21,06 | 17,29 | - | 16,95 | 18,74 | 19,34 | 18,08 |
| 125 | 13,63 | 27,30 | 21,90 | - | 15,82 | 17,60 | 17,53 | 18,21 |
| 160 | 20,65 | 28,09 | 23,52 | - | 24,31 | 23,55 | 21,17 | 23,14 |
| 200 | 18,39 | 26,24 | - | 24,71 | 19,26 | 19,34 | 21,94 | 21,32 |
| 250 | 20,57 | 26,71 | 23,47 | - | 25,48 | 26,36 | 22,87 | 24,55 |
| 315 | 21,28 | 26,67 | 25,08 | 21,58 | 23,87 | - | 22,36 | 23,22 |
| 400 | 20,88 | 25,99 | 22,73 | 22,03 | 22,32 | - | 23,04 | 22,53 |
| 500 | 22,36 | 28,47 | 25,74 | 23,07 | 26,23 | - | 23,10 | 24,53 |
| 630 | 19,78 | 27,65 | 27,00 | - | 24,97 | 25,15 | 22,73 | 24,96 |
| 800 | 19,73 | 29,97 | 29,19 | - | 26,40 | 26,93 | 23,17 | 26,42 |
| 1000 | 23,42 | 31,28 | 30,39 | 24,12 | 27,64 | 30,48 | 24,11 | 27,35 |
| 1250 | 22,05 | 32,99 | 30,98 | 22,11 | 29,14 | 31,79 | 23,59 | 27,52 |
| 1600 | 22,24 | 29,53 | 27,32 | 24,06 | 25,80 | - | 22,32 | 24,88 |
| 2000 | 21,53 | 30,52 | 27,07 | 24,71 | 26,55 | - | - | 26,11 |
| 2500 | 21,80 | 31,07 | 27,80 | 25,49 | 27,02 | 31,03 | - | 27,84 |
| 3150 | 16,97 | 27,49 | 22,58 | 18,22 | 26,54 | 26,19 | 17,62 | 22,23 |

Fonte: Autores, (2017).

Assim, obteve-se um resultado médio para as medições realizadas conforme a norma ISO 16283-3, ilustrado na Figura 06.

Figura 06 – Resultados obtidos conforme parâmetros da ISO 16283-3



Fonte: Autores, (2017).

Os resultados das medições podem ser verificados no Quadro 04. Os valores médios para os resultados correspondem a um OITC (*outdoor-indoor transmission class*) de 20,83dB, sendo este o número único resultante das medições conforme a norma ASTM E966-10.

Quadro 04 – Resultados das medições conforme a norma ASTM E966-10

| Frequência (Hz) | OINR (Θ) | | | | OINR (Θ) Médio (dB) | Correção (L _r +A _i) | Diferença (L _r -D _f +A _r) | 10 ^[(L_r-D_f+A_r)/10] |
|-----------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|---------------------|--|---|--|
| | Medição 01 com alto-falante | Medição 02 com alto-falante | Medição 03 com alto-falante | Medição com ruído de tráfego | | | | |
| 80 | 22,37 | 17,9 | 19,7 | 20,94 | 20,23 | 80,5 | 60,27 | 1064633 |
| 100 | 21,48 | 16,89 | 18,68 | 19,28 | 19,08 | 82,9 | 63,82 | 2408519 |
| 125 | 27,63 | 14 | 15,78 | 15,71 | 18,28 | 84,9 | 66,62 | 4592861 |
| 160 | 27,22 | 22,22 | 21,46 | 19,09 | 22,5 | 84,6 | 62,1 | 1623055 |
| 200 | 22,38 | 16,93 | 17,01 | 19,61 | 18,98 | 86,1 | 67,12 | 5149321 |
| 250 | 16,75 | 22,21 | 23,09 | 19,6 | 20,41 | 86,4 | 65,99 | 3968868 |
| 315 | 18,24 | 20,53 | 23,68 | 19,02 | 20,37 | 87,4 | 67,03 | 5048550 |
| 400 | 18,57 | 18,86 | 23,59 | 19,58 | 20,15 | 88,2 | 68,05 | 6383860 |
| 500 | 19,08 | 22,24 | 24,97 | 19,11 | 21,35 | 89,8 | 68,45 | 6998420 |
| 630 | 14,92 | 21,15 | 21,33 | 18,91 | 19,08 | 89,1 | 70,02 | 10051943 |
| 800 | 14,98 | 22,82 | 23,35 | 19,58 | 20,18 | 89,2 | 69,02 | 7973824 |
| 1000 | 20,54 | 24,06 | 26,9 | 20,52 | 23,01 | 89 | 65,99 | 3975728 |
| 1250 | 18,77 | 25,8 | 28,45 | 20,25 | 23,32 | 89,6 | 66,28 | 4247825 |
| 1600 | 20,6 | 22,34 | 26,46 | 18,86 | 22,06 | 89 | 66,94 | 4938367 |

| | | | | | | | | |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|---|-------------|
| 2000 | 21,25 | 23,09 | 27,39 | 17,46 | 22,3 | 89,2 | 66,9 | 4900608 |
| 2500 | 22,63 | 24,16 | 28,17 | 17,95 | 23,23 | 88,3 | 65,07 | 3214894 |
| 3150 | 15,58 | 23,9 | 23,55 | 14,98 | 19,5 | 86,2 | 66,7 | 4675557 |
| 4000 | 13,87 | 25,34 | 22,1 | 14,9 | 19,05 | 85 | 65,95 | 3934368 |
| | | | | | | | $\sum_f 10^{[(L_f - D_f + A_f)/10]}$ | 85151202 |
| | | | | | | | $100,13 - 10 \log \sum_f 10^{[(L_f - D_f + A_f)/10]}$ | 20,83 dB(A) |

Fonte: Autores, (2017).

As Tabelas 01 e 02 ilustram os resultados das medições realizadas, representadas pelos seus respectivos números únicos

Tabela 01 – Valores medidos e ponderados conforme normas internacionais

| | Matoski e Ribeiro [13] | Medição 01 com alto-falante | Medição 02 com alto-falante | Medição 03 com alto-falante | Medição com ruído de tráfego | Medições com médias |
|----------------------|------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|---------------------|
| Norma | ISSO 10052:2004 | ISO 16283-3 | ISO 16283-3 | ISO 16283-3 | ISO 16283-3 | ISO 16283-3 |
| D _{2m,nT,W} | 27 | 22 | 26 | 29 | 22 | 26 |

Fonte: Autores, (2017).

Tabela 02 – Valores medidos e ponderados conforme normas norte-americanas

| | Medição 01 com alto-falante | Medição 02 com alto-falante | Medição 03 com alto-falante | Medição com ruído de tráfego | Medições com médias |
|--------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| Normas | ASTM E966-10 e ASTM 1332-16 | ASTM E966-10 e ASTM 1332-16 | ASTM E966-10 e ASTM 1332-16 | ASTM E966-10 e ASTM 1332-16 | ASTM E966-10 e ASTM 1332-16 |
| OITC | 18 | 21 | 23 | 19 | 21 |

Fonte: Autores, (2017).

Percebe-se que com a utilização dos métodos de alto-falante houve bastante variação nos resultados, isto provavelmente se deve à ausência de um cabo plano durante as medições, levando ao aumento de caminhos flanqueados pelo não correto fechamento da porta.

O valor encontrado para método de ruído de tráfego foi de 22dB (D_{2m,nT,W}), método este não indicado pela norma ISO para a edificação em questão, devido ao fato de ocorrer, nos momentos das medições, quantidades de veículos insuficientes para a utilização do método. Nenhuma medição foi descartada, porém foi aplicado um tratamento estatístico para garantir um valor dentro de um intervalo de confiança para a determinação das médias e obtenção de um número único mais coerente.

A mesma estatística foi aplicada nas medições calculadas pela metodologia da norma norte-americana, porém nenhuma medição precisou ser descartada após a análise do intervalo de confiança, devido ao fato da metodologia não solicitar correções com o tempo de reverberação, e sim subtrair 2dB do valor encontrado para a diferença de níveis de pressões sonora.

CONCLUSÕES

A análise do isolamento de uma fachada por meio de diferentes metodologias demonstra que os diferentes números únicos normatizados possuem grande divergência. O valor médio de 26dB para uma diferença padronizada de nível ponderada (D_{2m,nT,w}) para a fachada foi calculado conforme os parâmetros da norma ISO 16283-3, e um outro valor único de isolamento foi calculado conforme a norma ASTM E966-10, sendo igual à 20,83dB.

Como a diferença encontrada foi considerável (aproximadamente 6dB), conclui-se que as metodologias devem ser analisadas isoladamente, considerando diferentes requisitos de desempenhos.

REFERÊNCIAS

- [1] CAPELETI, D. Congresso latino-americano de construção em steel frame. São Paulo: 2º Congresso Latino-Americano de Steel Frame, 2016.
- [2] PÉREZ, G.; COMA, J.; BARRENECHE, C.; GRACIA, A. DE.; URRESTARAZU, M.; BURÉS, S.; CABEZA, L. F. Acoustic insulation capacity of Vertical Greenery Systems for buildings. *Applied Acoustics* 110, 218-226, 2016.
- [3] Díaz, C.; Díaz, A.; Navacerrada, M. A. An experimental study on the effect of rolling shutters on the field measurements of airborne sound insulation of façades. *Applied Acoustics* 74, 134-140, 2013.
- [4] GOMES, A. P.; DE SOUZA, H. A.; TRIBESS, A. Impact of thermal bridging on the performance of buildings using Light Steel Framing in Brazil. *Applied Thermal Engineering*, 52 (1), 84-89, 2013.
- [5] ANTÓNIO, J.; MATEUS, D. Influence of low frequency bands on airborne and impact sound insulation single numbers for typical Portuguese buildings. *Applied Acoustics* 89, 141-151, 2015.
- [6] BIES, D. A.; HANSEN, C. H. *Engineering Noise Control: Theory and Practice*. University of Adelaide, Australia. Third edition published in the Taylor & Francis e-Library, 2005.
- [7] BISTAFA, S. R. *Acústica aplicada ao controle de ruído*. 2 edição - São Paulo: Blücher, 2011.
- [8] WHO. WORLD HEALTH ORGANIZATION. Disponível em: <http://www.who.int/topics/urban_health/en/>. Acesso em: 30.08.2017.
- [9] NEUBAUER, R. O.; JIAN K. Airborne sound insulation in terms of a loudness model. *Applied Acoustics* 85, 34-45, 2014.
- [10] ISO/DIS 16283-3:2014 – Acoustics - Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 3: Façade sound insulation.
- [11] ANON, A. S. T. M. "E966-99, "Standard Guide for Field Measurement of Airborne Sound Insulation of Building Facades and Facade Elements". *Am. Soc. for Testing and Materials, Philadelphia*.
- [12] GARG, N.; KUMAR, A.; MAJI, S. Significance and implications of airborne sound insulation criteria in building elements for traffic noise abatement. *Applied Acoustics* 74, 1429-1435, 2013.
- [13] MATOSKI, A.; RIBEIRO, R. S. "Evaluation of the acoustic performance of a modular construction system: Case study." *Applied Acoustics* 106, 105-112, 2016.
- [14] RIBEIRO, R. S; MATOSKI, A.; DE AVELAR GOMES, M. H.; ALBERTO, C. The acoustic performance of walls made with sustainable and industrialized panels. *International Congress on Acoustics*. Buenos Aires. Argentina, 2016.
- [15] AVELAR, M.; PRESTES, P.; SARDA, A.; BONIFACIO, P. Measuring sound insulation from partitions through a deconvolution technique. *International Congress on Acoustics*. Buenos Aires, Argentina, 2016.
- [16] PEDRERO, A., IGLESIAS, L., SÁNCHEZ, J. L., DÍAZ, C, NAVACERRADA, M. A. Statistical study of the sound coverage in facade sound insulation measurement using different types of loudspeakers. *International Congress on Acoustics*. Buenos Aires. Argentina, 2016.