XV ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído
XI ELACAC Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído
JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE RUÍDO EM SALA DE AULA EM FUNÇÃO DO TRÁFEGO E COMPARAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS DE MEDIÇÃO DE CAMPO E ESTIMADO

Nathali Martins Padovani (1); Ana Paula Campos Rodrigues (2); Caio Vasconcellos Sabido Gomes (3)

(1) Arquiteta, estudante do curso de Pós-Graduação em Arquitetura Bioclimática - Desempenho Ambiental, nathalipadovani@gmail.com, PUC Minas, Rua dos Aeronautas, 440/202, BH/MG, Tel.: (31)99825-6258

(2) Gestora Ambiental, estudante do curso de Pós-Graduação em Arquitetura Bioclimática - Desempenho Ambiental, anapaula-campos@hotmail.com, PUC Minas, R. Profº José de Carvalho, 1044/301, GV/MG, Tel.: (31)99743-8085

(3) Mestre, Professor do curso de Pós-Graduação em Arquitetura Bioclimática - Desempenho Ambiental, caiosabido@gmail.com, PUC Minas, Rua Araguari 1383/301, BH/MG, Tel.: (31)98881-1584.

RESUMO

A poluição sonora é uma das consequências mais preocupantes do crescimento desordenado das grandes cidades. Em ambientes como salas de aula, o atendimento a níveis de ruído confortáveis e a inteligibilidade da fala são fundamentais para um bom desempenho no processo de aprendizagem, o que depende das características dos sistemas construtivos do ambiente. Este artigo tem como objetivo apresentar um estudo sobre a avaliação do nível de ruído presente em uma sala de aula universitária em função do tráfego em um período típico de uso e ocupação. O método de avaliação foi apresentado por meio de medições *in loco* e cálculos estimativos para os níveis de ruído externo e interno, possibilitando a comparação entre as relações dos níveis atingidos. Os resultados das medições extrapolaram os limites de níveis de ruído estabelecidos por norma, requerendo um isolamento maior do sistema de vedação externo. Os níveis de ruído externo estimados apresentaram divergências com níveis medidos. Em contrapartida, o isolamento estimado do sistema de vedação externo do ambiente apresentou valores similares ao obtido nas medições. Com base nos resultados, concluiu-se que o estudo serve de parâmetro para novos projetos e para análise dos demais edifícios situados ao entorno, em especial os numerosos de uso educacional existentes e que, porventura, não apresentem condições adequadas para o conforto acústico.

Palavras-chave: Acústica de salas de aula, desempenho acústico, medições de campo, controle de ruído.

ABSTRACT

Noise pollution is one of the most growing causes of the disorderly growth of large cities. In environments such as classrooms, attendance at comfortable noise levels and speech intelligibility are fundamental for a good performance in learning, which depends on the characteristics of the constructive systems of the environment. This article aims to present a study about the evaluation of the level of performance present in a university classroom according to the period of time of use and occupation. The evaluation method was measured at different levels and estimated the levels of external and internal score, allowing a comparison between the variables of the levels reached. The measurement results suppose the pattern saturation limits by standard, requiring greater insulation from the outer wrapping system. The estimated external noise levels are divergent in comparison with the measured levels, in contrast, the estimated isolation from the enviromental outer wrap system presented simaler results by the ones obtained with the measurements. Based on the results, it was concluded that the study would serve for new projects and for the analysis of the other buildings located around, specially the numerous existing educational use and, perhaps, do not present the appropriate conditions for acoustic comfort.

Keywords: Classroom acoustics, acoustic performance, field measurements, noise control.

1. INTRODUÇÃO

A poluição sonora é uma das consequências mais preocupantes do crescimento desordenado das grandes cidades, onde o crescimento populacional e a vida em conglomerados elevam, cotidianamente, o ruído nos centros urbanos, em especial, em decorrência do aumento do número de automóveis, aeronaves e outros meios de transportes (SOUZA et al., 2006).

Estudos em países da Europa Ocidental mostram que o ruído ambiente é o segundo causador de doenças relacionadas a fatores ambientais, perdendo somente para a poluição do ar (WHO, 2003). Nagem (2004), expõe diversos danos à saúde causados pela exposição do indivíduo ao excesso de ruído sonoro, como surdez temporária ou permanente, irritabilidade, diminuição do desempenho e/ou da concentração, *stress*, agressividade, e até mesmo interferência na comunicação.

Em ambientes como salas de aula, além de baixos níveis de ruído, a inteligibilidade da fala é fundamental para um bom desempenho no processo de aprendizagem. A inteligibilidade é a medida da proporção do conteúdo de uma mensagem de voz que pode ser entendida corretamente, segundo a definição da norma internacional IEC 60849 (2002) e pode ser influenciada por ecos e/ou distorções causados pelas características do ambiente (OLIVEIRA, 2013). Desta forma, a avaliação do desempenho acústico dos sistemas construtivos das edificações é indispensável para se construir edifícios com ambientes mais confortáveis.

Neste artigo, buscou-se avaliar os níveis de ruído de uma sala de aula universitária em uma edificação inserida no meio urbano consolidado por meio de medições realizadas em campo e cálculos estimativos. A condução dos trabalhos foi guiada pelas normas acústicas NBR 10.151 (ABNT, 2000), NBR 10.152 (ABNT, 2017) e, na ausência de uma norma específica para essa tipologia de uso, adotaram-se os requisitos da norma NBR 15.575 (ABNT, 2013) para a avaliação do desempenho acústico do sistema construtivo.

2. OBJETIVO

Esse trabalho tem como objetivo avaliar o nível de ruído presente em uma sala de aula universitária em função do tráfego em um período típico de uso e ocupação e ainda comparar relações de níveis de ruído medidos e estimados.

3. MÉTODO

A metodologia utilizada para a obtenção dos níveis de ruído foi baseada na realização de medições *in loco* e por meio de cálculos prescritivos, possibilitando a comparação dos resultados, conforme indicado a seguir:

1. Apresentação da área, ambiente de estudo e instrumentação utilizada;
2. Nível de ruído externo medido por sonômetros e estimado;
3. Nível de ruído interno medido por sonômetros e estimado.

3.1. Determinação da área de estudo e instrumentação

Para as medições internas, determinou-se como objeto de estudo a sala de aula de informática nº 1102, situada no 11º andar do Edifício Liberdade da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (coordenadas 19°93'S, 43°93'W), na Rua Cláudio Manoel, nº 1149, bairro Funcionários, no município de Belo Horizonte/MG. Para as medições externas, foram escolhidos cinco pontos ao longo das ruas Alagoas (A1, A2, A3, A4 e A5), Cláudio Manoel (C1, C2, C3, C4 e C5) e Sergipe (S1, S2, S3, S4 e S5), vias de classificação arterial, nos trechos adjacentes à quadra onde se encontra a edificação (Figura 1). O edifício escolhido representa um dentre os numerosos de uso educacional existentes nessa região do bairro, dos quais muitos são pertencentes à própria universidade PUC Minas para ensinos de graduação e pós-graduação.

Para as medições, foram utilizados três sonômetros, um da marca Quest Technologies, modelo 1900, tipo 1 e dois sonômetros da marca Minipa, modelo MSL-1352A, tipo 2, todos calibrados por laboratório acreditado e com certificado rastreável datado em 20 de fevereiro de 2019. Os instrumentos foram ajustados para medição na curva de ponderação "A" e com resposta rápida *(fast)*.

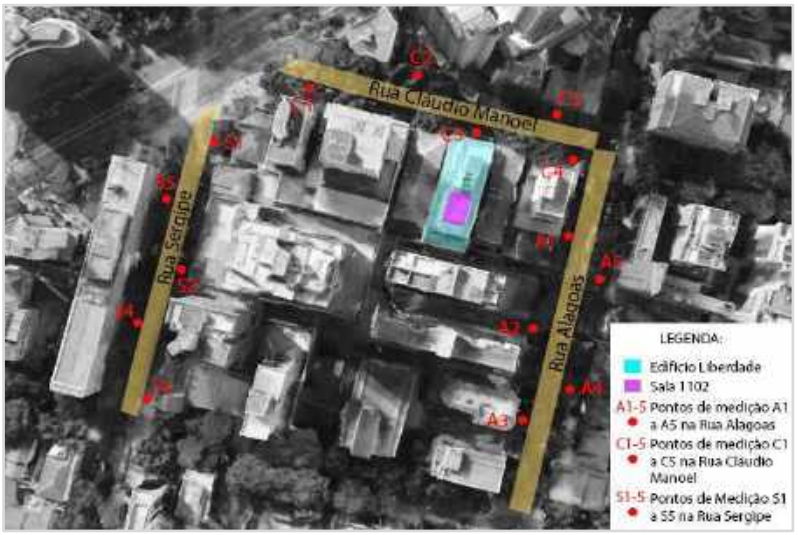


Figura 1 - Determinação da área de estudo e pontos de medição externos (GOOGLE MAPS, 2019. Adaptado)

3.2. Nível de ruído externo

3.2.1. Medições

Para a medição dos níveis de ruído dos pontos da rua Sergipe, foi utilizado o sonômetro da marca Quest Technologies, ajustado para a escala de medição entre 40dB e 100dB. Os níveis de ruído dos demais pontos, nas ruas Cláudio Manoel e Alagoas, foram medidos com os dois sonômetros da marca Minipa, ajustados para a escala de medição entre 40dB e 90dB.

Preocupou-se em manter a distância mínima de 1,5m das paredes e demais superfícies refletoras, posicionar o microfone dos instrumentos a uma altura de 1,2m do solo e evitar a influência de sons não desejados como vento e ruídos de interferências elétricas e condições climáticas extremas, (ABNT, 2000).

As medições foram realizadas em dois dias e horários distintos durante a ocorrência de aula, primeiro, numa sexta feira entre 19h30 e 20h30, e num sábado entre 13h50 e 15h20, em abril de 2019. Em cada ponto foram realizadas 13 medições, aferidas a cada 5 segundos, totalizando 60 segundos por ponto. O nível de pressão sonora medido pelo instrumento a cada instante foi anotado manualmente. Posteriormente, calculou-se o nível de pressão sonora equivalente referente ao intervalo de tempo total $L_{Aeq,60s}$ de cada ponto e, por último, o nível de pressão sonora equivalente de cada via L_{Aeq}, através da Equação 1 especificada na NBR 10.151 (ABNT, 2000).

$$LAeq = 10\log\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}10^{\frac{Li}{10}} \qquad \text{Equação 1}$$

Onde:
Li é o nível de pressão sonora lido em resposta rápida (*fast*) a cada 5s, durante o tempo de medição do ruído [dB(A)];
n é o número total de leituras.

Por fim, a avaliação do ruído foi feita em comparação com o nível de critério de avaliação (NCA) estabelecido pela NBR 10.151 (ABNT, 2000) e com os limites indicados como não prejudiciais à saúde, à segurança ou ao sossego público determinados pela legislação estadual e municipal vigentes, expostos na Tabela 1.

Tabela 1 - Nível de critério de avaliação NCA e limites de ruído para ambientes externos, em dB(A).

Recomendação	Diurno		Noturno		Fonte
NBR 10.151	7h às 22h		22h às 7h		ABNT (2000)
Área mista, com vocação comercial e administrativa	60 dB		55 dB		
Lei Estadual nº 10.100	6h às 22h		22h às 6h		MINAS GERAIS (1990)
Ambiente externo	70 dB		60 dB		
Lei Municipal nº 9.505	7h às19h	22h às 0h	0h às 7h	19h às 22h	BELO HORIZONTE (2008)
Ambiente externo	70 dB	50 dB	45 dB	60 dB	

3.2.2. Estimativa

Com base em London (1988), para a simulação do ruído de tráfego, o nível de ruído externo estimado foi calculado com base no número médio de veículos que circularam nas vias analisadas durante o período de medição com os sonômetros, sendo considerada a velocidade máxima permitida para a via de acordo com o Código Brasileiro de Trânsito (BRASIL, 1997), e a fração de veículos pesados presentes no fluxo de tráfego, conforme indicado na Equação 2.

$$L_{10} = 10 \log q + 33 \log\left(v + 40 + \frac{500}{v}\right) + 10 \log\left(1 + \frac{5p}{v}\right) - 26,6 \qquad \textbf{Equação 2}$$

Onde:
q é o volume de tráfego de veículos/hora;
v é a velocidade média [km/h];
p é a porcentagem de veículos pesados [%].

Para a definição final da classe de ruído externo, levou-se em consideração a distância e a altura das fachadas da sala de aula localizada no 11º andar com as vias analisadas (Figura 2). Em função da distância entre a fonte de ruído e o receptor, o nível de ruído decai devido à absorção do som pelo ar. Para o fluxo de veículos, tem-se 3dB de atenuação de ruído ao ar livre para cada duplicação da distância. Tal relação é dada pela Equação 3, sendo possível prever os níveis de ruído na fachada da sala de aula em relação ao nível de ruído estimado pelo tráfego em cada rua para qual a vedação externa está voltada (Alagoas e Sergipe).

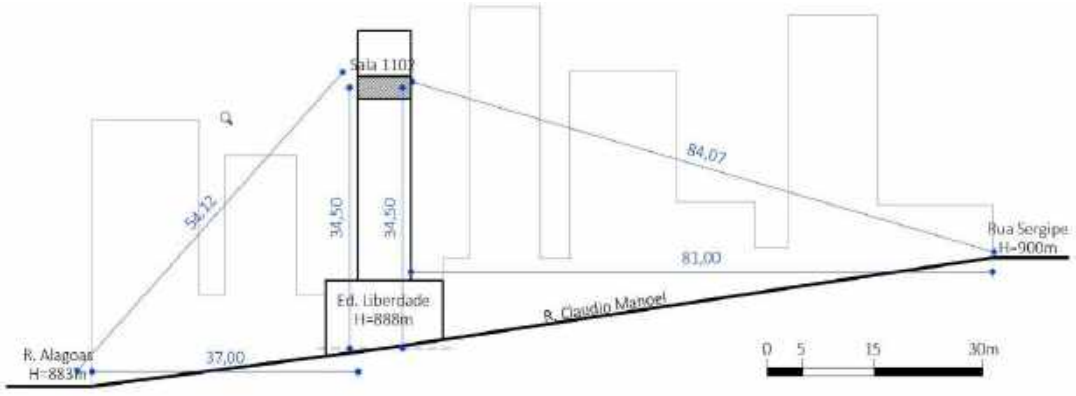


Figura 2 - Corte esquemático da Rua Claudio Manoel

$$NPS0 - NPS1 = 10 \log\left(\frac{d1}{d0}\right) \qquad \textbf{Equação 3}$$

Onde:
NPS: Nível de Pressão Sonora [dB(A)];
d: distância entre a fonte e o receptor, [m].

3.3. Nível de ruído interno

3.3.1. Medições

Para as medições internas à sala 1102 (Figura 3), foram estabelecidos quatro pontos P1, P2, P3 e P4, em diferentes alturas: 1,78m, 1,56m, 1,20m e 1,50m respectivamente. A sala possui uma área de 61,40m² e pé-direito igual a 2,76m. Para cada ponto P1 e P2, foi utilizado um sonômetro da marca Minipa, ajustado para a escala de medição entre 30dB e 80dB. Já para as medições dos pontos P3 e P4, foi utilizado o sonômetro da marca Quest Technologies, ajustado para a escala de medição entre 30dB e 90dB.



Figura 3 - Planta e Corte da sala 1102

Preocupou-se em distar os pontos a 1,0m das paredes, teto, piso, e de elementos com características reflexivas, como janelas, portas ou entradas de ar, e mobiliário. No momento das medições, as janelas foram abertas e a porta fechada, e a sala apresentava-se em suas condições normais de uso e ocupação durante as aulas, com o equipamento de ar condicionado e 50% dos computadores ligados e a presença de 14 pessoas em seu interior, (ABNT, 2017).

As medições foram realizadas entre 20h30 e 21h00 da sexta feira, no mesmo dia das medições externas noturnas. Em cada ponto foram realizadas 13 medições, aferidas a cada 5 segundos, totalizando 60 segundos por ponto. O nível de pressão sonora medido pelo instrumento em cada instante foi anotado manualmente. Posteriormente, calculou-se o nível de pressão sonora equivalente referente ao intervalo de tempo medido $LAeq,60s$ de cada ponto e, por último, o nível de pressão sonora equivalente do ambiente interno $LAeq$, através da Equação 1.

Por último, foi feita a avaliação do ruído de modo simplificado em comparação com o nível de referência estabelecido na Tabela 2 , admitindo-se tolerância de até 5dB acima dos valores tabelados.

Tabela 2 - Valores de referência para ambientes internos de uma edificação de uso educacional

Finalidade de uso	**Valores de referência RLAq (dB)**	**Fonte**
Ambientes educacionais: Salas de Aula	35 + 5dB de tolerância	NBR 10.152 (ABNT, 2017)

3.3.2. Estimativa

De acordo com a NBR 15.575 (ABNT, 2013), a partir do método de precisão, baseado em dados tabelados provenientes de ensaios em laboratórios, foi possível estimar a isolação sonora dos componentes e elementos construtivos empregados nos fechamentos verticais da sala de aula. Este método permitiu a avaliação do sistema de vedação externa composto por diferentes elementos (parede com janela), sendo calculado o isolamento estimado global do conjunto.

Desse modo, estimou-se a média ponderada dos índices de redução sonora, Rw_{total}, através da Equação 4, para o sistema de vedação de cada uma das fachadas sensíveis ao nível de ruído (BISTAFA, 2011) advindo das ruas Alagoas e Sergipe, utilizando as áreas e os valores de *Rw,* referenciados na Tabela 3, para cada elemento construtivo.

$$Rw_{total} = 10\,log\,\frac{\Sigma A}{A_1 10^{-0,1Rw_1} + A_2 10^{-0,1Rw_2} + \ldots + A_n 10^{-0,1Rw_n}}$$ **Equação 4**

Onde:
A é a área da superfície dos elementos construtivos;
Rw é o índice de redução sonora ponderado dos elementos construtivos.

Tabela 3 - Dados de área e Índice redução sonora (Rw) dos elementos construtivos.

Sistema	Área	*Rw*	Fonte
Fachada Rua Alagoas			
Alvenaria composta por tijolo revestido com argamassa de 15cm	2,71	40	CBIC (2013)
Janela de vidro simples 4mm abertas (50%)	17,94	25	Souza, et al. (2006)
Ar (janelas abertas - 50%)	2,71	0	---
Fachada Rua Sergipe			
Alvenaria composta por tijolo revestido com argamassa de 1,5cm	2,71	40	CBIC (2013)
Janela de vidro simples 4mm abertas (50%)	19,05	25	Souza, et al. (2006)
Ar (janelas abertas - 50%)	2,71	0	---

4. RESULTADOS

Os níveis de ruído interno e externo adquiridos nas medições em campo, assim como os valores obtidos por métodos prescritivos foram indicados a seguir. Vale ressaltar que os levantamentos foram realizados em dias com condições climáticas normais (sem chuvas, ventos fortes etc.), pista de tráfego seca, asfaltada e com o pavimento em bom estado de conservação.

4.1. Nível de ruído externo

4.1.1. Níveis de ruído externo obtidos por medições em campo

A partir das medições *in loco*, foi possível avaliar o nível de pressão sonora (NPS) nas três vias analisadas para o período noturno e para o período diurno, conforme as medições realizadas, respectivamente, nos dias 26 de abril e 27 de abril de 2019. Visando facilitar a compreensão dos resultados, os dados obtidos foram compilados e apresentados por meio de gráficos (Figura 4).

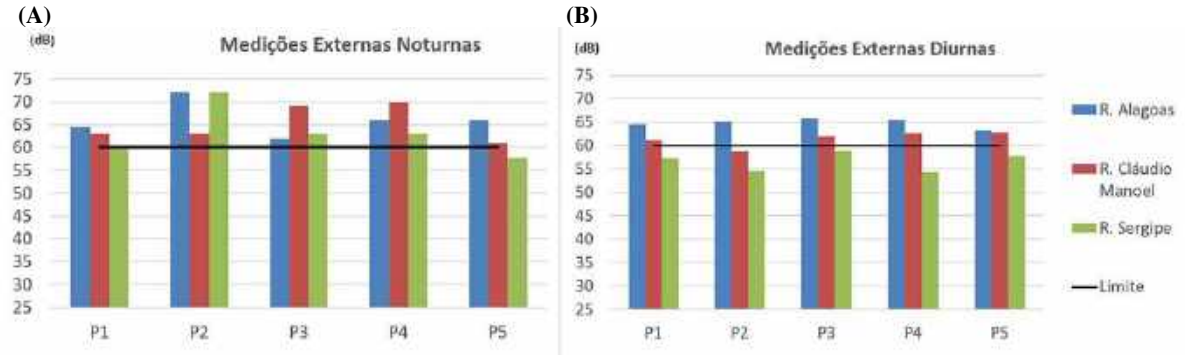


Figura 4 - Níveis de ruídos obtidos por medições externas: (A) Período Noturno; (B) Período Diurno

De acordo com os parâmetros apresentados na Figura 4, o nível de pressão sonora máximo admitido para o entorno analisado é de 60dB. Sendo assim, verificou-se que durante as medições noturnas, os valores obtidos em todos os pontos analisados nas três vias ficaram acima do nível de critério de avaliação (NCA) estabelecido pela NBR 10.151 (ABNT, 2000) e pela Lei Estadual n° 10.100 (MG, 1990), com exceção do valor medido no ponto 5 da Rua Sergipe.

Os resultados das medições externas diurnas apontaram maior nível de ruído na Rua Alagoas, com todos os valores acima de 60dB. Apesar do resultado obtido no ponto 2 da Rua Cláudio Manoel ter ficado um pouco abaixo do limite, os demais resultados também foram acima do NCA. Em contrapartida, todos os pontos medidos na Rua Sergipe apresentaram nível de pressão sonora satisfatório, ou seja, abaixo de 60dB.

4.1.2. Níveis de ruído externo estimados

Com base no levantamento do número de veículos leves (VL) e veículos pesados (VP) que trafegaram pelas vias analisadas durante o intervalo de medições com sonômetro (300s), no período noturno do dia 26 de abril de 2019 e no período diurno do dia 27 de abril de 2019, foi possível estimar o número médio de veículos por hora, equivalente a 3.600s, que circulam nos logradouros lindeiros à quadra do edifício objeto desse estudo, conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 - Levantamento do número médio de veículos nas vias lindeiras

	Rua Alagoas			**Rua Cláudio Manoel**			**Rua Sergipe**		
Período	VL (300 s)	VL (3.600 s)	VP (300 s)	VL (300 s)	VL (3.600 s)	VP (300 s)	VL (300 s)	VL (3.600 s)	VP (300 s)
Noturno	132	1584	2	42	504	0	48	576	2
Diurno	93	1116	0	23	276	0	24	288	1

Através dos levantamentos realizados, a estimativa do ruído proveniente do tráfego foi obtida a partir da Equação 1, sendo os valores apresentados na Figura 5. Observou-se que, para as três vias analisadas, considerando o período noturno e o período diurno, todos os resultados estimados ultrapassam o valor máximo admitido (60dB) para o entorno.



Figura 5 - Níveis de ruído externo estimados

4.1.3. Comparação dos níveis de ruído externo medidos e estimados

A partir dos níveis de ruído adquiridos por meio das medições realizadas nos cincos pontos de cada logradouro avaliado, tirou-se a média do nível de pressão sonora equivalente ($LAeq$) obtido em cada via. Os dados das medições de campo foram comparados com os valores estimados pelo método prescritivo (Figura 6).

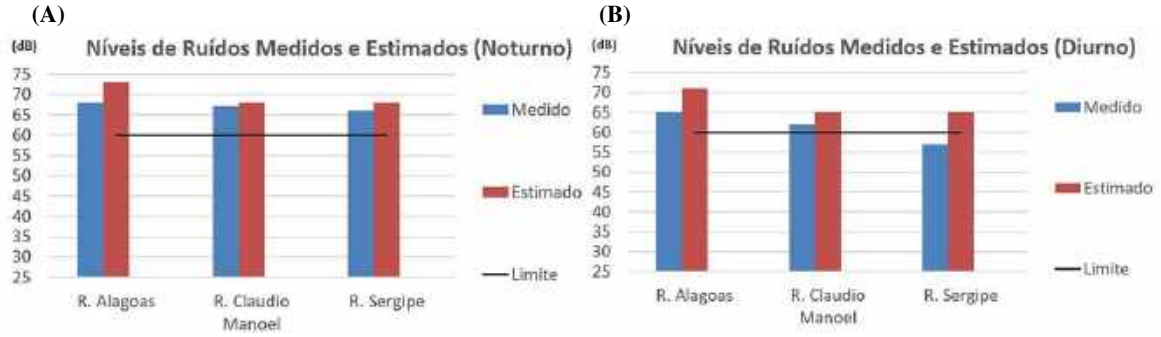


Figura 6 - Comparação dos níveis de ruídos medidos e estimados: (A) Período Noturno; (B) Período Diurno

A partir da análise dos resultados medidos, notou-se que, apesar de alguns valores apresentados na Figura 4 terem sido considerados satisfatórios, o nível de ruído médio em todos os casos ultrapassou o limite máximo admitido (60dB), com exceção do nível de ruído medido no período diurno para a Rua Sergipe. Além disso, percebeu-se que todos os valores estimados foram superiores aos valores medidos em campo.

No que se refere ao ruído externo, a NBR 15.575 (ABNT, 2013) apresenta as classes de ruídos para entornos, necessárias para a caracterização do nível de isolamento acústico a ser proporcionado para as fachadas (parede + esquadria) e, apesar desses parâmetros serem aplicáveis apenas para o desempenho de edificações habitacionais, esses requisitos foram considerados para o enquadramento da classe de ruído de cada via analisada nessa pesquisa, de acordo com os critérios definidos na Tabela 5.

Tabela 5 - Níveis de pressão sonora equivalentes (LAeq) incidentes nas fachadas das edificações para cada classe de ruído

Classe de Ruído	**Nível de Pressão Sonora Equivalente *LAeq,T* - dB**	**Fonte**
I	≤ 60	ProAcústica (2017)
II	61 a 65	ProAcústica (2017)
III	66 a 70	ProAcústica (2017)

Considerando os níveis de pressão sonora equivalentes ($LAeq$) incidentes nas fachadas da sala 1102 (Figura 6), a partir da compilação dos valores medidos no período noturno com os diurnos, verificou-se o enquadramento da Rua Alagoas como Classe III, sendo que as Ruas Cláudio Manoel e Sergipe foram enquadradas como Classe II (Tabela 6). Nessa tabela também apresenta-se a caracterização do ruído externo para os valores estimados, notando-se um aumento da classe de ruído nos três logradouros, quando da comparação dos resultados obtidos por meio de medições com os dados estimados: Rua Alagoas - Classe > III e Ruas Cláudio Manoel e Sergipe - Classe III.

Tabela 6 - Classificação das vias com base no nível de pressão sonora equivalente (LAeq) externo medido e estimado

Vias	**Ruído Externo Medido** dB(A)	**Classe de Ruído**	**Ruído Externo Estimado** dB(A)	**Classe de Ruído**
R. Alagoas	67	III	72	> III
R. Cláudio Manoel	65	II	67	III
R. Sergipe	64	II	67	III

Considerando também que, no caso do fluxo de veículos, tem-se 3dB de atenuação de ruído ao ar livre para cada duplicação da distância, conforme apresentado na Figura 2, verificou-se que, com base na distância e na altura da sala de aula localizada no 11º pavimento em relação às vias analisadas, o NPS incidente na fachada da Rua Alagoas reduz de 67dB para 61dB, passando de Classe III para Classe II; o NPS incidente na fachada da Rua Cláudio Manoel reduz de 65dB para 62dB, permanecendo na Classe II e o NPS incidente na fachada da Rua Sergipe reduz de 64dB para 55dB, passando de Classe III para Classe I.

Esse tipo de relação é de extrema importância para o desempenho sonoro de um ambiente interno, uma vez que é a partir do índice de redução sonora ponderado (*Rw*) das esquadrias que o isolamento do sistema de vedação externa é potencializado. Quanto mais precisa a determinação da classe de ruído ao entorno do andar analisado, mais assertiva é a especificação dos componentes, o que pode contribuir com a redução de custos, uma vez que, havendo atenuação do NPS em detrimento do aumento da distância do andar em relação à via, a instalação das esquadrias com maior *Rw,* e consequentemente com custos mais elevados, pode ser realizada apenas nos pavimentos inferiores.

4.2. Níveis de ruído interno

4.2.1. Níveis de ruído interno obtidos por medição de campo

A partir das medições internas realizadas em quatro pontos da sala 1102 (Figura 3), foi avaliado o nível de pressão sonora equivalente ($LAeq$) de cada ponto, conforme indicado na Figura 7, onde foram constatados valores bem superiores ao máximo admitido para uma sala de aula, já com 5dB de tolerância (40dB). Com base nos resultados apresentados, foi calculado o NPS médio da sala, sendo encontrado o valor de 55dB.

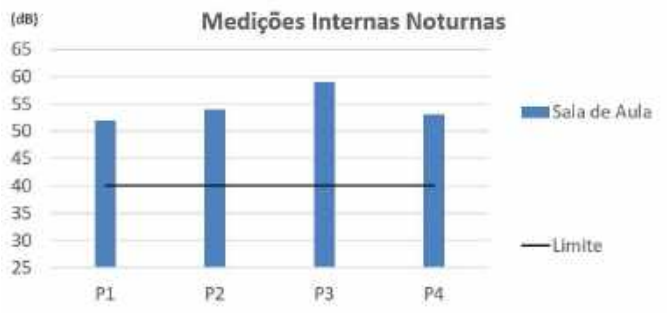


Figura 7 – Resultados obtidos nas medições internas noturnas

4.2.2. Índice de redução sonora ponderado (Rw) estimado para as fachadas

Além da indicação das classes de ruídos, a NBR 15.575 (ABNT, 2013) apresenta valores de referência para o índice de redução sonora ponderado, *Rw*, de fachadas, considerando ensaios realizados em laboratório para componentes, elementos e sistemas construtivos utilizados nos fechamentos verticais externos, sendo ≥ 25dB para Classe I, ≥ 30 dB para Classe II e ≥ 35dB para Classe III.

Com base no índice de redução sonora ponderado (*Rw*) dos componentes e sistemas apresentados na Tabela 3 e com base na Equação 4, foi possível calcular o *Rw* estimado para o sistema de vedação composto por fechamento convencional e janelas de vidro 4mm, sendo obtido um isolamento de 10dB com as janelas abertas e de 31dB com as janelas fechadas.

4.2.3. Relação do nível de ruído interno medido com o Rw estimado para as fachadas

De acordo com a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (2013), numa edificação, a presença de janelas ou portas sem tratamento acústico numa parede normalmente reduz substancialmente a isolação acústica, sendo considerados a parte mais sensível do sistema.

A partir do NPS interno medido e do *Rw* estimado para as fachadas da sala de aula, o alto nível de ruído interno obtido na sala de aula pode ser justificado pelas circunstâncias em que as medições foram realizadas, uma vez que, durante os levantamentos, considerou-se a pior condição que envolve o uso de uma dependência em termos de isolamento acústico: ambiente com janelas abertas. Com as janelas fechadas, estima-se uma redução de 31dB para o sistema, havendo potencial do NPS interno ser inferior ao nível de ruído máximo admitido (40dB).

Comparando o maior nível de pressão sonora externo medido na Rua Alagoas (67 dB) e na Rua Sergipe (64dB) com o nível de pressão sonora interno medido de (55dB), percebeu-se que o valor estimado para o isolamento da fachada (10dB), considerando medições com janela aberta, foi equiparado com a diferença padronizada de nível ponderada da vedação externa (*D2m,nT,w*) obtida na medição de campo, sendo 12dB.

5. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, foi possível avaliar o nível de ruído presente em uma sala de aula universitária em função do tráfego em um período típico de uso e ocupação e ainda comparar relações de níveis de ruído medidos e estimados. Por meio dos dados apresentados, conclui-se que os níveis de pressão sonora externos apresentaram valores acima do máximo permitido pela NBR 10.151 (ABNT, 2000), comprometendo a qualidade acústica do ambiente interno analisado, requerendo um isolamento maior do sistema de vedação externa.

Dentre os valores apresentados, verificou-se que os níveis de pressão sonora externos obtidos através de medições com sonômetros divergiram consideravelmente do método prescritivo adotado por London (1988), que visa a estimativa do ruído de tráfego, alterando a caracterização da classe de ruído de todas as vias. Em contrapartida, o algoritmo utilizado para estimar o Índice de Redução Sonora Ponderado (*Rw*) do sistema de vedação externo apresentou valores similares ao obtido por meio da diferença do nível de pressão sonora equivalente entre o meio externo e o ambiente interno analisado.

No que se refere à caraterização do entorno, a análise da atenuação de ruído ao ar livre para cada duplicação da distância contribuiu para a redução da classe de ruído de duas das três vias analisadas. Sendo assim, as recomendações inseridas ao longo desse estudo podem ser utilizadas como parâmetro de análise do desempenho acústico para os demais edifícios situados no entorno do local escolhido, em especial para os

numerosos edifícios de uso educacional existentes e que porventura não apresentem condições adequadas para o conforto acústico.

Os dados indicados também podem ser adotados como entradas para projetos de reformas ou de novas construções situadas na área analisada, sejam os mesmos voltados para ambientes corporativos ou residenciais, devendo ser dada uma atenção especial para a escolha e a instalação de esquadrias que apresentem melhor isolação acústica compatíveis com o nível de pressão sonora equivalente incidente em cada fachada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILERIA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR 15.151: Acústica - avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento.** Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILERIA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR 15.152: Acústica: níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações.** Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILERIA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR 15.575**: edificações habitacionais: desempenho - parte 4: requisitos para os Sistemas de Vedações Verticais Internas e Externas - SVVIE. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA A QUALIDADE ACÚSTICA. **PRO-ACÚSTICA: Manual Proacústica para Classe de Ruído das Edificações Habitacionais - Guia prático e orientativo para classificação acústica de habitações, fachadas e coberturas, face aos requisitos das partes 4 e 5 da norma ABNT NBR 15.575: 2013 - Edificações habitacionais - Desempenho**. São Paulo, 2017.

BELO HORIZONTE (Município). **Lei 9.505, de 23 de janeiro de 2008 - dispõe sobre o controle de ruídos, sons e vibrações no município de Belo Horizonte, e dá outras providências**. Câmara Municipal, Belo Horizonte, 23 de janeiro de 2008. Disponível em: <https://www.cmbh.mg.gov.br/atividade-legislativa/pesquisar-legislacao/lei/9505/2008>. Acesso em mai. 2019.

BISTAFA, Sylvio R. **Acústica aplicada ao controle de ruído.** 2ª Edição. São Paulo: Ed. Blucher, 2011.

BRASIL - CÓDIGO BRASILEIRO DE TRÂNSITO. **Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9503.htm>. Acesso em mai. 2019.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. CBIC: **Desempenho de Edificações Habitacionais: Guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013. Câmara Brasileira da Indústria da Construção.** Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013.

GOOGLE MAPS. Disponível em: <https://www.google.com/maps/place/R.+Cl%C3%A1udio+Manoel,+1149+-+Funcion%C3%A1rios,+Belo+Horizonte+-+MG,+30140-100/@-19.932973,-43.9374481,204m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0xa699dcf015c7d1:0x515121aae0ba5458!8m2!3d-19.9330977!4d-43.9360222>. Acesso em mai. 2019.

IEC. IEC 60.849: **Sound Systems For Emergency Purposes.** 2002.

LONDON. Department of Transport, Welsh Office HMSO. **Calculation of road traffic noise.** London: HMSO, 1988.

MINAS GERAIS (Estado). **Lei nº 10.100, de 17 de janeiro de 1990.** Dá nova redação ao artigo 2º da Lei nº 7.302, de 21 de julho de 1978, que dispõe sobre a proteção contra a poluição sonora no Estado de Minas Gerais. Palácio da Liberdade, Belo Horizonte, 17 de janeiro de 1990. Disponível em: http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=2229. Acesso em mai. 2019.

NAGEM, Míriam Pompeu. **Mapeamento e análise do ruído ambiental: diretrizes e metodologia.** Dissertação de Mestrado. Campinas/SP: UNICAMP, Faculdade de Engenharia Civil, 2004, 133p.

OLIVEIRA, H. L. S. **Caracterização e Análise de Parâmetros Acústicos do Átrio de Usos Múltiplos num Edifício Comercial Construído Segundo os Critérios do "Green Building Council do Brasil".** 2013. 219f. (Monografia de Especialização – Pós-Graduação Lato Sensu em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina. Departamento de Engenharia Mecânica, Florianópolis, 2013.

SOUZA, L.C.L.; ALMEIDA, M.G.; BRAGAN, A.L. **Bê-a-bá da acústica arquitetônica: ouvindo a Arquitetura.** São Carlos: Ed. UFSCar, 2006.

WHO - World Health Organization. **World Health Report − Shaping the future**. 2003. Disponível em: <http://www.who.int/whr/2003/en/whr03_en.pdf> Acesso em mai. 2019.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Laboratório de Conforto Ambiental da PUC Minas por disponibilizar os equipamentos utilizados e aos alunos do curso de Pós-Graduação em Arquitetura Bioclimática - Desempenho Ambiental do IEC - PUC Minas pelas medições experimentais realizadas: Aline Fabiana da Costa, Ana Augusta Figueiredo Silva, Ana Paula Campos Rodrigues, Andréa Juliana de Oliveira Sá, Daniele Cristiane Valim, Flaviane Almeida Guimarães, Gabriela Mara Batista de Sousa, Mariana F. B. Guimarães Diniz, Nathali Martins Padovani, Silvia Gramiscelli Reis, Tamira Daniela Camargo de Souza, Trycia Guerreiro Sampaio, Victor Alcântara Pedrozo, Victor Augusto Gomes Prosdocimi.