UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA – CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

AVALIAÇÃO DO ISOLAMENTO SONORO DOS QUARTOS DO PRÉDIO DE INTERNAÇÃO DO HOSPITAL DE CLÍNICAS DE PORTO ALEGRE

por

Diego José Bertotti

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico.

Porto Alegre, dezembro de 2019

Bertotti, Diego José
Avaliação do Isolamento Sonoro dos Quartos de Internação do Hospital de Clínicas de Porto Alegre / Diego José Bertotti. -- 2019.
30 f.
Orientador: Juan Pablo Raggio Quintas.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Curso de Engenharia Mecânica, Porto Alegre, BR-RS, 2019.

1. Ruído. 2. Isolamento Acústico. 3. Nível de Pressão Sonora. 4. Janelas e Portas acústicas. 5. Chillers. I. Quintas, Juan Pablo Raggio, orient. II. Título.

Diego José Bertotti

AVALIAÇÃO DO ISOLAMENTO SONORO NOS QUARTOS DO PRÉDIO DE INTERNAÇÃO DO HOSPITAL DE CLÍNICAS DE PORTO ALEGRE

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
ENGENHEIRO MECÂNICO
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Mário Roland Sobczyk Sobrinho
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: Mecânica dos Sólidos

Orientador: Prof. Juan Pablo Raggio Quintas

Comissão de Avaliação:

Prof. Edson Hikaro Aseka

Prof. Juan Pablo Raggio Quintas

Prof. Tiago Becker

Porto Alegre, dezembro de 2019

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Vicente e Carmem, por todo o carinho e suporte, financeiro e emocional, me proporcionado nesses anos de estudo.

Às minhas irmãs, Cleide (Tedi), Simone e Tatieli, por todo companheirismo e, junto de nossos pais, o apoio e incentivo até esta conquista.

À minha amada sobrinha, Giovanna (Gi), que me inspira de várias maneiras.

Ao meu afilhado, Marcelo Cabral, por me treinar a ter paciência e ser foco das minhas brincadeiras.

Aos meus queridos amigos Gabriel Mayer, Anna Maggi, em Portugal, e Ivi, na Nova Zelândia, que, estando perto ou longe, foram fundamentais para a conclusão deste trabalho. Sou eternamente grato a vocês por todo o suporte, paciência e amizade!

Quero agradecer, também, àqueles amigos que em muitos momentos me apoiaram, escutaram minhas lamentações, e que, na maioria das vezes, proporcionaram momentos de descontração. Valeu Agnes, Alessandro (Leko), Ane, Breno Basso, Breno Pacheco, Caio, Cristiano, Daniel Diehl, José Picoral (Betinho), Luis, Marcelo Silveira, Mariana, Paulo, Renata, Ricardo e Vilmar (Potter).

Ao Prof. Juan Pablo Raggio Quintas, por todo suporte, orientação e, especialmente, amizade.

Ao Eng. Bruno Saldanha, por me receber, aturar e auxiliar no trabalho, e ao Hospital de Clínicas de Porto Alegre, por permitir a realização do estudo.

À UFRGS, por me proporcionar um ensino gratuito e de excelência.

A todos os professores que tive a oportunidade de ter conhecido, em especial aos do Departamento da Mecânica, por todo conhecimento.

BERTOTTI, Diego José. **Avaliação do Isolamento sonoro nos quartos do prédio de internação do Hospital de Clínicas de Porto Alegre**. 2019. 29 páginas. Monografia de Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

RESUMO

Este trabalho avaliou o nível de pressão sonora produzido por um sistema de refrigeração a ar (*air-cooled chillers*) posicionado no pátio, nos quartos de internação do Hospital de Clínicas de Porto Alegre. Seguindo determinações das normas NBR 10151/2000 e NBR 10152/1987, foram adquiridos dados nos equipamentos externos e em dois aposentos e foram propostas soluções para reduzir o nível sonoro. Os dados quantitativos, obtidos para duas situações distintas – janelas abertas e fechadas –, revelaram que os ambientes não atendem ao estipulado em norma, além de verificar-se falha no estanqueamento das portas. As janelas e portas mostraram-se ineficazes no isolamento sonoro, visto que, mesmo com elas fechadas, o nível de pressão sonora extrapola o limite normativo em até 7,4 dB(A). Como medida de implementação para o controle do ruído, foi proposta a instalação de janelas sobrepostas – instaladas internamente sobre as preexistentes – e a troca das portas por outras, ambas com função isolante. A solução sugerida mostrou-se suficiente para adequar os quartos do bloco de internação aos requisitos para o conforto acústico conforme a norma NBR 10152/1987.

PALAVRAS-CHAVE: ruído, *chillers*, nível de pressão sonora, janelas e portas acústicas, isolamento acústico.

BERTOTTI, Diego José. Evaluation of **noise isolation at the hospitalization rooms of Hospital de Clínicas de Porto Alegre**. 2019. 29 pages. Mechanical Engineering End of Course Monography – Mechanical Engineering degree, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

ABSTRACT

The present work aims to evaluate the noise level produced by a refrigeration system – air-cooled chillers – located at the courtyard around the hospitalization rooms of Hospital de Clínicas de Porto Alegre. Thus, following the standards of the NBR 10151/2000 and NBR 10152/1987, data was collected from the external equipment and from two rooms, and furthermore solutions for the reduction of the noise level were proposed. The quantitative data, obtained from two different situations – open and closed windows –, demonstrated that these environments do not satisfy the standards set in the normative, also showing failures in the sound isolation of the doors. The windows and doors proved to be ineffective at soundproofing, considering that, even when they were closed, the sound pressure level surpassed the normative limit, reaching up to 7.4dB(A). As implementation measures for noise control, it was suggested that secondary windows and new doors could be installed, both with noise isolation properties. The offered solution proved to be enough for adjusting the hospitalization rooms to the requirements for achieving acoustic comfort according to the NBR 10152/1987 normative.

KEYWORDS: noise, chillers, sound pressure level, acoustic doors and windows, noise isolation.

NOMENCLATURA

dB	Decibel	
dB(A)	Nível de pressão sonora ponderada em A	
f_c	Frequência crítica	Hz
f_p	Frequência de passagem	Hz
f_r	Frequência de ressonância	Hz
HCPA	Hospital de Clínicas de Porto Alegre	
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística	
L_{Aeq}	Nível sonoro contínuo equivalente ponderado em A	dB(A)
L_{eq}	Nível de pressão sonora equivalente	dB
L_i	Nível de pressão sonora medido	dB(A)
L_p	Soma de níveis de pressão sonora	dB/dB(A)
n	Número total de leituras	
NBR	Norma brasileira	
NC	curvas-critério de ruído ("*noise criteria curves*")	dB(A)
NPS	Nível de pressão sonora	dB
OMS	Organização Mundial da Saúde	
$P(t)$	Pressão acústica instantânea	Pa
P_0	Pressão acústica de referência	Pa
R	Índice de atenuação sonora	dB
T	Tempo	Segundo

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Curva típica de perda de transmissão em função da frequência para fechamento simples 4

Figura 2 – Plataforma dos *chillers*: (a) vista lateral e (b) vista frontal 7

Figura 3 – Fonte sonora e prédio de internação 8

Figura 4 – Problemas de isolamento acústico nas janelas do quarto 1079 8

Figura 5 – Equipamento montado no tripé 9

Figura 6 – (a) Espectro sonoro por instante de tempo e (b) espectro total por banda de frequência dos *chillers* 9

Figura 7 – Espectro sonoro por instante de tempo 10

Figura 8 – Espectro total por frequência e valor global 11

Figura 9 – Comparativo entre o valor estimado do ruído da fonte e dos valores medidos para o quarto 12

Figura 10 – Comparativo entre: (a) ruído da fonte sem e com atenuação (janela 3) e (b) ruído da fonte sem e com atenuação (porta 1) para o quarto 476 14

Figura A.1 – Espectro gerado por (a) um compressor tipo parafuso e (b) ventilador tipo *AeroAcoustic Fan* 18

Figura A.2 – Valores de atenuação: (a) porta 1 – 46 dB metálica e (b) porta 2 – 56 dB metálica 18

Figura A.3 – Comparativo entre: (a) ruído da fonte sem e com atenuação (janela 2) e (b) ruído da fonte sem e com atenuação (porta 1) para o quarto 1079 19

Figura A.4 – Distribuição de ruído na fachada do prédio de internação pelo *software iNoise* 20

Figura A.5 – Mapa de ruído bidimensional (vista superior), gerado no *iNoise* para a área externa do hospital 20

Figura A.6 – *Chillers*: (a) modelo *AquaSnap* e (b) modelo *Trane* 20

Figura A.7 – Comparativo entre o valor estimado do ruído da fonte e dos valores medidos para o quarto 1079 20

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores obtidos com a atenuação para cada tipo de janela por frequência e NPS Global para o quarto 476 13

Tabela 2 – Valores obtidos para atenuação do ruído de fundo do quarto 476 para dois tipos de portas 14

Tabela A.1 – Índices de atenuação por frequência dos três tipos de janelas 18

Tabela A.2 – Valores obtidos com a atenuação para cada tipo de janela por frequência e NPS Global no quarto 1079 19

Tabela A.3 – Valores para atenuação do ruído de fundo no quarto 1079 pelo uso de portas tipo 1 e 2 19

Tabela A.4 – Comparação entre os valores medidos e simulados no *iNoise* 19

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 1
1.1 Motivação 1
1.2 Justificativa 1
1.3 Objetivos 1
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 2
2.1 Som e Ruído 2
2.2 Nível de Pressão Sonora (NPS) e Nível de Pressão Sonora Equivalente (L_{eq}) 2
2.3 Operações com Níveis Sonoros 2
2.4 Controle do Ruído 3
2.5 Isolamento Sonoro 3
2.6 Normas para a Avaliação do Ruído 5
2.6.1 NBR 10151/2000 5
2.6.2 NBR 10152/1987 5
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 5
3.1 *Chillers* 5
3.2 Janelas Acústicas 6
3.3 Portas Acústicas 6
4. MATERIAIS E MÉTODOS 7
4.1 Decibelímetros 7
4.2 Fonte Sonora 7
4.3 Quartos de Internação 7
4.4 Medições 8
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES 9
5.1 Fonte Sonora 9
5.2 Quartos 10
6. PROPOSTAS DE SOLUÇÃO 12
7. CONCLUSÃO 15
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 16
ANEXO A 18
APÊNDICE A 19

1. INTRODUÇÃO

1.1 Motivação

A poluição sonora é um dos grandes problemas da contemporaneidade, ocorrendo, principalmente, nas grandes metrópoles. As fontes de ruído são incontáveis, como o tráfego de automóveis, construções, funcionamento de bares e indústrias. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (SOUZA, 2019), 57,4% da população brasileira vive nos 324 municípios com mais de 100 mil habitantes.

Essa exposição ao ruído não causa apenas a redução auditiva. Segundo Gerges (2000), um longo tempo de exposição ao ruído pode acarretar sobrecarga do coração, causando secreções anormais de hormônios e tensões musculares. De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS) (WHO, 2018), a poluição sonora é, entre os fatores ambientais, na Europa, a segunda maior causa de doenças, ficando atrás apenas da poluição do ar.

Da mesma forma que em ambientes urbanos, onde há uma grande quantidade de fontes que geram altos índices de ruído, nos espaços hospitalares tal cenário também ocorre. Um exemplo relevante de fonte sonora são os equipamentos de refrigeração de água com arrefecimento a ar (*air-cooled chillers*). Apesar da sua significância fundamental no conforto térmico tanto para os funcionários quanto aos pacientes, esses equipamentos geram um nível de ruído relevante.

1.2 Justificativa

O Hospital de Clínicas de Porto Alegre (HCPA) possui um conjunto de sete equipamentos de refrigeração de água com arrefecimento a ar. Tais equipamentos, posicionados numa plataforma metálica no pátio, geram um nível de pressão sonora (NPS).

A exposição a ruídos é entendida pelo organismo como uma situação de estresse. Segundo Andrade et al (2016), o corpo responde a esse quadro com o aumento dos níveis séricos de adrenalina e cortisol, o que pode interferir na recuperação de um paciente hospitalizado. Além do risco ao paciente, o ruído pode afetar a qualidade do trabalho oferecido pelos profissionais do local, gerando, inclusive, estresse e erros devido à falta de concentração ou comunicação.

Diante disso, esse trabalho se justifica ao atuar numa instituição que tem papel importante no quesito da assistência pública à saúde, em especial, da população gaúcha. Com o total de 31.288 internações em 2018 (HCPA, 2019), faz-se pertinente verificar o grau de desconforto gerado por esses equipamentos na questão do conforto acústico. Apesar dos empecilhos, como a limitação na quantidade de quartos analisados, esse estudo visa gerar melhorias para o serviço prestado à sociedade.

1.3 Objetivos

O presente trabalho tem por objetivo a analisar o nível de pressão sonora nos quartos do bloco de internação do HCPA, devido ao ruído produzido pelos *chillers* lá presentes. Para tanto, em primeiro lugar, será determinado o NPS gerado nos quartos de internação que se encontram na proximidade da instalação, para, a partir disso, comparar esses dados com as normas referenciadas no estudo, a fim de verificar o conforto acústico e, caso necessário, sugerir possíveis soluções visando o bem-estar da sociedade que usufrui dos serviços de saúde. De forma geral, serão explanados os métodos para o levantamento dos dados quantitativos, sua análise e resultados.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Som e Ruído

O ruído e o barulho são interpretações subjetivas e desagradáveis do som. Costuma-se denominar barulho ou ruído todo som que é indesejável (SALIBA, 2016).

2.2 Nível de Pressão Sonora (NPS) e Nível de Pressão Sonora Equivalente (L_{eq})

Através de estudos, descobriu-se que a sensação humana varia com a intensidade do estímulo. Ernst Heinrich Weber (1795 – 1878) estudou a resposta humana através desses estímulos e descobriu que a relação entre o estímulo e a sensação é logarítmica. Bistafa (2006) descreve que, para provocar variações de sensação em progressão aritmética (incrementos constantes), o estímulo deve variar em progressão geométrica (multiplicado por um fator constante). Esse comportamento, conhecido como *Lei de Fechner-Weber*, pode ser descrito matematicamente pela Equação 1, onde S é a sensação, E o estímulo, K um constante que deve ser determinada experimentalmente e E_0 é o valor mínimo de estímulo.

$$S = k.\log\left(\frac{E}{E_0}\right) \tag{1}$$

A sensação sonora também segue a *Lei Fechner-Weber*, isto é, o acréscimo da sensação é proporcional ao logaritmo do estímulo. Com base nisso, o nível de pressão sonora (NPS) pode ser expresso pela Equação 2:

$$NPS = 10\log\left(\frac{P}{P_0}\right)^2 \text{ ou } NPS = 20\log\left(\frac{P}{P_0}\right) \tag{2}$$

Onde P_0 é a pressão sonora de referência (Pa), o limiar da audibilidade, e P é a raiz média quadrática das variações dos valores instantâneos da pressão sonora (Pa). O nível de pressão sonora é a medida preferencial para caracterizar a sensação subjetiva da intensidade dos sons (BISTAFA, 2006). Os danos causados pelo ruído não dependem apenas do seu nível, sendo necessário, também, considerar o tempo de exposição a ele. Uma forma de se obter um valor médio considerando a faixa de tempo do registro é a utilização da expressão que define o *nível equivalente* (L_{eq}), como na Equação 3,

$$L_{eq} = 10\log\left[\frac{1}{T}\int_0^T \frac{P^2(t)}{{P_0}^2}dt\right] \tag{3}$$

onde T é o tempo de integração (segundos), $P(t)$ é a pressão acústica instantânea (Pa), P_0 é a pressão acústica de referência (Pa) e L_{eq} é definido como o nível contínuo (estacionário) equivalente em dB (GERGES, 2000).

2.3 Operações com Níveis Sonoros

As operações (adição e subtração) com decibels não são lineares. A soma L_p, em dB, é apresentada na Equação 2, com L_{pi} como o valor da *i-ésima* banda estreita.

$$L_p = 10\log\left[\sum_{i=1}^{N} 10^{\left(L_{pi}/10\right)}\right] \quad (4)$$

A equação (4) é a base do processo de “somar” decibels, e permite obter o nível de pressão sonora total. A operação de “subtração” é utilizada quando for necessário estimar o NPS de uma fonte específica quando se tem o valor total medido.

Gerges expõe que o ouvido humano não é igualmente sensível em todas as frequências, mas mais sensível à faixa entre 2kHz e 5kHz, e menos para frequências extremamente baixas e altas. Por conta disso, para que aparelhos eletrônicos forneçam valores que melhor se correlacionam com o nível de audibilidade de uma pessoa, é necessária a utilização de filtros ponderados (valores tabelados que devem ser somados aos valores em dB). Dos vários tipos que existem, o filtro ponderação A é o mais utilizado em razão de sua maior proximidade à resposta do ouvido humano (OTT & QUINTAS, 2018). Caso seja utilizado o filtro ponderação A, o L_{eq} é expresso como L_{Aeq}. Isso nada mais é do que a medida do nível sonoro contínuo equivalente, com o uso do filtro em ponderação A e sua unidade em dB(A) (decibel na escala A).

2.4 Controle do Ruído

O controle do ruído é uma tecnologia multidisciplinar que visa obter um NPS aceitável em determinado ambiente, consistente com os aspectos econômicos, operacionais, legais, médicos, psicológicos e cultural (BISTAFA, 2006). O controle do ruído envolve a seguinte tríade: fonte sonora, trajetória de transmissão e o receptor. Para isso, o entendimento físico das fontes geradoras de ruído e da dinâmica de cada máquina, junto com as principais técnicas de controle, são as melhores ferramentas para a especificação, projeção e solução do problema de ruído das máquinas (GERGES, 2000).

Saliba (2016) afirma que uma ação no âmbito da diminuição do nível de pressão sonora requer a atuação em, no mínimo, um desses aspectos e, de preferência, na ordem em que foram apresentados. Ou seja, o mais indicado é agir na fonte do ruído, eliminando-o ou reduzindo-o. No entanto, Bistafa (2006) explana que muitas vezes essa ação é inviável, uma vez que o problema de excesso de nível de pressão sonora aparece depois que a fonte foi instalada. Dessa maneira, o controle do ruído geralmente acaba numa operação sobre a trajetória de transmissão, utilizando soluções como barreiras acústicas e enclausuramento. Nesses casos, o ruído existe, e o objetivo é evitar a transmissão para outro ambiente ou absorvê-lo de maneira a evitar reflexões. Já o controle do ruído no receptor fica restrito, basicamente, ao uso de equipamento de proteção individual (EPI) no ambiente de trabalho, ou na limitação do tempo de exposição.

2.5 Isolamento Sonoro

Ao longo das estruturas prediais, o ponto crítico são as aberturas com o exterior, principalmente as janelas, devido à sua pouca massa e à falta de uma vedação adequada (SIMÕES, 2011). Além disso, portas e janelas, majoritariamente, têm o seu caráter acústico baseado no princípio de um isolamento simples.

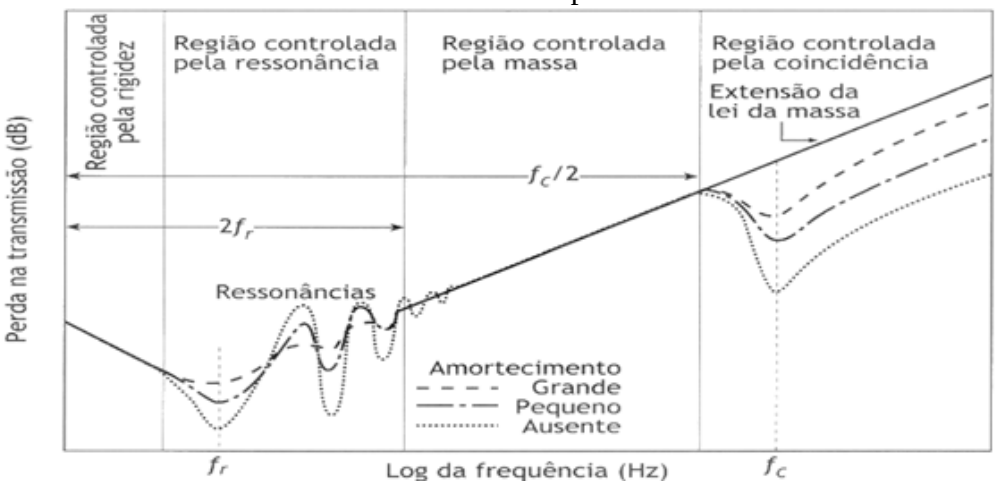
Quando uma onda sonora transmitida pelo ar incide sobre uma parede, parte do som é refletida e parte é transmitida a ela. A energia incidente faz com que a parede entre em vibração,

fazendo com que uma parte da energia seja dissipada como calor, e outra parte seja transmitida como som ao outro lado da parede, propagando-se pelo ar do outro ambiente (SIMÕES, 2011).

O isolamento sonoro depende, para um fechamento simples, da densidade do material (pois uma elevada massa tende a dissipar energia) e da frequência do som incidente. Então, para a seleção de materiais adequados, é preciso conhecer o nível de atenuação em todas as frequências audíveis. De maneira geral, o isolamento acústico é menos efetivo para os sons graves (baixas frequências), onde a massa é o atuante mais indicado (lei da massa), e mais efetivo para sons agudos (altas frequências) (SIMÕES, 2011).

Na curva típica de perda na transmissão em função da frequência do som incidente de painéis sólidos e homogêneos, apresentada na Figura 1, é possível reconhecer quatro regiões: nas baixas frequências, a região controlada pela rigidez e a região controlada pela ressonância do painel; nas médias frequências, a região controlada pela massa do painel; e nas altas frequências, a região controlada pelo fenômeno da coincidência.

Figura 1 – Curva típica de perda de transmissão em função da frequência para fechamento simples.



Fonte: Bistafa (2006).

As frequências de ressonância e a frequência crítica podem representar problemas no isolamento sonoro, pois nelas há o empobrecimento da perda de transmissão. Nas primeiras, o movimento do painel é amplificado, sendo o som incidente transmitido de maneira eficaz pela parede (BISTAFA, 2006). Conforme a Figura 1, a região controlada pela ressonância estende-se até aproximadamente duas vezes o valor da menor frequência de ressonância (f_r). Essas frequências dependem das dimensões, da rigidez e da massa do obstáculo.

Na região controlada pela coincidência os comprimentos de onda (λ) do som, que propagam no ar, se aproximam dos comprimentos de ondas de flexão (λ_B) do painel. A "coincidência" ocorre na frequência (f_c) na qual $\lambda_B = \lambda/sen\theta$, onde θ é o ângulo entre a onda sonora incidente e o painel, no qual há a "coincidência", ocorrendo amplificação do movimento de flexão do painel e diminuição da perda de transmissão do som.

Em muitos casos, a lei da massa pode ser usada satisfatoriamente, ou seja, o aumento da densidade superficial é acompanhado do aumento do isolamento sonoro. Porém, em outros, o uso de uma parede dupla é recomendado quando se deseja uma elevada perda de transmissão com um menor peso e custo (GERGES, 2000). De maneira geral, é verificado que essa perda de transmissão

aumenta com o espaçamento entre os painéis e com um material absorvente entre eles. A câmara entre os dois painéis, geralmente preenchida com ar, forma um conjunto que pode ser comparado a um sistema massa-mola-massa. Porém, é preciso ter cuidado para que esse material não forme uma ponte mecânica entre os painéis para não gerar uma estrutura rígida.

2.6 Normas para Avaliação do Ruído

2.6.1 NBR 10151/2000: Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento.

A NBR 10151/2000 é a norma que estabelece os procedimentos técnicos para as medições de níveis de pressão sonora. O surgimento da norma teve como objetivo padronizar a avaliação acústica em qualquer área onde exista qualquer atividade humana, visando à saúde, à qualidade de vida e ao sossego público. O nível de pressão sonora contínuo equivalente ponderada em A e integrado em um intervalo de tempo T ($L_{Aeq,T}$) deve ser medido diretamente ou calculado pela média logarítmica ponderada no tempo de resultados integrados em intervalos de tempo parciais, sendo o resultado expresso em decibel (dB(A)). A média logarítmica ponderada para calcular o nível de pressão sonora equivalente (L_{Aeq}), em dB(A), é exposta como a Equação 5,

$$\mathrm{L_{Aeq}} = 10\log\frac{1}{\mathrm{n}}\sum_{\mathrm{i=1}}^{\mathrm{n}} 10^{\frac{\mathrm{Li}}{10}} \qquad (5)$$

com L_i como o nível de pressão sonora medido (dB(A)) e n como o número total de leituras.

2.6.2 NBR 10152/1987: Níveis de ruído para conforto acústico.

A norma NBR 10152/1987 estabelece níveis de ruído para o conforto acústico em diferentes ambientes internos. Para a medição de ruído, o texto indica as disposições da NBR 10151/2000 e as demais normas ABNT correspondentes. A norma dispõe uma faixa de valores para diversos ambientes, em que o valor inferior da faixa indica o nível sonoro para o conforto, e o valor superior é estabelecido como nível sonoro aceitável para a finalidade. A norma indica que, para um hospital, o apartamento deve ser um ambiente com valores entre 30 e 45 dB(A).

Para classificar o ruído em um ambiente, é importante interpretá-lo em função da atividade exercida. No sentido de limitar os níveis de ruído em ambientes de ocupação humana, foram criadas, em 1957, as curvas-critério de ruído ("noise criteria curves", NC) (BISTAFA, 2006). A NBR 10152/1987 especifica, além dos limites máximos para nível de pressão sonora, as curvas NC para o conforto acústico. Em hospitais, a norma indica, para apartamentos, as curvas NC 30 e NC 40.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 *Chillers*

Sabe-se que, predominantemente, máquinas de grande porte, como as empregadas nos sistemas de refrigeração, causam um nível de ruído considerável e, devido à sua complexidade, é importante entender esses equipamentos. Baseado nisso, Lagemann (2003) publicou em seu trabalho alguns dados no quesito do nível de ruído. Em um ambiente de teste de sistemas de refrigeração de *chillers* sem tratamento acústico e com baixo ruído de fundo (inferior a 50 decibéis), após a partida do primeiro componente (primeiro compressor), mediu-se 73 dB(A). A

partir do momento em que o primeiro ventilador foi acionado, obteve-se 79 dB(A). Após isso, com dois compressores e um ventilador ligados, mediu-se 79,8 dB(A). Em seguida, com o funcionamento de dois compressores e dois ventiladores, o nível de pressão sonora elevou-se a 82,8 dB(A).

Em seu trabalho, Lagemann (2003) propôs a instalação de dutos na descarga dos ventiladores e células de atenuação, com lã de rocha, na tomada de ar. A configuração chegou a apresentar uma atenuação global de 9,5 dB. Em outro trabalho (2008), o mesmo autor apresentou um caso de estudo na cidade de Porto Alegre. A atenuação obtida em *chillers*, com a utilização de atenuadores semelhantes aos de seu estudo anterior, para um único equipamento, foi de 13 dB a 1 m de distância e, na vizinhança, uma diminuição de 50 para 41,5 dB(A) no nível de ruído à noite.

A adoção de medidas mitigadoras do nível de ruído, caso adequadas, mostra-se eficaz. Um estudo desenvolvido em São Paulo (BELDERRAIN et al., 2016), num ambiente com quatro *chillers* e outras fontes de ruído, apresentou uma queda entre 3,2 e 10,4 dB(A) no ruído com a instalação de barreiras e painéis acústicos.

Em muitos casos, a avaliação nos níveis de ruído por banda de frequência prova-se útil. Segundo Paulauskis (1999), um equipamento com pico anormal na frequência de 630 Hz, ao ter revestimento acústico inserido em seu compressor, obteve uma redução de 6 dB na banda da frequência estreita citada. Em um caso semelhante, Knight et al (2001) abordou o caso de um *chiller* que, instalado em um hospital, recebeu um invólucro de chapa metálica nos compressores e difusores na descarga do refrigerante. As medidas foram suficientes para diminuir 5 a 8 dB na terceira banda de 125 Hz.

3.2 Janelas Acústicas

Para janelas acústicas, Scherer (2005) cita que é importante conhecer a frequência crítica para selecionar o vidro que garante um funcionamento homogêneo em todas as frequências. Em seu trabalho consta que a melhoria acústica acontece com o aumento da espessura do vidro e, principalmente, com a composição de vitragens duplas ou triplas (duas ou três folhas, respectivamente, instaladas na esquadria) assimétricas (de espessuras ou tipos diferentes), devido à não coincidência da frequência crítica.

Seu estudo mostrou que é com vitragens duplas e espaçamentos superiores a 50 mm que começam a existir ganhos acentuados de isolamento. Nessas condições houve uma aproximação dos resultados de isolamento, independentemente dos materiais agrupados, e resultados que coincidem com a função de vitragem dupla: eliminar as frequências que causam a redução do isolamento (f_r e f_c) e proporcionar uma uniformidade no isolamento em todo o espectro de frequências. Os valores de atenuação ficaram entre 33 e 34 dB(A).

3.3 Portas Acústicas

No que tange às portas acústicas, existe uma carência de estudos e informações. O que se sabe é que o princípio de uma porta acústica está no peso (dependente da massa – Kg/m³) e na vedação (selagem no perímetro da porta). Da mesma maneira que os vidros nas janelas, as portas podem possuir folhas simples ou duplas, dependendo do nível de isolamento acústico desejável. É possível o uso de materiais adequados e itens que permitem o isolamento do ambiente sem deixar frestas, como o uso de borracha para vedação em torno do batente e o fechamento sob pressão para comprimir com maior eficiência.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Decibelímetros

Os decibelímetros empregados nas medições, do fabricante *Brüel and Kjaer*, modelos *Type 2250*, classe 1, respondem aos critérios exigidos na norma NBR 10151/2000. Eles foram previamente ajustados com um calibrador do mesmo fabricante. Os decibelímetros foram ajustados para captar os níveis de pressão sonora ponderados em escala (A), obtidos no período de um segundo entre cada valor medido. Além disso, o intervalo de espectro de frequência foi de 16 Hz a 16 KHz. O aparelho possibilita o acesso ao áudio do que foi coletado durante as medições. O posicionamento dos aparelhos foi realizado por meio da utilização de tripés para atender a metodologia apresentada na norma.

4.2 Fonte Sonora Externa

As fontes de ruído no estudo são sete *chillers* localizados no pátio interno do hospital. Eles estão posicionados numa plataforma metálica, três metros acima do solo, conforme a Figura 2. Do total, cinco unidades são *chillers AquaSnap* modelo 30 RBA 100226 *Scroll Chiller*, da *Springer Carrier*, e os outros dois são do tipo *Scroll* CGAD060, da *Trane*; ambos os equipamentos são mostrados na Figura (A.6). Todas as unidades possuem um total de quatro compressores do tipo *scroll*, e suas capacidades são de 29,6 TR para *AquaSnap* e 15 TR para os outros dois, da marca *Trane*.

Figura 2 – Plataforma dos *chillers*: (a) vista lateral e (b) vista frontal.

(a) (b)

Fonte: O autor (2019).

As informações no catálogo técnico da *Springer* (CARRIER, 2015), na questão de nível de ruído, são carentes de valores. O texto se limita a versar sobre o tipo de compressor, serpentinas do condensador com formato que permite uma vazão mais silenciosa do ar, ventiladores com baixos níveis de ruído e instalação firme do ventilador, evitando o ruído da partida. O catálogo da *Trane* (TRANE, 2014) fornece a pressão sonora de 68 dB(A), medidos a 10 m.

4.3 Quartos de Internação

O foco do trabalho é o prédio principal, chamado de Bloco A ou bloco de hospitalização. A Figura 3(a) apresenta uma vista de perfil indicando as distâncias entre a fonte e os quartos, com a denominação “Q1” e “Q2” para os quartos 476 e 1079, respectivamente, ambientes onde ocorreram as medições. Já a Figura 3(b) é uma vista aérea obtida através do *Google Earth*, indicando a fonte e o prédio de internação.

Figura 3 – Fonte sonora e prédio de internação:
(a) vista de perfil com quartos em destaque (Q1 e Q2) e (b) vista aérea.

(a) (b)

Fonte: (a) O autor (2019); (b) adaptado do *Google Earth* (2019).

Nos quartos, as janelas demonstraram imperfeições construtivas para questão de isolamento. A falta de vedação adequada afeta de forma considerável o isolamento acústico entre ambientes. Além de fracassar no isolamento sonoro, a vedação inapropriada deixa os pacientes sujeitos a fatores externos, como intempéries climáticas. A Figura 4 apresenta imagens das esquadrias do quarto 1079, onde é possível verificar a falta de estancamento. As portas também mostraram não possuir um isolamento adequado para os ruídos advindos do corredor. Essa situação termina por comprometer consideravelmente o conforto acústico.

Figura 4 – Problemas de isolamento acústico nas janelas do quarto 1079.

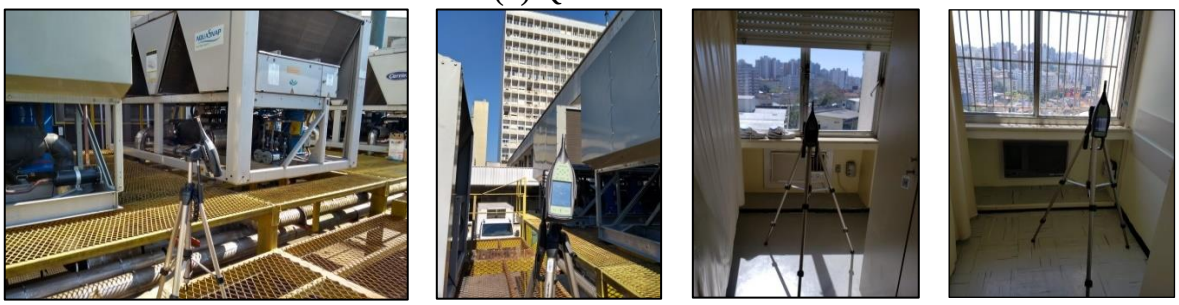
Fonte: O autor (2019).

4.4 Medições

As medições ocorreram em três pontos diferentes do hospital. Um dos decibelímetros foi posicionado no ambiente dos *chillers*; o outro, nos aposentos do prédio de internação. Nos quartos, a coleta de dados foi realizada para duas situações distintas, com e sem janelas abertas, a fim de verificar o grau de estanqueidade dos quartos. Em cada quarto, as medições, para cada situação, duraram 15 minutos cada, mediante o consentimento dos ocupantes. A Figura 5 expõe os cenários citados, com os decibelímetros posicionados. Os quartos analisados estão localizados no 4º (quarto 476) e no 10º (quarto 1079) andares.

A escolha dos ambientes internos, para medição, baseou-se na disponibilidade do hospital, com o critério de que fossem localizados na fachada mais próxima das fontes. Além disso, também houve o cuidado de selecionar andares diferentes para aferir o ruído, a fim de analisar como ele se comporta em relação a diferentes posições.

Figura 5 – Equipamento montado no tripé: (a) e (b) nos *chillers*, (c) Quarto 476 e (d) Quarto 1079.



(a) (b) (c) (d)

Fonte: O autor (2019).

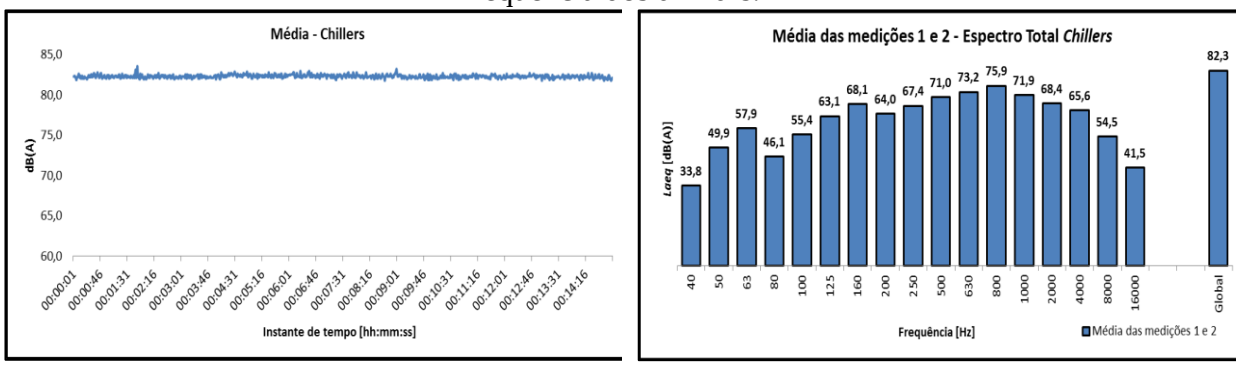
As medições ocorreram no dia 30 de setembro de 2019, durante o período da manhã. As condições ambientais estavam condizentes com o determinado na NBR 10151/2000, que indica não ter influência de fenômenos da natureza como chuva e trovões. Na plataforma, o aparelho ficou posicionado num tripé, cerca de 1,5 metros acima da base, numa distância superior a 2 metros de paredes e objetos que poderiam refletir as ondas sonoras nos equipamentos. Já nos quartos, devido ao espaço limitado, isso não foi possível, como exposto nas imagens acima. No ambiente do sistema de refrigeração foram realizadas duas medições, e a análise dos dados foi feita com o valor obtido com a média logarítmica (Equação 5) desses dados.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Fonte Sonora

Do total de sete unidades, duas estavam em manutenção. As outras cinco foram acionadas para ter o valor próximo da condição crítica, que ocorre no verão, quando é exigido a máxima capacidade do sistema de refrigeração. Os resultados encontrados estão apresentados na Figura 6, onde Figura 6(a) é a representação gráfica do L_{Aeq} médio por instante de tempo e Figura 6(b) é o espectro equivalente por frequência. O ruído produzido pelo conjunto pode ser considerado contínuo.

Figura 6 – (a) Espectro sonoro por instante de tempo e (b) espectro total por banda de frequência dos *chillers*.



(a) (b)

Fonte: O autor (2019).

Na Figura 6(b) verifica-se que o valor global dos equipamentos ligados foi 82,3 dB(A). Na análise do ruído por frequência, percebe-se uma elevação para as frequências de 63, 160 e 800 Hz, com uma predominância nas médias e altas frequências.

No trabalho de Lagemann (2003) nota-se que, em uma abordagem acústica, os ventiladores são um dos componentes críticos que geram ruído. Na fonte poluidora, os *chillers* em maior número, que são do tipo *AquaSnap*, possuem ventiladores *AeroAcoustic*, cada um com nove pás numa velocidade de 1140 rpm. Segundo Gerges (2000), além da questão da turbulência e da vibração, o ruído causado pela passagem das pás próximo a elementos fixos deve receber atenção. Esse ruído é concentrado na frequência de passagem (f_p), em Hz, determinada com a Equação 6, e seus harmônicos ($2f_p$, $3f_p$,...).

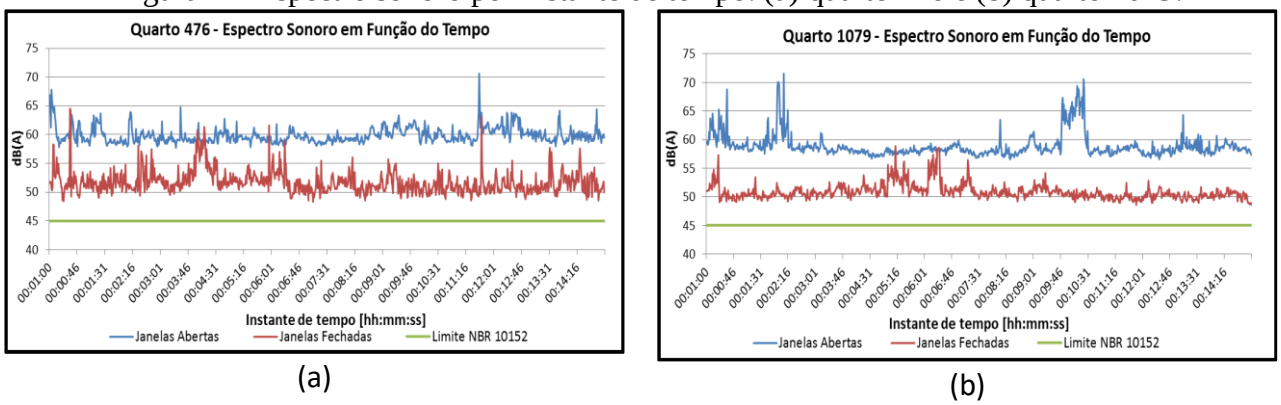
$$f_p = \frac{(\text{número de pás})(\text{velocidade de rotação [rpm]})}{60} \tag{6}$$

Para o modelo *AquaSnap*, a frequência de passagem é 171 Hz, e seu segundo harmônico possui uma frequência igual a 342 Hz. No Anexo A, a figura A.1(b) apresenta graficamente a potência sonora do ventilador (adaptado do catálogo técnico), mostrando picos de aproximadamente 85 dB(A) para 160 e 315 Hz, o que justifica o pico na frequência de 160 Hz na Figura 6(b). Já a figura A.1(a) aponta a potência sonora para um compressor tipo parafuso (cujo modelo não é o mesmo dos *chillers* do hospital), indicando que a contribuição sonora desses equipamentos prevalece para médias e altas frequências, principalmente entre 2000 e 4000 Hz (frequências em que o ouvido humano é mais sensível) (Lagemann, 2003), condizente com o espectro de frequência obtido (Figura 6(b)). Além disso, a frequência nominal dos compressores é 60 Hz, o que confere, novamente, com o espectro de frequência retratando um pico na banda de 63 Hz.

5.2 Quartos

Os resultados obtidos nos quartos sofreram interferência do ruído próprio da rotina hospitalar, pois os componentes de isolamento se mostraram ineficazes. Os valores do espectro sonoro em função do tempo, para as duas situações analisadas, estão apresentados na Figura 7, em que (a) são os resultados referentes ao quarto 476, e (b), ao quarto 1079. Em ambos os aposentos, a janela fechada reduz o nível de ruído, porém em nenhum momento o valor cai para o limite determinado pela NBR 10152/1987, representada pela linha verde nas imagens.

Figura 7 – Espectro sonoro por instante de tempo: (a) quarto 476 e (b) quarto 1079.



(a) (b)

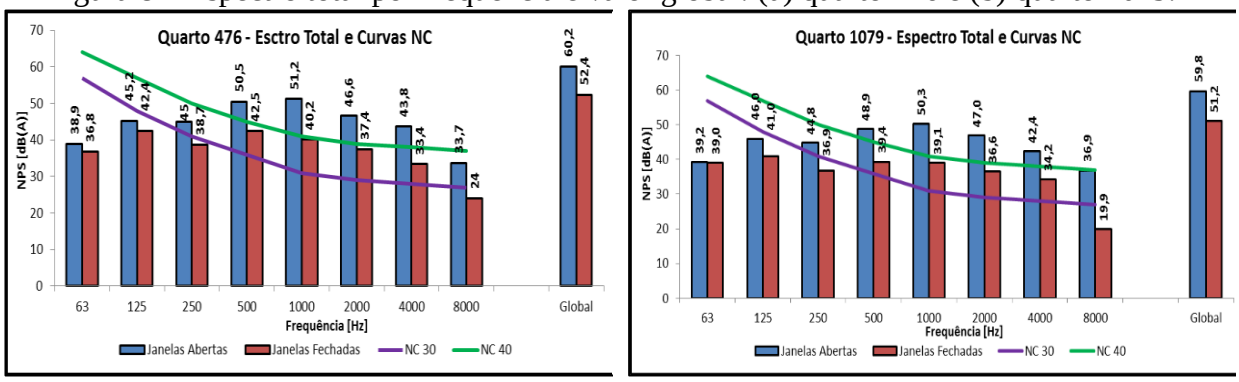
Fonte: O autor (2019).

Os picos presentes nas imagens são resultado do ruído de fundo captado pelo decibelímetro. No áudio, é possível reconhecer, principalmente, conversas, além de sons de celular, batidas de portas, manuseio de materiais pela equipe em serviço, entre outros. A pequena estanqueidade do som pela porta fica clara ao tomar-se consciência de que os ocupantes do quarto 1079 retiraram-se durante a coleta de dados e, mesmo com o ambiente vazio, existe um ruído acima do permissivo. Com isso, fica claro que o isolamento precário das portas é outro agravante para o desconforto acústico.

Na Figura 8 estão contidos os espectros por frequência, bem como o valor global para ambos os quartos. O quarto 476 (Figura 8(a)) apresentou valores levemente superiores ao quarto 1079, devido à proximidade à fonte e também ao térreo; cabe citar que, entre a fonte e o prédio, existe um grande fluxo de pessoas e a passagem de alguns veículos por uma abertura na lateral do prédio de apoio, somando-se ao nível de ruído emitido pela fonte poluidora. Os valores globais obtidos para as janelas abertas e fechadas foram 60,2 e 52,4 dB(A), respectivamente. Apesar de a janela atenuar o nível de ruído que adentra o aposento, o valor de 7,8 dB(A) é insuficiente para se adequar à norma NBR 10152/1987. Com as janelas fechadas, o valor ainda apresenta 7,4 dB(A) acima do limite. Já na Figura 8(b), pertinente ao aposento 1079, o valor global para janelas fechadas (51,2 dB(A)) apresentou uma redução em relação à condição de janelas abertas (59,8 dB(A)) num total de 8,6 dB(A). Esse apartamento necessitaria de uma atenuação de 6,2 dB(A), com as janelas fechadas, para passar a corresponder aos aspectos normativos.

Na Figura 8 consta que, em ambos os recintos, com janela fechada, os valores estão adequados no quesito que responde às curvas NC; porém, o nível de ruído interno, como já verificado, não é aceitável.

Figura 8 – Espectro total por frequência e valor global: (a) quarto 476 e (b) quarto 1079.



(a) (b)

Fonte: O autor (2019).

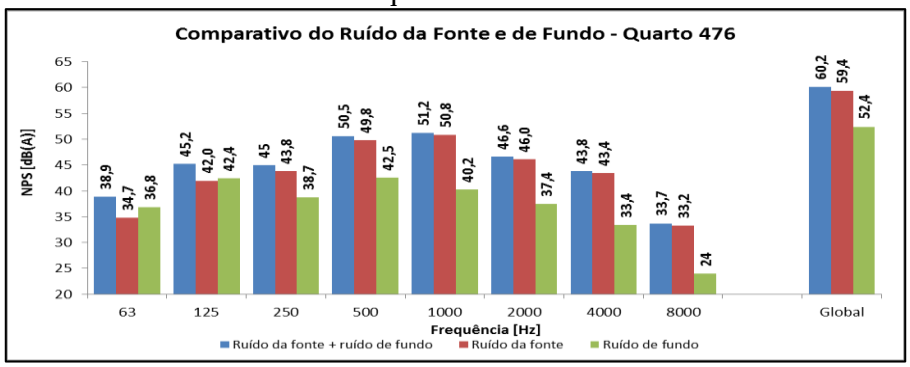
Devido à impossibilidade de medir o quanto de ruído da fonte chega à fachada, para estimá-lo, fazendo uso da diferença logarítmica, Equação 7, foram considerados os valores medidos com janela aberta como sendo o valor do "ruído da fonte + ruído de fundo", e o aferido com as janelas fechadas como ruído de fundo. Os valores de NPS medidos e o calculado, para o quarto 476, estão ilustrados na Figura 9. Para o quarto 1079, as mesmas informações são encontradas na Figura A.7.

$$Ruído\ da\ fonte = 10log\left(10^{\frac{(Ruído\ da\ fonte\ +\ ruído\ de\ fundo)}{10}} - 10^{\frac{(\ ruído\ de\ fundo)}{10}}\right) \qquad (7)$$

Essa medida faz-se necessária para caracterizar o quanto de ruído da fonte poluidora chega aos quartos através das janelas. Com a consideração assumida, é possível verificar que o ruído que

adentra aos aposentos pelas esquadrias é próximo ao valor das janelas abertas (ruído da fonte e de fundo) evidenciando sua predominante contribuição no NPS com as janelas abertas.

Figura 9 – Comparativo entre o valor estimado do ruído da fonte e dos valores medidos para o quarto 476.



Fonte: O autor (2019).

Como forma de avaliar a consideração admitida, foi utilizado o *software* gratuito *iNoise* (DGMR Software, 2019). Para simulação do ruído que atinge a fachada, foi modelado um ambiente que reproduzisse o espaço externo do hospital. Com a fonte modelada de forma pontual, os valores obtidos do ruído da fonte que chega à fachada mostraram-se próximos aos apresentados na Figura 9, dando confiabilidade para a consideração assumida. No apêndice (Tabela A.4) consta um comparativo entre os valores medidos e simulados e o nível de ruído na fachada obtido com o programa (Figura A.4).

6. PROPOSTAS DE SOLUÇÃO

A proposta de solução surgiu do fato dos quartos receberem o ruído gerado no sistema de refrigeração, acima do permitido, assim como do ambiente interno adjacente. Dessa maneira, as recomendações são a instalação de janelas e portas acústicas. A primeira medida servirá como obstáculo para o som que vem do ambiente externo, isolando-o adequadamente. Para isso, janelas do tipo de sobreposição são as mais indicadas, pois permitem ser instaladas na janela já existente, do lado interno, de maneira rápida e sem contratempos com obras. Dessa forma, aproveita-se o isolamento acústico da janela existente, por menor que seja; evita-se a modificação da fachada, nem sempre aprovada pela Prefeitura; e é possível trabalhar com segurança, pelo lado interno do edifício (SIMÕES, 2011). A porta nos cômodos de internação operará isolando o ambiente interno de ruídos do corredor. Espera-se que essas medidas adequem os ambientes do bloco de internação na questão do conforto acústico.

Para a verificação da eficácia do uso das janelas, foram feitos cálculos para três tipos diferentes, com dados de atenuação, em dB, apresentados nos Anexo A (Tabela A.1). Devido à dificuldade de conhecer o valor de atenuação com a sobreposição, para os cálculos, a janela externa foi desconsiderada. Isso acaba por ser um método conservativo, pois com as duas janelas em atividade, a atenuação será maior do que apenas uma delas.

Na Tabela 1 estão presentes os valores de atenuação para o quarto 476; os valores obtidos para o aposento 1079 encontram-se nos apêndices (Tabela A.2). A escolha do quarto 476 deve-se ao NPS ser, levemente, o mais elevado em comparação ao quarto 1079. Verifica-se que as frequências de ressonância e crítica nas quais há uma queda no isolamento sonoro são: para Janela 1 (vidro duplo), em torno de 160 Hz as frequências de ressonância, e 3150 Hz, a crítica; a Janela

2 (vidro laminado) apresenta essas frequências na região de 125 e 1600 Hz, respectivamente; e a janela 3 (composição de vidro laminado e monolítico) em 200 e 2000 Hz. Apesar disso, os valores apresentados pelos componentes nessas frequências não prejudicam a sua funcionalidade, visto que a redução na atenuação se mostra baixa, como retratado a seguir. A unidade do ruído da fonte, apresentada na Tabela 1, foi alterada para dB mediante o uso do filtro de compensação A.

Tabela 1 – Valores obtidos com a atenuação para cada tipo de janela por frequência e NPS Global para o quarto 476.

Linha	Frequência [Hz]	Característica	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1K	1,25K	1,6K	2K	2,5K	3,15K	4K	5K	NPS Global
1	Ruído da fonte sem atenuação [dB(A)]	Valor medido	35,2	42,0	45,6	41,6	43,9	45,0	46,6	49,7	48,7	51,1	50,9	49,2	47,1	46,1	45,2	43,6	43,4	40,0	59,4
2	Ruído da fonte sem atenuação [dB]	Valor calculado com filtro A	54,3	58,1	59,0	52,5	52,5	51,6	51,4	52,9	50,6	51,9	50,9	48,6	46,1	44,9	43,9	42,4	42,4	39,5	65
3	Atenuação da Janela 1 [dB]	Tabela A.1	31,1	27,1	23,1	25,3	26,3	27,0	29,2	31,3	34,1	36,4	37,0	36,1	36,0	35,3	32,9	32,8	35,5	41,3	32
4	Ruído da fonte com atenuação da Janela 1 [dB]	Linha 2 - linha 3	23,2	31,0	35,9	27,2	26,2	24,6	22,2	21,6	16,5	15,5	13,9	12,5	10,1	9,6	11,0	9,6	6,9	-1,8	38,5 dB / 28,2 dB(A)
5	Atenuação da Janela 2 [dB]	Tabela A.1	29,2	26,9	27,4	29,3	28,1	29,6	30,2	31,7	32,4	33,5	33,3	32,2	31,1	31,2	33,6	35,9	38,3	42,1	33
6	Ruído da fonte com atenuação da Janela 2 [dB]	Linha 2 - linha 5	25,1	31,2	31,6	23,2	24,4	22,0	21,2	21,2	18,2	18,4	17,6	16,4	15,0	13,7	10,3	6,5	4,1	-2,6	36,3 dB / 27,8 dB(A)
7	Atenuação da Janela 3 [dB]	Tabela A.1	25,0	27,0	26,0	23,0	30,0	30,0	31,0	33,0	33,0	35,0	30,0	35,0	31,0	29,0	32,0	35,0	37,0	40,0	33
8	Ruído da fonte com atenuação da Janela 3 [dB]	Linha 2 -linha 7	29,3	31,1	33,0	29,5	22,5	21,6	20,4	19,9	17,6	16,9	20,9	13,6	15,1	15,9	11,9	7,4	5,4	-0,5	37,7 dB / 28,4 dB(A)

Fonte: O autor (2019).

Com os valores encontrados na Tabela 1, fica evidente que, se instaladas de forma adequada, qualquer uma das janelas atenderia de forma eficiente à exigência imposta. As atenuações, que variam entre 23, nas frequências mais baixas, e 41,3 dB(A), nas altas frequências, são suficientes para selar o ambiente interno da contribuição do ruído da fonte, que possui contribuição, principalmente, em médias e altas frequências. O valor do ruído no quarto 476 cairia de 54,9 para 28,4 dB(A) com a janela que apresenta a pior atenuação.

A partir da análise dos dados obtidos, verificou-se a necessidade de haver a implementação de uma medida para isolar o ruído do corredor. Como não foram realizadas medições nos corredores, adotou-se o ruído de fundo de cada quarto como o nível de ruído para avaliar a estanqueidade das portas. Nos corredores, a fonte de ruído principal é a voz humana, cuja emissão é nas frequências de 500 e 4000 Hz, usualmente utilizado o intervalo de 500 a 1000 Hz (GROTTA, 2009).

Em relação às portas acústicas, não foram obtidas informações de atenuação de nenhum fornecedor local, porém para uma primeira avaliação utilizou-se valores de dois tipos de portas, retirados do *site* de um fornecedor do estado do Rio de Janeiro (RJ) (SOMAX, 2019). Os dados contidos na Figura A.2(a), porta 1, e Figura A.2(b), porta 2, indicam uma boa atenuação nas frequências da fala humana. Através da instalação de portas acústicas, no quarto 476, conforme a Tabela 2, os valores para o ruído de fundo são satisfatoriamente reduzidos. Para os cálculos, novamente foi utilizado o filtro de compensação A para transformação de dB(A) para dB. No Apêndice estão contidos os índices de atenuação obtidos com as portas para o ruído de fundo do quarto 1079 (Tabela A.3).

Tabela 2 – Valores obtidos para atenuação do ruído de fundo do quarto 476 para dois tipos de portas.

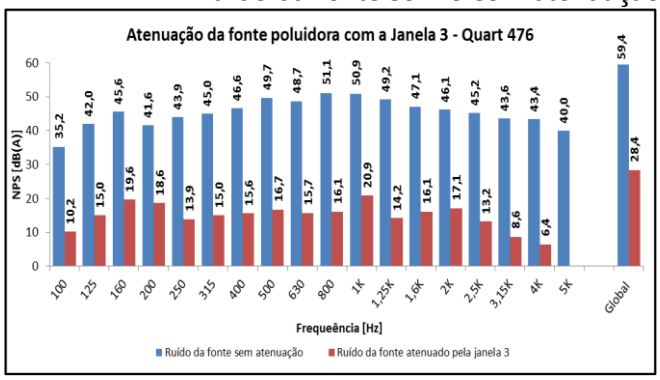
Linha	Frequência [Hz]	Característica	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	NPS GLOBAL
1	Ruído de Fundo [dB(A)]	Valor Medido	36,8	42,4	38,7	42,5	40,2	37,4	33,4	24	**52,4**
2	Ruído de Fundo [dB]	Valor calculado com filtro A	63	58,5	47,3	45,7	40,2	36,2	32,4	25,1	**65,5**
3	Atenuação Porta 1 [dB]	Figura A.3 - (a)	21	27	30	40	40	43	41	41	**46**
4	Ruído com Porta 1 [dB]	Linha 2 -linha 3	42	31,5	17,3	5,7	0,2	-6,8	-8,6	-15,9	**42,4dB / 19,2 dB(A)**
5	Atenuação Porta 2 [dB]	Figura A.3 - (b)	25	33	37	44	49	53	55	55	**56**
6	Ruído com Porta 2 [dB]	Linha 2 -linha 5	38	25,5	10,3	1,7	-8,8	-16,8	-22,6	-29,9	**38,3 dB / 14,2 dB(A)**

Fonte: O autor (2019).

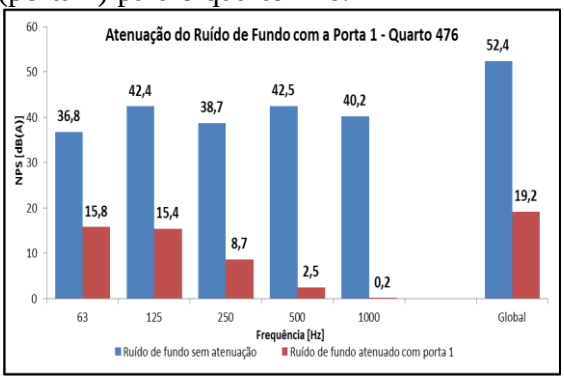
Com os valores de atenuação das portas, observados na Tabela 2, o NPS para o quarto 476, em relação ao ruído de fundo, caem para 19,2 e 14,2 dB(A), com as portas 1 e 2, respectivamente. O valor global, obtido com a soma logarítmica, é satisfeito para qualquer combinação dos componentes citados. A redução de ruído mostrou-se tamanha a ponto de o conjunto com o menor desempenho, com as janelas 3 e porta 1 para o quarto 476, indicar o valor global de 28,9 dB(A). A diferença é maior do que 15 dB(A) em relação ao limite da norma NBR 10152/1987, estipulado em 45 dB(A). Os resultados do recinto 1079 foram semelhantes aos encontrados para o aposento 476, satisfazendo os valores disponíveis na norma.

A melhoria obtida, tanto com as janelas quanto com as portas, fica mais evidente ao observar os resultados plotados. Na Figura 10, que retrata os valores do quarto 476, há um evidente contraste entre os valores sem atenuação e com os componentes de isolamento acústico; assim, percebe-se a aplicabilidade dos itens avaliados serem o suficiente para o tratamento no prédio hospitalar. A Figura 10(a) aponta o impacto da janela 3, e a Figura 10(b) explicita os valores com a porta 1. Vale ressaltar que esses itens foram os que indicaram os piores resultados para o quarto 476. Um comparativo, com a pior combinação, feita para o aposento 1079, está presente no apêndice (Figura A.3), reprisando resultados otimistas.

Figura 10 – Comparativo entre: (a) ruído da fonte sem e com atenuação (janela 3) e (b) ruído da fonte sem e com atenuação (porta 1) para o quarto 476.



(a)



(b)

Fonte: O autor (2019).

7. CONCLUSÃO

O presente estudo abordou o impacto do ruído produzido por um sistema de refrigeração próximo ao local onde funciona o setor de internação do Hospital de Clínicas de Porto Alegre. Somam-se a isso falhas arquitetônicas nos quartos, principalmente nas janelas e portas, o que ocasiona um entrave de vedação. O NPS de 52,4 dB(A), para o quarto 476, e 51,2 dB(A), para o quarto 1079, ambos coletados para janelas fechadas, estão acima do limite estipulado.

Para tanto, a solução eleita foi a instalação de janelas e portas acústicas, cuja eficiência pode ser comprovada por meio de experimentos normatizados. Os resultados demonstrados na seção da proposta de solução apontam para o fato de que a implantação desses componentes apresentará uma melhoria no conforto acústico e ajustará o ambiente de acordo com a NBR 10152/1987. Para a instalação, foi realizada uma pesquisa de mercado e verificou-se que os valores unitários, em média, para cada item, ficam entre 4 e 5 mil reais. Essas melhorias, caso aplicadas no prédio, resultarão em impactos positivos, pois são uma solução sustentável com atuação termoacústica.

Por fim, são levantadas outras opções com o intuito de amenizar o problema nos ambientes fora do edifício, vide os mapas de ruído gerados no *iNoise* (Figura A.5). Além de barreiras, outras medidas adicionais, aconselháveis, são as seguintes: o enclausuramento completo da plataforma, ou de cada unidade, e, ainda, a verificação de uma forma de implementação das ações apresentadas por Lagemann (2003) com a utilização de células de atenuação e um duto na saída dos ventiladores. Além disso, foi verificado que o fabricante dos *chillers* tipo *AquaSnap* oferece um serviço de instalação de jaquetas acústicas nos compressores (uma das principais fontes de ruído). A verificação de alternativas não é restrita à fonte poluidora; os ambientes internos do bloco de internação podem receber estudos, tais como vedação para as portas e a exequibilidade de adição de materiais absortivos no corredor com a intenção de diminuir o ruído de fundo.

Outro ponto importante é salientar o uso de EPI pelos funcionários durante a manutenção, pois os equipamentos atendem uma grande área do hospital e nunca são desligados em sua totalidade. Além disso, um programa adequado de manutenção, com checagens periódicas e serviços de rotina, manterá os níveis de ruído nos valores mínimos possíveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACUSTIKA SUL. **Relatório Técnico – Janela 3**. Destinatário: Diego José Bertotti. [*S.l.*], 22 nov. 2019. 1 mensagem eletrônica.

Andrade, K. P. *et al*. Medida do nível de ruído hospitalar e seus efeitos em funcionários a partir do relato de queixas. **Revista Cefac**, Belo Horizonte, Vol. 18(6), pp 1379-1388, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10151:** Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento, Rio de Janeiro: ABNT, 2000. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10152:** Níveis de ruído para conforto acústico, Rio de Janeiro: ABNT, 1987. 4 p.

BELDERRAIN, M. L. *et al*. Acoustical treatment solution for a large water cooling and chiller system at the rooftop of a commercial building. **Environmental Acoustic & Community Noise**: Paper 47, Buenos Aires, 2016.

BISTAFA, S. R. **Acústica Aplicada ao Controle do Ruído**. 1. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2006.

CARRIER. **Catálogo Técnico.** 2015. Disponível em: http://cdn.carrierdobrasil.com.br/downloads_docs/d6c8c-CT-30RB-100-300-M-02-15--view-.pdf. Acesso em: 18 out. 2019.

DGMR SOFTWARE. **iNoise:** 2019.1. 2019. Disponível em: https://dgmrsoftware.com/products/inoise/. Acesso em: 28 out. 2019.

GERGES, S. N. Y. **Ruído:** fundamentos e controle. 2. ed. Florianópolis: NR Editora, 2000.

GROTTA, D. L. **Materiais e técnicas contemporâneas para controle de ruído aéreo em edifícios de escritórios : subsídios para especificações**. Dissertação (Mestre em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

HCPA. **Institucional**. Disponível em: https://www.hcpa.edu.br/institucional. Acesso em: 30 set. 2019.

JUANG, D. F. *et al*. Noise pollution and its effects on medical workers and patients in hospitals. **International Journal of Environmental Science & Technology**, 2010, Vol 7(4), pp 705-716.

KNIGHT, S. B. Case Study: Air Cooled Chillers with Rotary Helical (Screw) Compressors at Hospital with Impact on Patient Rooms, Residential Neighborhoods, and Open Park. **The 2001 International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering.** The Hague, The Netherlands, 2001.

KRAFHT. **Relatório de Ensaios – Janelas 1 e 2**. Destinatário: Diego José Bertotti. [*S.l.*], 11 nov. 2019. 1 mensagem electronica.

LAGEMANN, C. H. **Análises Acústicas Para Instalação de Sistemas de Ar Condicionado**. Dissertação (Mestre em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

LAGEMANN, C. H. **Atenuação de ruído em *chillers***. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

MARICONTE, R. *et al.* Noise in Healthcare Facilities. **ICSV22**, Florence (Italy), July 2015.

OTT, G. S; QUINTAS, J. P. R. Determinação dos níveis de pressão sonora em estações da Trensurb, durante a chegada e partida dos trens. **Revista Liberato**, Vol. 20 (33), p71, 2019.

PAULAUSKIS, J. A.; **Addressing Noise Problems In Screw Chillers**, ASHRAE Journal Vol. 41(6), pp. 23-25, 1999.

SALIBA, T. M. **Manual Prático de Avaliação e Controle do Ruído:** PPRA. 9. ed. São Paulo: LTr, 2016.

SCHERER, M. J. **Estudo do isolamento sonoro de vidros de diferentes tipos e espessuras, em vitragem simples e dupla**. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

SIMÕES, F.M. **Acústica Arquitetônica**. Procel Edifica – Eficiência Energética em Edificações, Rio de Janeiro, 2011.

SOMAX –AMBIENTAL & ACÚSTICA (Rio de Janeiro). **Portas Acústicas:** Modelo 46 dB – Métalicas. Disponível em: https://www.somaxbrasil.com.br/upload/arquivos/arquivo20120611111953.pdf. Acesso em: 18 nov. 2019.

SOMAX – AMBIENTAL & ACÚSTICA (Rio de Janeiro). **Portas Acústicas:** Modelo 56 dB – Metálicas. Disponível em: https://www.somaxbrasil.com.br/upload/arquivos/arquivo20120611112102.pdf. Acesso em: 18 nov. 2019.

SOUZA, D. P. Um em cada três brasileiros mora em 48 munícipios com mais de 500 mil habitantes. **Agência de notícias IBGE**. 28 ago. 2019. https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/25280-um-em-cada-tres-brasileiros-mora-em-48-municipios-com-mais-de-500-mil-habitantes. Acesso em: 04 nov. 2019.

TRANE. **Catálogo de Produtos.** 2014. Disponível em: https://www.trane.com/content/dam/Trane/Commercial/lar/br/produtos-

sistemas/equipamentos/Chillers/Chillers_Scroll-Condensacao_Ar/CGAD/Catalogo_Produto-CGAD(CG-PRC002H-PB)%20small.pdf. Acesso em: 18 out. 2019.

WHO REGIONAL OFFICE FOR EUROPE World Health Organization 2018. **Environmental Noise Guidelines for the European Region.** Copenhagen: 2018. Disponível em: http://www.euro.who.int/en/publications/abstracts/environmental-noise-guidelines-for-the-european-region-2018. Acesso em: 21 set. 2019.

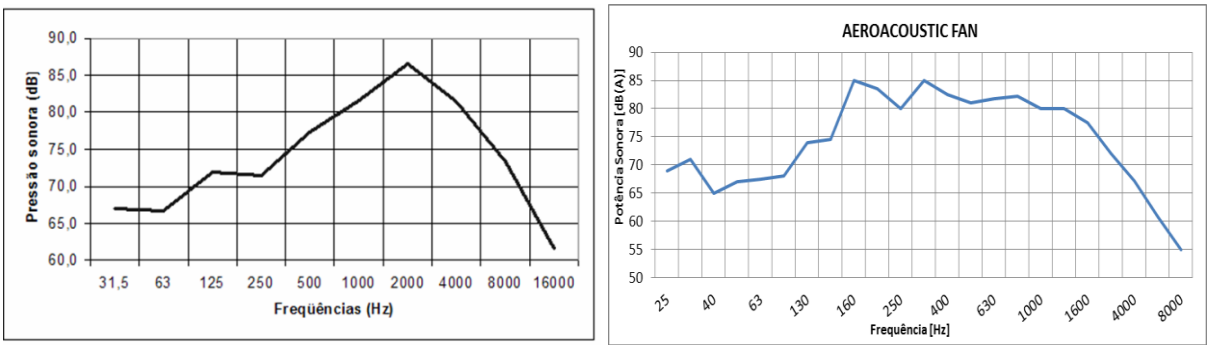
ANEXO A

Tabela A.1 – Índices de atenuação por frequência dos três tipos de janelas.

		ATENUAÇÃO R [dB]																		
FREQUÊNCIA [Hz]		100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1K	1,25K	1,6K	2K	2,5K	3,15K	4K	5K	R Global
JANELAS	**Janela 1**: 6+10+4 mm (vidro+câmara de ar+vidro)	31,1	27,1	23,1	25,3	26,3	27	29,2	31,3	34,1	36,4	37	36,1	36	35,3	32,9	32,8	35,5	41,3	**32**
	Janela 2: 5+5 mm (vidro claro laminado)	29,2	26,9	27,4	29,3	28,1	29,6	30,2	31,7	32,4	33,5	33,3	32,2	31,1	31,2	33,6	35,9	38,3	42,1	**33**
	Janela 3: (6+6)+6+4 mm (vidro laminado + câmara de ar + vidro monolítico)	25	27	26	23	30	30	31	33	33	35	30	35	31	29	32	35	37	40	**33**

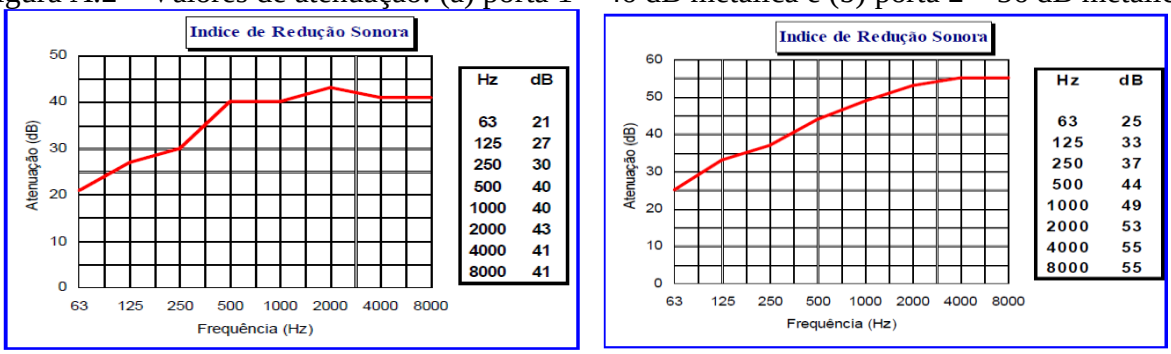
Fonte: Janelas 1 e 2 – KRAFHT (2019); Janela 3 – ACUSTIKA SUL (2019).

Figura A.1 – Espectro gerado por (a) um compressor tipo parafuso e (b) ventilador tipo *AeroAcoustic Fan*.



Fonte: (a) Lagemann (2008); (b) adaptado do catálogo da *Springer-Carrier* (2019).

Figura A.2 – Valores de atenuação: (a) porta 1 – 46 dB metálica e (b) porta 2 – 56 dB metálica.



Fonte: SOMAX – Ambiental & Acústica (2019).

APÊNDICE A

Tabela A.2 – Valores obtidos com a atenuação para cada tipo de janela por frequência e NPS Global no quarto 1079.

Linha	Frequência [Hz]	Característica	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1K	1,25K	1,6K	2K	2,5K	3,15K	4K	5K	NPS Global
1	Ruído da fonte sem atenuação [dB(A)]	Valor medido	37,2	44,4	39,3	37,5	44,1	45,1	45,3	48,3	49,0	50,2	50,0	50,1	48,8	46,6	45,7	44,1	41,7	39,6	59,2
2	Ruído da fonte sem atenuação [dB]	Valor calculado com filtro A	56,3	60,5	52,7	48,4	52,7	51,7	50,1	51,5	50,9	51,0	50,0	49,5	47,8	45,4	44,4	42,9	40,7	39,1	64,7
3	Atenuação da Janela 1 [dB]	Tabela A.1	31,1	27,1	23,1	25,3	26,3	27,0	29,2	31,3	34,1	36,4	37,0	36,1	36,0	35,3	32,9	32,8	35,5	41,3	32
4	Ruído da fonte com atenuação da Janela 1 [dB]	Linha 2 - linha 3	25,2	33,4	29,6	23,1	26,4	24,7	20,9	20,2	16,8	14,6	13,0	13,4	11,8	10,1	11,5	10,1	5,2	-2,2	36,8 dB / 27,0 dB(A)
5	Atenuação da Janela 2 [dB]	Tabela A.1	29,2	26,9	27,4	29,3	28,1	29,6	30,2	31,7	32,4	33,5	33,3	32,2	31,1	31,2	33,6	35,9	38,3	42,1	33
6	Ruído da fonte com atenuação da Janela 2 [dB]	Linha 2 - linha 5	27,1	33,6	25,3	19,1	24,6	22,1	19,9	19,8	18,5	17,5	16,7	17,3	16,7	14,2	10,8	7,0	2,4	-3,0	36,2 dB / 27,5 dB(A)
7	Atenuação da Janela 3 [dB]	Tabela A.1	25,0	27,0	26,0	23,0	30,0	30,0	31,0	33,0	33,0	35,0	30,0	35,0	31,0	29,0	32,0	35,0	37,0	40,0	33
8	Ruído da fonte com atenuação da Janela 3 [dB]	Linha 2 -linha 7	31,3	33,5	26,7	25,4	22,7	21,7	19,1	18,5	17,9	16,0	20,0	14,5	16,8	16,4	12,4	7,9	3,7	-0,9	37,2 dB / 23,9 dB(A)

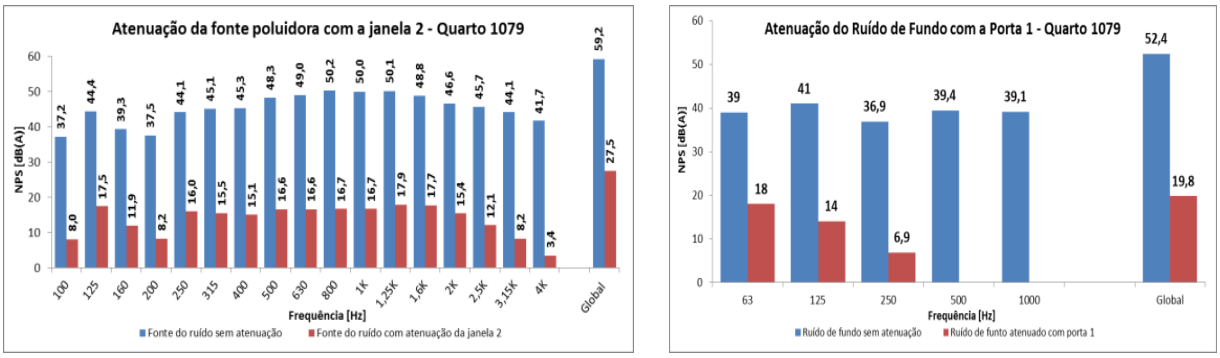
Fonte: O autor (2019).

Tabela A.3 – Valores para atenuação do ruído de fundo no quarto 1079 pelas portas tipo 1 e 2.

Linha	Frequência [Hz]	Característica	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	NPS GLOBAL
1	Ruído de Fundo [dB(A)]	Valor Medido	39	41	36,9	39,4	39,1	36,6	34,2	19,9	52,4
2	Ruído de Fundo [dB]	Valor calculado com filtro A	65,2	57,1	45,5	42,6	39,1	35,4	33,2	21	65,5
3	Atenuação Porta 1 [dB]	Figura A.3 - (a)	21	27	30	40	40	43	41	41	46
4	Ruído com Porta 1 [dB]	Linha 2 -linha 3	44,2	30,1	15,5	2,6	-0,9	-7,6	-7,8	-20	44,4 dB / 19,8 dB(A)
5	Atenuação Porta 2 [dB]	Figura A.3 - (b)	25	33	37	44	49	53	55	55	56
6	Ruído com Porta 2 [dB]	Linha 2 -linha 5	40,2	24,1	8,5	-1,4	-9,9	-17,6	-21,8	-34	40,3 dB / 15,2 dB(A)

Fonte: O autor (2019).

Figura A.3 – Comparativo entre: (a) ruído da fonte sem e com atenuação (janela 2) e (b) ruído da fonte sem e com atenuação (porta 1) para o quarto 1079.



(a) (b)

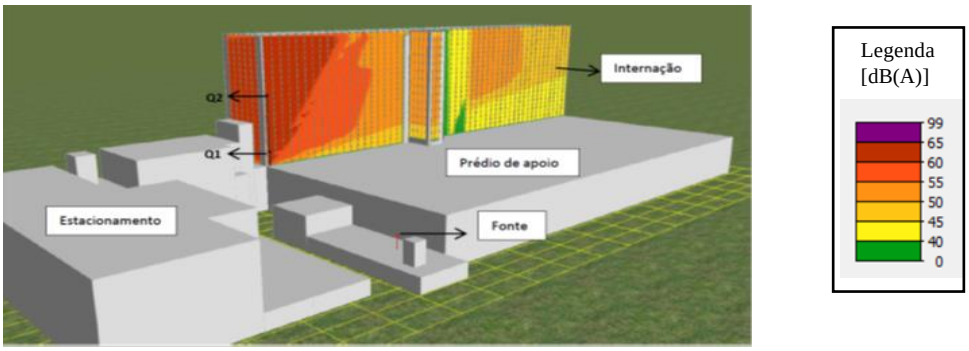
Fonte: O autor (2019).

Tabela A.4 – Comparação entre os valores medidos e simulados no *iNoise*.

Quarto	Valor Medido [dB(A)]	Valor Simulado [dB(A)]	Diferença [dB(A)]
476	59,4	56,5	-2,9
1079	59,2	54,5	-4,7

Fonte: O autor (2019).

Figura A.4 – Distribuição de ruído na fachada do prédio de internação pelo *software iNoise*.



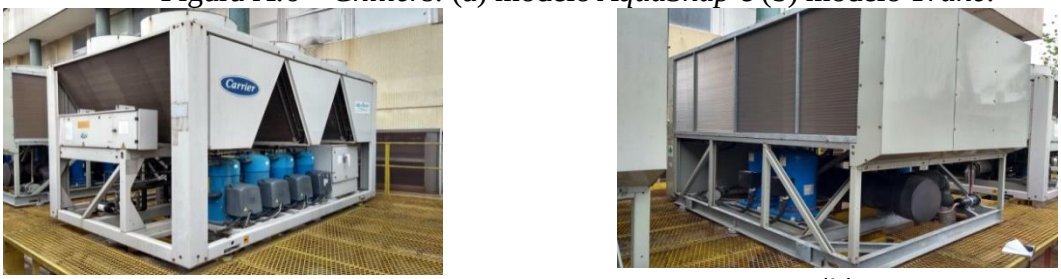
Fonte: O autor (2019).

Figura A.5 – Mapa de ruído bidimensional (vista superior), gerado no *iNoise* para a área externa do hospital: (a) 2 metros acima do subsolo e (b) nível dos *chillers*.
Mesma legenda da figura anterior.

(a) (b)

Fonte: O autor (2019).

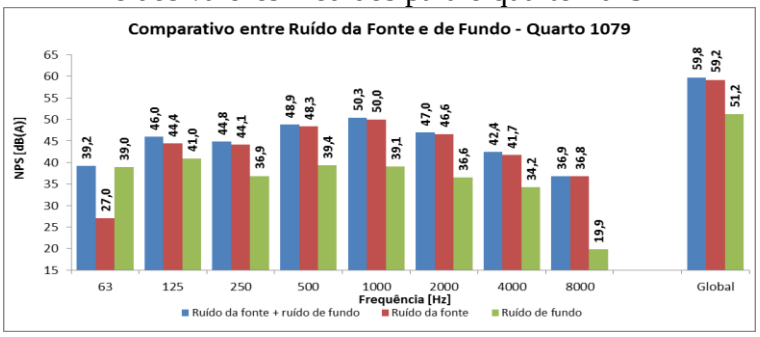
Figura A.6 – *Chillers*: (a) modelo *AquaSnap* e (b) modelo *Trane*.



(a) (b)

Fonte: O autor (2019).

Figura A.7 – Comparativo entre o valor estimado do ruído da fonte e dos valores medidos para o quarto 1079



Fonte: O autor (2019).