



**19 a 22 de novembro de 2023**  
**Natal - RN**

# **Análise da influência do desempenho acústico das fachadas na padronização das linhas de esquadrias**

**Pinto, C. R.<sup>1</sup>; Eichler, B. C.<sup>2</sup>; Maciel, C. A.<sup>3</sup>; Coelho, F. C.<sup>4</sup>; Rocha, D. G.<sup>5</sup>; Reis, R. P. A.<sup>6</sup>**

<sup>(1,2,3,4)</sup> Síntese Acústica Arquitetônica, Brasília, DF, Brasília, {caio, bruna, candida, fabiana}@sintesearquitectura.com.br

<sup>(5,6)</sup> Escola de Engenharia Civil, UFG, Goiânia, GO, Brasil, darianegomes@outlook.com; ricardo\_reis@ufg.com

---

## **Resumo**

Este artigo explora a relação entre o custo, a padronização e o desempenho acústico das esquadrias nas fachadas das salas e quartos de um mesmo empreendimento. O objetivo é analisar como o desempenho acústico das fachadas pode influenciar tanto o custo quanto a uniformidade das esquadrias utilizadas em uma mesma unidade. O estudo analisou três edifícios residenciais em Goiânia, comparando ensaios acústicos de campo com modelos de previsão de desempenho, e avaliando as ponderações necessárias para o índice de redução sonora das esquadrias estudadas. Os resultados revelaram que, embora as esquadrias das salas fossem maiores, as exigências de desempenho acústico eram semelhantes às dos quartos. No entanto, ao considerar a diferença de dimensão entre as esquadrias, observou-se uma modificação na linha de esquadria selecionada para cada ambiente. Isso indica que, mesmo com requisitos semelhantes, a escolha das esquadrias precisou ser ajustada de acordo com as especificidades de cada espaço. O estudo destaca a importância de considerar a variação nas dimensões das esquadrias em relação ao desempenho acústico, e ao selecionar a linha das esquadrias, os possíveis impactos financeiros envolvidos nessa variação. Fornecendo informações úteis para incorporadores e construtores, o estudo contribui para equilibrar o desempenho acústico das edificações com a viabilidade econômica do projeto.

**Palavras-chave:** fachadas, padronização, desempenho acústico, custo.

## **Abstract**

This article explores the relationship between cost, standardization, and acoustic performance of window frames in the facades of rooms and bedrooms within the same development. The objective is to analyze how different types of window frames can influence both the financial aspect and the uniformity of the frames used in a single unit. The study analyzed three residential buildings in Goiânia, comparing field acoustic tests with performance prediction models and evaluating the necessary considerations for the sound reduction index of the studied window frames. The results revealed that, although the window frames in the living rooms were larger, the acoustic performance requirements were similar to those of the bedrooms. However, when considering the difference in dimensions between the window frames, a modification in the selected window frame line for each space was observed. This indicates that, even with similar requirements, the choice of window frames needed to be adjusted according to the specificities of each room. The study highlights the importance of considering the variation in window frame dimensions in relation to acoustic performance and the potential financial impacts involved in this variation. Providing valuable information for developers and builders, the study contributes to balancing the acoustic performance of buildings with the economic feasibility of the project.

**Keywords:** facades, standardization, weighting, cost.

## 1. Introdução

A NBR 15.575 – Edificações Habitacionais – Desempenho, usualmente conhecida como “Norma de Desempenho” [1] está em vigor de 2013. Dentre as seis partes constantes nesta norma, estão inseridos na Parte 4 os requisitos para os Sistemas de Vedações Verticais Internas e Externas — SVVIE, na qual são determinados os critérios de desempenho de isolamento acústico para as paredes de geminação de unidades residenciais e para as fachadas.

Na emenda publicada em 2021, foi acrescentado um critério para avaliação de desempenho acústico para fachadas de salas, apenas em caráter informativo, apresentado no Anexo F da NBR 15.575-4 [2]. A obrigatoriedade de um desempenho acústico mínimo para fachadas, permaneceu restrito aos ambientes de dormitórios. Dentre os elementos que compõem o sistema de fachadas, as esquadrias são os elementos de maior influência no desempenho acústico, por apresentar maior fragilidade quanto ao isolamento sonoro. Além disso, fatores como a área de esquadria e a proporção da esquadria em relação à área total da fachada, também influenciam no desempenho acústico das fachadas das edificações.

Segundo Fontanini [3], a construção de edifícios envolve uma grande variedade de materiais empregados nos diversos elementos construtivos, e a escolha da sua composição impacta diretamente nos custos e na qualidade da construção. Assim, a padronização dos elementos utilizados na construção é um aspecto normalmente desejado pela equipe de execução de um empreendimento, pois facilita processos como a verificação de recebimento, gestão dos materiais dentro dos canteiros, negociação com fornecedores e, até mesmo, na produção, devido a padronização dos procedimentos executivos. Dentre os diversos componentes dos sistemas prediais, as esquadrias são um elemento significativo na composição de custo de uma obra, podendo representar até 10% de uma edificação residencial vertical [3, *apud* Revista Construção, 2001]. Assim, a escolha adequada deste componente, levando em consideração aspectos de custo-benefício, é de grande importância quando se pretende equilibrar um bom desempenho da edificação com a viabilidade econômica de sua implantação.

Neste cenário, este trabalho apresenta uma análise do impacto no custo e na padronização de diferentes tipos de esquadrias, relacionados com o nível de desempenho acústico pretendido para as fachadas das salas e quartos de um mesmo empreendimento em três edificações distintas.

## 2. Desempenho acústico de fachada

Os requisitos de desempenho acústico de fachadas de dormitórios, descritos na NBR 15.575-4 [2], variam conforme a classe de ruído em que a fachada está inserida. No item 12.3.3 [2], está definido o nível de pressão sonora incidente na fachada, o  $L_{inc}$ , que deve ser determinado através de cálculo ou simulação computacional a partir dos valores de nível de pressão sonora representativos do período diurno ou noturno ( $L_d$  ou  $L_n$ ), obtidos conforme a NBR 16.425-1 Acústica - Medição e avaliação de níveis de pressão sonora provenientes de sistemas de transportes Parte 1: Aspectos gerais [4] ou ABNT NBR 10.151 Acústica - Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas - Aplicação de uso geral [5]. Um método alternativo de determinação do  $L_{inc}$ , baseado nos valores dos limites legais de emissão sonora, é apresentado no item F.6.2.2 da NBR 15.575-4 [2], bem como seus limites de aplicação.

O desempenho da fachada é classificado em três níveis: mínimo (M), intermediário (I) e superior (S), a partir do parâmetro de Diferença de Nível Padronizado Ponderado a 2 m de distância da fachada  $D_{2m,nT,w}$  [2]. Um critério objetivo é determinado para cada nível de desempenho conforme cada uma das três classes de ruído. Apenas o valor mínimo é obrigatório, os desempenhos intermediários e superiores são informativos e possuem adesão voluntária pelo incorporador/construtor.

Conforme o item 12.2 e 12.3 da NBR 15.575-4 [2] o valor de  $D_{2m,nT,w}$  deve ser obtido por medição acústica realizada no ambiente construído conforme serão entregues aos moradores. Podem ser

utilizados dois métodos de medição, um mais rigoroso denominado método de engenharia, que segue os procedimentos da ABNT NBR ISO 16.283-3:2016 Acústica - Medição de campo do isolamento acústico nas edificações e nos elementos de edificações Parte 3: Isolamento de fachada a ruído aéreo [6]. O segundo, denominado método simplificado, permite obter o valor de  $D_{2m,nT,w}$  através do procedimento da ABNT NBR ISO 10.052:2022 Acústica - Medições em campo de isolamento a ruído aéreo e de impacto e de sons de equipamentos prediais - Método simplificado [7].

Vale ressaltar que o desempenho acústico, por tanto, só pode ser comprovado após a conclusão da obra, devido a influência da execução dos detalhes construtivos dos sistemas. Por isso, é informado no item F.6.3.2 da NBR 15.575-4 [2], um método para estimativa do isolamento a ruído aéreo conforme a ISO 12.354-3:2017 *Building acoustics — Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements — Part 3: Airborne sound insulation against outdoor sound* [8], que considera o índice de redução sonora ( $R_w$ ) e a massa específica ( $m'$ ) dos elementos de fachada, além das contribuições de formas da fachada e geometria e volumetria do ambiente. Assim, é possível determinar um isolamento mínimo ( $R_w$ ) da esquadria e demais elementos da fachada para alcançar o  $D_{2m,nT,w}$  projetado para cada situação.

O isolamento acústico da esquadria ( $R_w$ ) é expresso em decibels, e é obtido em ensaio acústico de laboratório em câmara reverberante através da ISO 10.140-2:2021 *Acoustics — Laboratory measurement of sound insulation of building elements — Part 2: Measurement of airborne sound insulation* [9]. No relatório de ensaio, devem ser apresentadas as características da esquadria como dimensão, tipo de abertura e instalação da amostra ensaiada, material e dimensões dos perfis, vidros e outros componentes que a integram, além da indicação de fabricante e linha de produto, que irão caracterizar as especificidades de fabricação que garantirão o desempenho medido em laboratório. A alteração dos componentes ou dimensões influenciarão diretamente no isolamento da esquadria, por isso as esquadrias comercializadas em tamanho padrão podem receber o Selo de Desempenho Acústico das Esquadrias conforme NBR 10.821-4:ABNT:2017 - Esquadrias para edificações - Parte 4: Esquadrias externas - Requisitos adicionais de desempenho [10]. No entanto, é muito comum nos edifícios de médio e alto padrão, a utilização de sistemas de perfis empregues na produção de esquadrias de diferentes dimensões e características, conforme as limitações específicas de cada sistema, como carga de vento, dimensões máximas de vãos, entre outros.

Quando da fabricação de esquadrias específicas a partir do sistema de perfis, é impossível a aplicação do Selo de Desempenho Acústico das Esquadrias, pois a alteração da dimensão da esquadria altera o seu isolamento. No entanto, na DIN EN 14.351-1:2016 - *Windows and doors – Product standard, performance characteristics – Part 1: Windows and external pedestrian doorsets* [11], é apresentada uma metodologia de previsão da redução do isolamento acústico proporcional ao aumento das dimensões da esquadria. Utilizando esse método, é possível especificar uma linha de produto que atenda ao  $R_w$  mínimo calculado conforme a ISO 12.354-3 [8], mesmo que a esquadria do projeto possua dimensões diferentes da amostra ensaiada em laboratório.

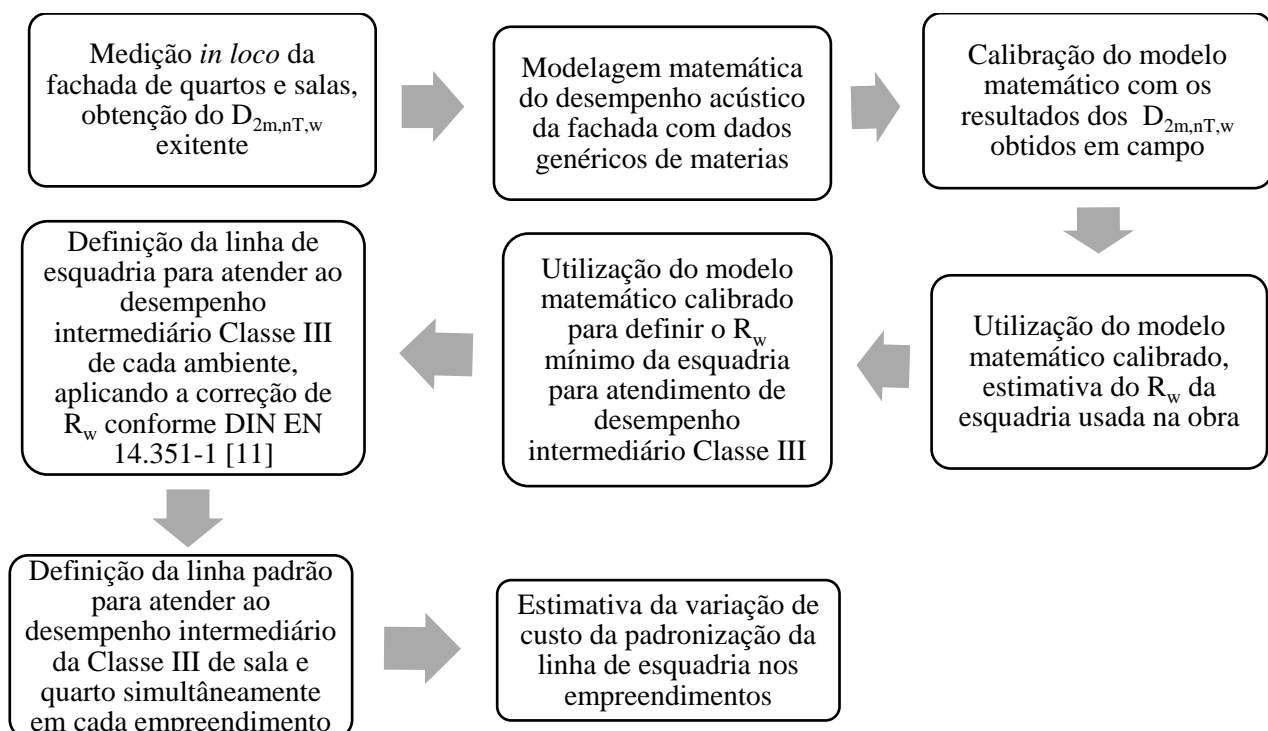
### 3. Método

Para o desenvolvimento deste estudo, foram selecionados três empreendimentos residenciais situados na cidade de Goiânia-GO, nas quais foram analisadas as fachadas do menor dormitório e da sala. Durante a obra desses empreendimentos não foram recolhidos dados inerentes dos materiais e sistemas aplicados especificamente em cada fachada, como o índice de redução sonora ( $R_w$ ) e massa específica, dados de entrada necessários para modelo de cálculo da ABNT NBR ISO 12.354-3. Optou-se, por tanto, por utilizar dados de entrada genéricos disponibilizados em bibliografias e catálogos. Assim, para calibrar o modelo previsional de cada ambiente foram utilizados os valores de  $D_{2m,nT,w}$  obtidos nos ensaios de campo da fachada pelo método especificado pela ABNT NBR ISO 16.283-3 [6]. Após a calibração, o modelo foi utilizado para calcular o valor mínimo de  $R_w$  da esquadria, para que esta atinja

o Desempenho Intermediário da Classe de Ruído III, que é a primeira situação aplicável para o desempenho acústico de fachadas de salas.

Em seguida, a partir dos resultados de valor mínimo obtidos pela aplicação do modelo previsional para o isolamento acústico de esquadrias ( $R_w$ ) e utilizando a metodologia de cálculo de redução de isolamento de esquadria descrita na DIN EN 14.351-1 [11], verificou-se uma linha específica de perfis disponibilizada nos documentos Hydro Esquadrias Desempenho Acústico [12] que pudesse atender simultaneamente ao isolamento mínimo das esquadrias de quarto e sala, com vistas a padronização dos perfis em cada empreendimento.

Ao final, realizou-se uma análise do possível impacto nos custos da variação de modelo das esquadrias de quarto e sala. Para isso foram utilizados os dados da cotação de esquadrias de outros quatro dormitórios distintos em obras na cidade de Brasília.

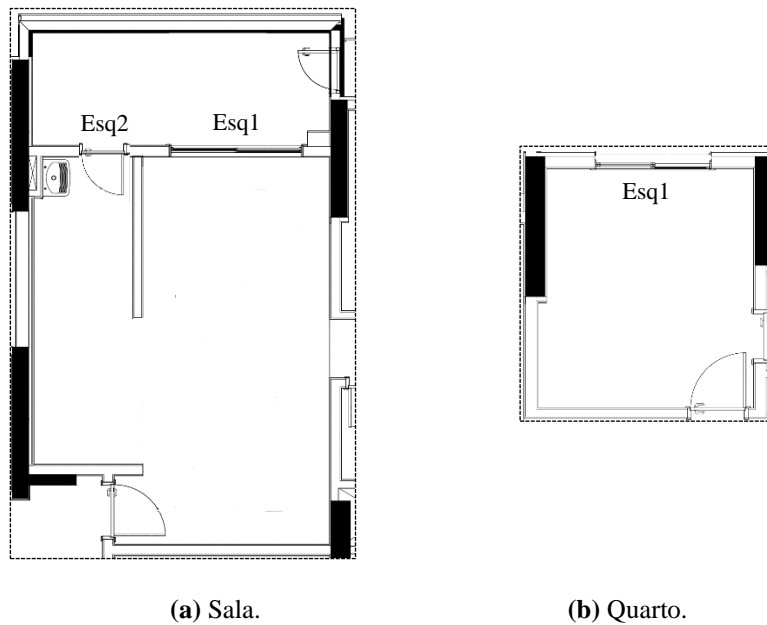


**Figura 1:** Fluxograma das etapas do método. Fonte: próprio do autor.

### 3.1 Característica das amostras

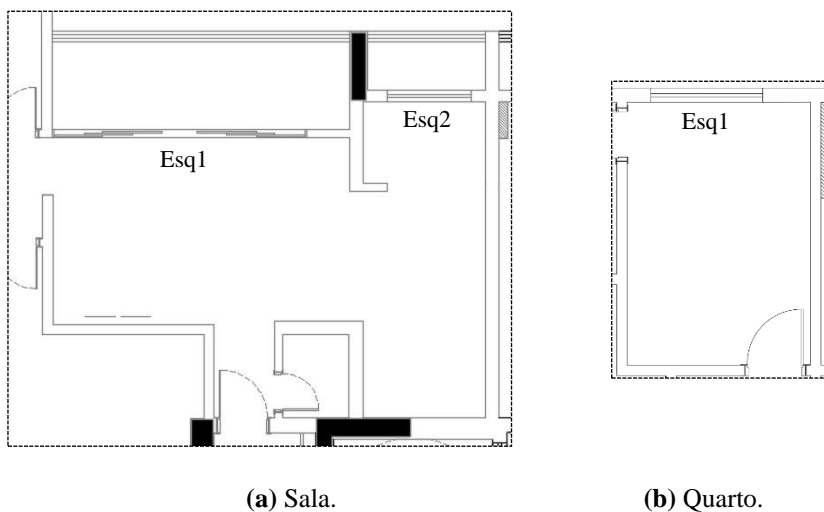
As três obras selecionadas para este estudo já se encontravam em fase final de execução, e os ambientes estavam com todos os elementos construtivos instalados, conforme foram entregues aos moradores, e apresentavam diferentes padrões construtivos, sendo dois de médio padrão e um de alto padrão. Respeitando a confidencialidade de cada empresa, os cenários de estudo foram identificados pelos códigos: OBR-1, OBR-2 e OBR-3.

O cenário de estudo OBR-1 é caracterizado por uma edificação residencial multifamiliar com 33 pavimentos. O sistema de fachada do ambiente de dormitório é composto por alvenaria de bloco cerâmico de 14 cm, e esquadria de alumínio e vidro, com duas folhas de vidro de correr e persiana integrada - Esq1, Figura 2 (b). Já a sala de estar possui alvenaria de bloco cerâmico de 14 cm, porta de alumínio e vidro, com duas folhas de vidro de correr na sala - Esq1, Figura 2 (a), e porta de alumínio e vidro, com uma folha de vidro de abrir e veneziana de ventilação permanente - Esq2, Figura 2 (a).



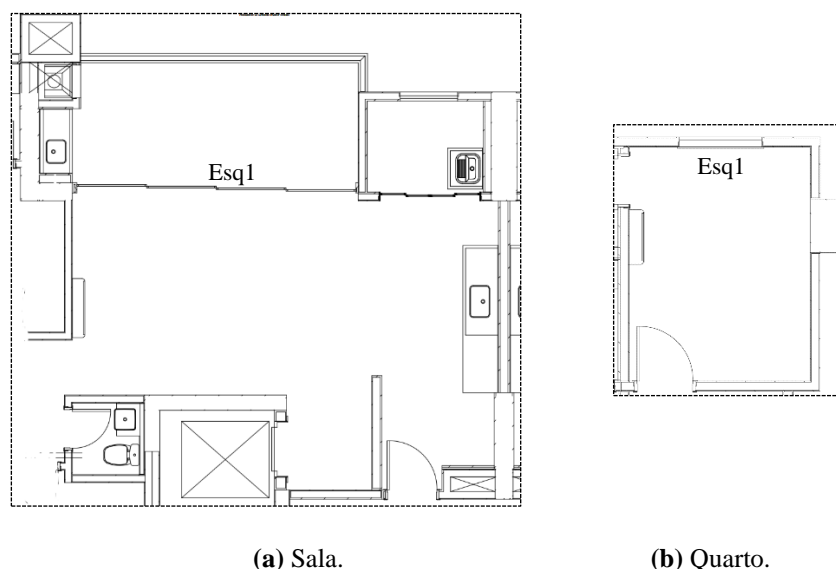
**Figura 2:** Planta esquemática dos ambientes da OBR-1. Fonte: próprio do autor.

O cenário de estudo OBR-2 é caracterizado por uma edificação residencial multifamiliar com 34 pavimentos. Os elementos que compõem a fachada do dormitório são alvenaria de bloco cerâmico de 14 cm e esquadria de alumínio e vidro, com duas folhas de vidro de correr e duas folhas venezianas de correr - Esq1, Figura 3 (b). A sala de estar apresenta em sua fachada alvenaria de bloco cerâmico de 14 cm, porta de alumínio e vidro, com quatro folhas de correr e duas fixas - Esq1, Figura 3 (a), e porta de alumínio e vidro, com uma folha de vidro de abrir para ventilação permanente - Esq2, Figura 3 (a).



**Figura 3:** Planta esquemática dos ambientes da OBR-2. Fonte: próprio do autor.

O cenário de estudo OBR-3 trata-se de um edifício residencial de 35 pavimentos. O sistema de fachada do ambiente de dormitório é composto de alvenaria de bloco cerâmico de 14 cm e esquadria de alumínio e vidro, com uma folha fixa na parte inferior, duas folhas de correr na parte superior com persiana integrada - Esq 1, Figura 4 (b). A fachada da sala de estar deste empreendimento é composta por alvenaria de bloco cerâmico de 14 cm, porta de alumínio e vidro, com quatro folhas de correr - Esq1, Figura 4 (a).



**Figura 4:** Planta esquemática dos ambientes da OBR-3. Fonte: próprio do autor.

Nos cenários OBR-1 e OBR-2, a sala de estar é integrada aos ambientes de cozinha e área de serviço. A esquadria presente na área de serviço está localizada relativamente próxima à da sala, por esse motivo, essa segunda esquadria foi utilizada no estudo e o ambiente considerado foi de “sala integrada”.

As características construtivas dos ambientes de dormitório e sala de estar integrada estão informadas no Quadro 1, no qual a área de esquadria 1 representa a esquadria da sala, e a área de esquadria 2 representa a esquadria da área de serviço. A porcentagem de ocupação das esquadrias em relação à área total da fachada também foi informada.

**Quadro 1:** Características construtivas das fachadas analisadas, fonte: próprio autor.

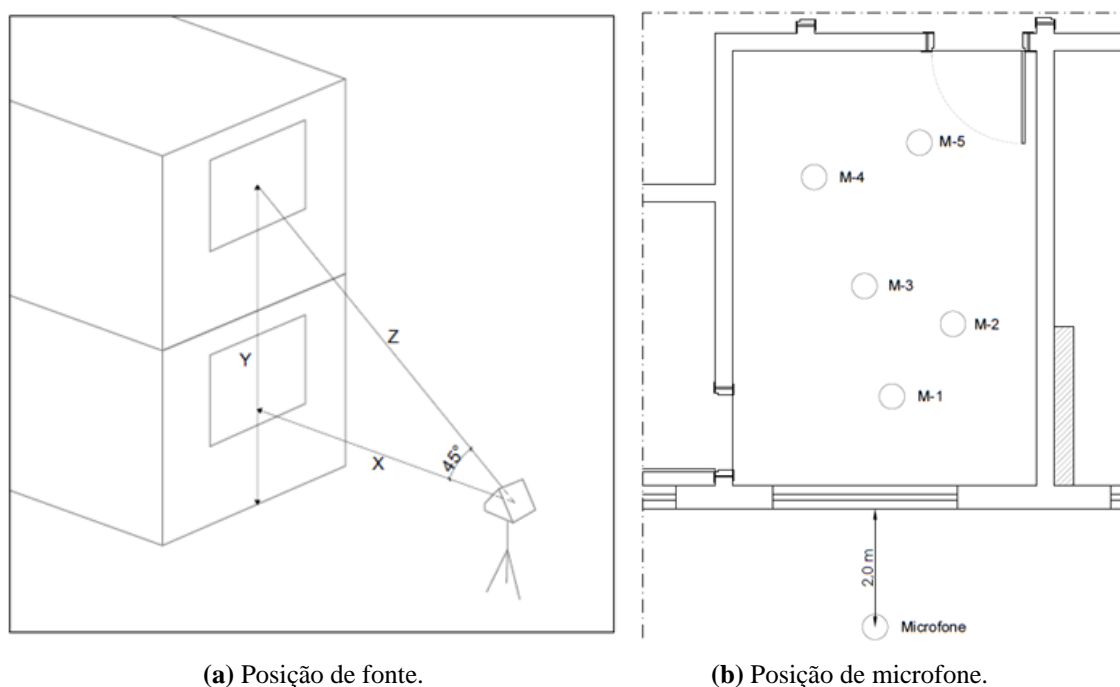
| Obra  | Ambiente   | Área do ambiente (m <sup>2</sup> ) | Volume ambiente (m <sup>3</sup> ) | Área de Fachada (m <sup>2</sup> ) | Área de esquadria 1 (m <sup>2</sup> ) | Área de esquadria 2 (m <sup>2</sup> ) | Ocupação da esquadria na fachada (%) |
|-------|------------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|
| OBR-1 | Dormitório | 13,77                              | 34,01                             | 7,39                              | 2,04                                  | -                                     | 28%                                  |
|       | Sala       | 24,81                              | 60,54                             | 10,74                             | 4,36                                  | 1,26                                  | 52%                                  |
| OBR-2 | Dormitório | 7,56                               | 19,66                             | 5,98                              | 1,73                                  | -                                     | 29%                                  |
|       | Sala       | 28,26                              | 73,48                             | 18,72                             | 10,92                                 | 1,40                                  | 66%                                  |
| OBR-3 | Dormitório | 15,88                              | 44,10                             | 10,01                             | 2,43                                  | -                                     | 24%                                  |
|       | Sala       | 37,85                              | 105,22                            | 14,54                             | 11,81                                 | -                                     | 82%                                  |

### 3.2 Método de ensaio de engenharia para determinação do isolamento aéreo de fachada

Os procedimentos para a avaliação do desempenho acústico de fachadas por meio de ensaios descrito na ABNT NBR ISO 16.283-3 [6], consiste, de forma geral, em realizar medições do nível de pressão sonora a dois metros de distância da fachada no lado externo, e do nível de pressão sonora interna do ambiente. Para tanto, no exterior da edificação deve ser gerado um campo sonoro aproximadamente uniforme na fachada avaliada. Para isto, pode-se utilizar uma caixa de som amplificada, que deve ser posicionada a uma determinada distância em relação aos planos horizontal e vertical, de forma que se forme um ângulo de aproximadamente  $45^\circ \pm 5^\circ$  entre o centro da fachada e a fonte sonora, conforme



representado na Figura 5 (a). Esta medição também pode ser feita utilizando outras fontes sonoras, como tráfego de veículos, não descritas neste trabalho por não terem sido utilizadas.



(a) Posição de fonte.

(b) Posição de microfone.

**Figura 5:** Representação da posição da fonte sonora e do microfone. Fonte: próprio do autor.

O nível de pressão sonora a dois metros de distância da fachada é medido no centro da esquadria, e no ambiente interno devem ser distribuídos pontos para alocação do microfone, seguindo os requisitos de distanciamento entre microfones e elementos de contorno, como alvenarias e lajes, como ilustrado na Figura 5 (b). O som residual deve ser medido no interior do ambiente ensaiado, com a fonte sonora desligada, para avaliar os sons intrusivos que podem interferir no ensaio, e, caso necessário, aplicar as correções aos níveis de som recebidos de acordo com a diferença existente entre o som recebido e o som residual. Também deve ser determinado o tempo de reverberação do ambiente receptor, que se refere ao tempo necessário para o decaimento de 60 dB do nível de pressão sonora inicial, obtido por uma extrapolação da diferença de nível de pressão sonora dos 20 dB iniciais (T20) ou dos 30 dB iniciais (T30), a partir dos 5 dB abaixo do nível de pressão sonora de excitação. Caso o ambiente receptor apresente uma volumetria inferior a 25 m<sup>3</sup>, é necessário realizar o procedimento adicional para baixas frequências. Este procedimento consiste na realização das medições de som recebido, som residual e tempo de reverberação, às distâncias padronizadas nos cantos do ambiente receptor.

A diferença ( $D_{2m}$ ) expressa em dB, é calculada por banda de frequência através da subtração:

$$D_{2m} = (L_{1,2m} - L_2), \quad (1)$$

em que o  $L_{1,2m}$  representa os níveis de pressão sonora medidos no exterior a 2 m da fachada em decibels (dB) e  $L_2$  é o nível sonoro no interior do ambiente receptor em decibels (dB), corrigido conforme som residual, caso necessário. A partir dos valores de  $D_{2m}$ , é possível encontrar os valores da Diferença Padronizada de Nível Ponderado a 2 metros da fachada através de:

$$D_{2m,nT} = D_{2m} + 10 \lg T/T_0, \quad (2)$$

em que T corresponde ao tempo de reverberação do ambiente em segundos (s) e  $T_0$  ao tempo de reverberação de referência de valor igual a 0,5s. O valor global de  $D_{2m,nT,w}$  é calculado a partir do método de ponderação aplicado na ABNT NBR ISO 717-1:2021 Acústica — Classificação de isolamento acústico em edificações e elementos de edificações Parte 1: Isolamento a ruído aéreo [13].

### 3.3 Método de previewal de desempenho acústico de Fachada

A ISO 12.354-3 [8] apresenta um modelo de cálculo para estimar o desempenho acústico de edificações com base em seus elementos constituintes. Procedimentos e parâmetros de entrada necessários para estimar o isolamento sonoro (ou o nível de pressão sonora) de fachadas ou de outras superfícies externas de edificações são estabelecidos no item três da norma ISO 12.354-3 [8], considerando transmissões diretas (pelo elemento da fachada avaliado) e indiretas (por elementos de flanco). “No entanto, na maioria dos casos o cálculo da contribuição da transmissão pelos elementos de flanco não é necessário” [8]<sup>1</sup>, dado que esta é geralmente insignificante.

Os parâmetros de entrada utilizados para aplicação do modelo da ISO 12.354-3 [8] para previsão do desempenho acústico das fachadas avaliadas foram: índice de redução sonora ( $R_w$ ) e área dos elementos construtivos da fachada (esquadrias e alvenarias), medidos em laboratório conforme metodologia da ISO 10.140 [9]; volume do ambiente que recebe o ruído através da fachada ( $V$ ); tempo de reverberação referência ( $T_0=0,5s$ ) e constante de Sabine ( $C_{sab}=0,16 s/m$ ); área total de fachada ( $S$ ) e contribuição devido à sua forma ( $\Delta L_{fs}$ ). A equação 3 apresenta a fórmula normativa com as variáveis descritas.

$$D_{2m,nT,w} = R_w + \Delta L_{fs} + (10 \lg (C_{sab} (V/T_0S))) \quad (3)$$

Uma vez que o modelo pode ser aplicado para obter resultados tanto por banda de frequência quanto em um valor único representativo, optou-se por calcular diretamente o valor único, uma vez que os dados detalhados dos elementos não estavam disponíveis e foram utilizados dados genéricos para materiais similares.

### 3.4. Método de previewal de variação do isolamento acústico de esquadria conforme dimensão

Na DIN EN 14.351-1 [11] é uma norma internacional, na qual são estabelecidos critérios abrangentes para garantir a qualidade, segurança, durabilidade, resistência ao fogo, isolamento térmico e acústico, permeabilidade ao ar e resistência à água das janelas e portas. No Anexo B da norma [11] estão descritos dois métodos preditivos, um para estimar o  $R_w$  da esquadria a partir do  $R_w$  do vidro insulado apresentado no item B.3, e outro para estimar a variação do isolamento acústico das esquadrias em relação às suas dimensões, descritas em B.2 e detalhadas em B.4. A aplicação de ambos os métodos está restrita a utilização do vidro insulado, o método de extrapolação do  $R_w$  conforme a dimensão das esquadrias admite que o vidro insulado pode ser alterado sem um novo ensaio da esquadria desde que tenha um valor de  $R_w$  igual ou superior ao anterior.

O método detalhado em B.4 utiliza os valores de redução sonora ponderada ( $R_w$ ) e as dimensões das esquadrias conforme relatório de ensaios laboratoriais, e aplica uma correção do isolamento sonoro para produtos com dimensões maiores do que as testadas em laboratório de acordo com a variação da área. Essas correções podem resultar em uma redução de até 3 dB. O ajuste do  $R_w$  das esquadrias pode ser realizado utilizando a seguinte equação como referência:

$$R_{w,corr} = R_w + \Delta R_w, \quad (4)$$

em que  $R_w$  é o valor medido em laboratório do isolamento acústico da esquadria com dimensões padronizadas, e  $\Delta R_w$  é a correção a ser aplicada com base na variação das dimensões da esquadria.

Jorge Patrício apresentou o método de extrapolação do valor  $R_w$  conforme o tamanho da esquadria a DIN EN 14.351-1 como uma ferramenta para projeto de desempenho acústico de edificação em palestra ministrada no XXVIII SOBRAC [14]. Questionado sobre a baixa utilização dos vidros insulados no território brasileiro, por não ser necessário o alto controle térmico, Patrício ressaltou que considerava

<sup>1</sup> NOTE: “However, in most case it is not necessary to calculate the contribution of flanking transmission”. From: ISO 12.354-3, p. 8.



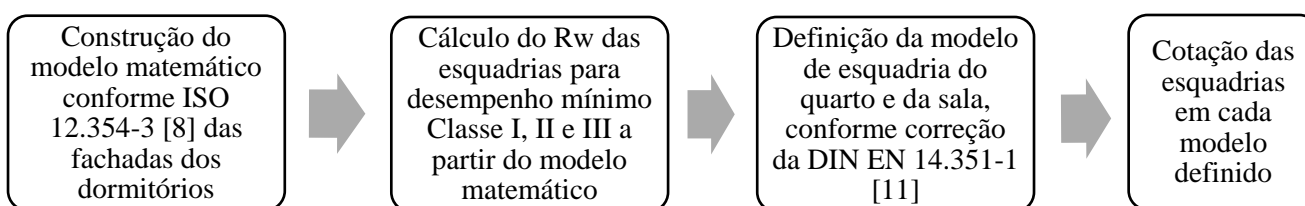
que o método ainda poderia ser aplicado, desde que observadas as características de alto desempenho de isolamento acústico do vidro.

Em seu trabalho, Scherer apresenta valores de  $R_w$  de diferentes tipos de vidros [15]. Os vidros laminados compostos por 2 vidros monolíticos colados através de filme butiral polivinil (PVB) com espessuras totais de 6 a 13mm apresentam  $R_w$  entre 32 e 35 dB. Os vidros duplos compostos por vidros monolíticos comuns espaçados por uma camada de ar ou gás com as bordas unidas por espaçador de alumínio seladas com mastique, com espessuras totais variando de 14 a 32mm, apresentam  $R_w$  de 30 a 34 dB.

As esquadrias de alto desempenho de isolamento apresentadas no catálogo da Hydro [12], utilizam os vidros laminados de 6 e 10mm. A partir destes elementos, considerou-se válida a aplicação do método de correção do isolamento sonoro para diferentes dimensões de esquadrias detalhado no item B.4 da DIN EN 14.351-1 [11] neste estudo.

### 3.5 Definição do custo dos modelos da esquadria

Uma construtora da cidade de Brasília realizou cotações de diferentes linhas de esquadrias para a produção de um estudo de viabilidade financeira de atendimento às diferentes classes de ruído. Para tanto foram selecionados 3 tipos de dormitórios em 3 modelos de empreendimentos típicos do seu nicho de mercado. Para definir a linha de modelo a ser utilizada em cada classe, foram seguidas algumas das etapas do método deste artigo, conforme observado no fluxograma da Figura 6.



**Figura 6:** Fluxograma das etapas para obtenção do custo de esquadria — fonte: próprio do autor.

O quadro a seguir apresenta a dimensão da esquadria, o modelo definido para o desempenho mínimo de cada uma das três classes de ruído e o seu respectivo valor cotado.

**Quadro 2:** Custo de esquadria por Classe de Ruído, fonte: próprio do autor.

| Dormitório | Área da esquadria (m <sup>2</sup> ) | Classe ruído | Modelo definido                        | Valor orçado |
|------------|-------------------------------------|--------------|--|--------------|
| 1          | 10,35                               | I            | Linha Produtiva 25, vidro 6 mm         | R\$ 4.674,00 |
|            |                                     | II           | Linha Tradicional Gold Slim, vidro 6mm | R\$ 7.538,00 |
|            |                                     | III          | Linha Nova Gold Contact, vidro 10mm    | R\$ 8.895,00 |
| 2          | 5,32                                | I            | Linha Produtiva 25, vidro 6 mm         | R\$ 2.316,00 |
|            |                                     | II           | Linha Tradicional Gold Slim, vidro 6mm | R\$ 3.783,00 |
|            |                                     | III          | Linha Nova Gold, vidro 10mm            | R\$ 4.540,00 |
| 3          | 10,12                               | I            | Linha Produtiva 25, vidro 6 mm         | R\$ 6.152,00 |
|            |                                     | II           | Linha Tradicional Gold Slim, vidro 6mm | R\$ 7.293,00 |
|            |                                     | III          | Linha Nova Gold, vidro 10mm            | R\$ 8.074,56 |

Os valores variam não somente com o tamanho da esquadria, mas com a perda de material em relação às dimensões e o tipo de perfil extrudado necessário em cada esquadria, por isso foi calculado um valor médio estimativo por 1 m<sup>2</sup> das linhas orçadas, que estão apresentadas no Quadro 3:

**Quadro 3:** Custo médio estimativo por linha de esquadria, fonte: próprio do autor.

| Modelo definido                        | Área esquadria ensaiada (m <sup>2</sup> ) [12] | R <sub>w</sub> conforme fabricante (dB) [12] | Valor médio/1 m <sup>2</sup> |
|--|--|--|------------------------------|
| Linha Produtiva 25, vidro 6 mm         | 1,80   | 27   | R\$ 498,28                   |
| Linha Tradicional Gold Slim, vidro 6mm | 1,80   | 30   | R\$ 720,02                   |
| Linha Nova Gold, vidro 10mm            | 1,96   | 31   | R\$ 825,63                   |
| Linha Nova Gold Contact, vidro 10mm    | 1,80   | 34   | R\$ 859,40                   |

Os valores encontrados servirão de base para avaliar o custo da variação das esquadrias de quarto e sala quando aplicáveis às linhas descritas.

#### 4. Resultados

Os resultados obtidos nas análises realizadas para as salas e dormitórios dos três cenários considerados estão detalhadamente apresentados nas Tabelas 1 e 2 a seguir. Não foram realizadas ponderações de R<sub>w</sub> das Esquadrias 2 das salas integradas da OBR-1 e OBR-2 porque suas dimensões são consideravelmente menores do que as das Esquadrias 1. Sendo assim, a linha que atende a esta, também atenderá àquela, e a variação de linha de esquadria dentro de um mesmo ambiente não é admissível esteticamente na obra. Na Tabela 1 estão os resultados obtidos através do ensaio de campo, e as simulações e ponderações realizadas para o desempenho acústico das esquadrias presentes nas amostras estudadas.

**Tabela 1:** Resultados de medição e cálculo das fachadas em análise.

| Obra  | Ambiente   | Ensaio<br>$D_{2m,nT,w}$ (dB) | Esquadria 1 modelo calibrado R <sub>w</sub> (dB) | Simulação -<br>$D_{2m,nT,w}$ (dB) | R <sub>w</sub> (dB) ponderado da esquadria amostra | Cálculo de Desempenho Intermediário Classe III<br>$D_{2m,nT,w}$ (dB) |
|-------|------------|------------------------------|--|-----------------------------------|--|--|
| OBR-1 | Dormitório | 34,0                         | 32,0   | 34,5                              | 33   | 35,2   |
|       | Sala       | 23,0                         | 20,0   | 23,4                              | 27   | 30,1   |
| OBR-2 | Dormitório | 29,0                         | 27,0   | 29,0                              | 36   | 35,3   |
|       | Sala       | 14,0                         | 13,0   | 13,3                              | 30,0   | 30,0   |
| OBR-3 | Dormitório | 34,0                         | 31,0   | 34,0                              | 33   | 35,3   |
|       | Sala       | 22,0                         | 21,0   | 22,5                              | 29   | 30,4   |

A Tabela 2 apresenta as esquadrias selecionadas para cada avaliação, juntamente com seus respectivos valores de R<sub>w</sub> medidos em laboratório. Além disso, também são apresentadas as ponderações consideradas, levando em conta as diferenças entre as dimensões padronizadas e as amostras analisadas.

Analisando os resultados da tabela anterior, podemos observar que, embora as esquadrias das salas tenham áreas maiores em comparação aos dormitórios, as exigências de desempenho acústico para

ambos os ambientes são relativamente próximas. Isso se deve ao fato de que, como demonstrado no Quadro 1, as salas também possuem volumes consideravelmente maiores e desempenho total da fachada menores.

**Tabela 2:** Resultados de adequação do isolamento da esquadria.

| Obra  | Ambiente   | Área (m <sup>2</sup> ) esquadria laboratório | R <sub>w</sub> (dB) esquadria laboratório | Área (m <sup>2</sup> ) esquadria amostra | R <sub>w</sub> (dB) ponderado da esquadria amostra | Especificação do modelo da esquadria Hydro |
|-------|------------|--|---|--|--|--|
| OBR-1 | Dormitório | 2,1  | 34  | 2,04                                     | 34   | Modelo Contact (Nova Gold), vidro 10mm     |
|       | Sala       | 2,1  | 30  | 4,36                                     | 28   | Modelo Tradicional (Gold Slim), vidro 6mm  |
| OBR-2 | Dormitório | 2,1  | 34  | 1,73                                     | 34   | Modelo Contact (Nova Gold), vidro 10mm     |
|       | Sala       | 1,8  | 34  | 10,92                                    | 31   | Modelo Contact (Nova Gold), vidro 10mm     |
| OBR-3 | Dormitório | 2,1  | 34  | 2,43                                     | 34   | Modelo Contact (Nova Gold), vidro 10mm     |
|       | Sala       | 1,8  | 32  | 11,88                                    | 29   | Modelo Contact (Nova Gold), vidro 6mm      |

Além disso, é relevante ressaltar que a diferença de área entre as esquadrias das salas e dos dormitórios não resultou em uma modificação na seleção das linhas de esquadria para cada ambiente, exceto na OBR-1. Contudo, o atendimento ao desempenho intermediário para classe III de ruído exige adoção de linhas de esquadrias com custos mais elevados, mas na situação estudada a padronização das linhas de esquadrias é pouco afetada, facilitando o atendimento ao desempenho acústico das fachadas das salas.

A única situação em que é possível estudarmos o impacto do custo da mudança de linha entre a esquadria do dormitório e sala, é a OBR-1, conforme apresentado na Tabela 3.

**Tabela 3:** Análise de custos das esquadrias da OBR-1.

| Obra  | Ambiente   | Área (m <sup>2</sup> ) esquadria 1 | Especificação do modelo da esquadria Hydro | Valor médio/m <sup>2</sup> | Valor total  |
|-------|------------|------------------------------------|--|----------------------------|--------------|
| OBR-1 | Dormitório | 2,04                               | Modelo Contact (Nova Gold), vidro 10mm     | R\$ 859,40                 | R\$ 1.753,19 |
|       | Sala       | 4,36                               | Modelo Tradicional (Gold Slim), vidro 6mm  | R\$ 720,02                 | R\$ 3.139,27 |
| OBR-1 | Dormitório | 2,04                               | Modelo Contact (Nova Gold), vidro 10mm     | R\$ 859,40                 | R\$ 1.753,19 |
|       | Sala       | 4,36                               | Modelo Contact (Nova Gold), vidro 10mm     | R\$ 859,40                 | R\$ 3.747,01 |

Desta forma, caso seja decidido pela padronização da linha das esquadrias na OBR-1, há um acréscimo de aproximadamente 20% no custo da esquadria da sala.

## 5. Considerações finais

As esquadrias são um fator relevante para a gestão de fluxo de suprimentos e custo das obras de construção civil [3]. Por isso este artigo se propôs a estudar a influência do desempenho acústico das fachadas na padronização das linhas das esquadrias dos dormitórios e salas das edificações habitacionais, conforme requisitos da ABNT NBR 15.575-4 [2].

Na pequena amostra estudada observou-se que o desempenho acústico corrobora para a padronização das linhas de esquadrias, reduzindo os entraves para o atendimento do desempenho acústico das fachadas das salas que não tem carácter obrigatório. No entanto é necessário ampliar a amostra para que seja confirmada a tendência observada.

## Referências

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Coletânea de Normas Técnicas de Edificações Habitacionais – Desempenho**. Rio de Janeiro, RJ, 2013
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.575-4 Edifícios Habitacionais Desempenho. Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas**. Rio de Janeiro, RJ, 2021.
3. FONTANINI, Patrícia S. P. **Mentalidade Enxuta no Fluxo de Suprimentos da Construção Civil - Aplicação de Macro Mapeamento na Cadeia de Fornecedores de Esquadrias de Alumínio**. Dissertação (mestrado). Universidade Estadual de Campinas, SP, 2004. URI: <https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/334758>.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16.425-1 Acústica - Medição e avaliação de níveis de pressão sonora provenientes de sistemas de transportes Parte 1: Aspectos gerais**. Rio de Janeiro, RJ, 2016.
5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.151 Acústica - Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas - Aplicação de uso geral**. Rio de Janeiro, RJ, 2020.
6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 16.283-3 Acústica - Medição de campo do isolamento acústico nas edificações e nos elementos de edificações Parte 3: Isolamento de fachada a ruído aéreo**. Rio de Janeiro, RJ, 2016
7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 10.052 Acústica - Medições em campo de isolamento a ruído aéreo e de impacto e de sons de equipamentos prediais - Método simplificado**. Rio de Janeiro, RJ, 2022.
8. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 12.354-3:2017 Building acoustics — Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements — Part 3: Airborne sound insulation against outdoor sound**. Genebra, CH, 2017.
9. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 10.140-2:2021 Acoustics — Laboratory measurement of sound insulation of building elements — Part 2: Measurement of airborne sound insulation**. Genebra, CH, 2017
10. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.821-4:ABNT - Esquadrias para edificações - Parte 4: Esquadrias externas - Requisitos adicionais de desempenho**. Rio de Janeiro, RJ, 2017.
11. DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN EN 14.351-1 - Windows and doors – Product standard, performance characteristics – Part 1: Windows and external pedestrian doorsets**. Berlin, DE, 2016.
12. HYDRO BRASIL. **Hydro Esquadrias Desempenho Acústico**. Rio de Janeiro, RJ, 2022. Disponível em: <https://www.hydro.com/pt-BR/>
13. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 717-1:2021 Acústica - Classificação de isolamento acústico em edificações e elementos de edificações - Part 1: Isolamento a ruído aéreo**. Rio de Janeiro, RJ, 2021.
14. PATRÍCIO, Jorge. **Acústica nos Edifícios Desafios e Perspectivas 05/10/2018**. Encontro SOBRAC XXVIII, 2018, Porto Alegre, RS.
15. SCHERER, Minéia Johann. **Estudo de isolamento sonoro de vidros de diferentes tipos e espessura em vitragem simples e dupla**. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2005.