



UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO
ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil

FÁBIA KAMILLY GOMES DE ANDRADE

**ANÁLISE DO DESEMPENHO ACÚSTICO DAS VEDAÇÕES
VERTICAIS**

Recife, PE

2017



UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO
ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil

FÁBIA KAMILLY GOMES DE ANDRADE

**ANÁLISE DO DESEMPENHO ACÚSTICO DAS VEDAÇÕES
VERTICAIS**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, da Escola Politécnica de Pernambuco da Universidade de Pernambuco para obtenção do título de Mestre em Engenharia.

Área de Concentração: Construção Civil

Orientador: Prof. Livre Docente Alberto Casado
Lordsleem Jr.

Recife, PE

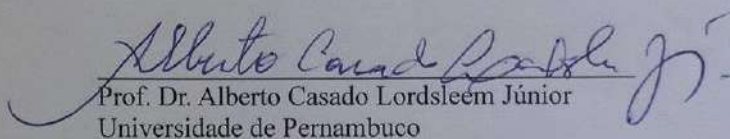
2017

FÁBIA KAMILLY GOMES DE ANDRADE

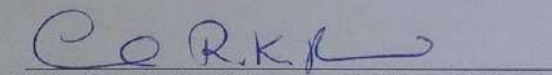
**ANÁLISE DO DESEMPENHO ACÚSTICO DAS VEDAÇÕES
VERTICAIS**

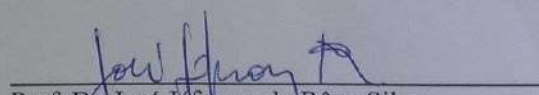
BANCA EXAMINADORA:

Orientador:


Prof. Dr. Alberto Casado Lordsleem Júnior
Universidade de Pernambuco

Examinadores:


Profa. Dra. Emilia Rahnemay Kohlman Rabbani
Universidade de Pernambuco


Prof. Dr. José Jefferson do Rêgo Silva
Universidade Federal de Pernambuco

Recife, PE
2017

AGRADECIMENTOS

Ao meu Deus, que me deu a saúde e a força ao longo deste trabalho.

A minha família, que se fez presente.

Ao meu orientador, prof. Dr. Alberto Casado, por todo apoio nesta desconhecida jornada.

Aos colegas de pesquisa – Matheus, Pedro e Victor - que me ajudaram a fazer “barulho” nas obras.

A Tecomat e ao Eng. Otávio Joaquim pelo treinamento oferecido.

A Facepe pelos recursos investidos.

As empresas construtoras e equipe envolvida, pelo interesse no conhecimento e motivação em tornarem o seu produto cada vez melhor.

“Se eu não fosse físico, seria provavelmente músico”

Albert Einstein

RESUMO

O desempenho em uso das edificações tem se tornado preocupação crescente das construtoras, tendo em vista as exigências dos usuários e a competitividade do mercado imobiliário; além da publicação da norma brasileira de desempenho. Como uma destas exigências, pode-se citar o isolamento sonoro das vedações verticais, que causam desconforto acústico quando deficiente. O presente trabalho objetivou avaliar a conformidade das vedações verticais internas e externas em relação aos critérios estabelecidos pela norma de desempenho e pelas principais referências internacionais. Além disso, analisou os resultados obtidos em relação as seguintes variáveis acústicas: o tipo de componente; a espessura total e do revestimento; a geometria do ambiente e as características das esquadrias. Para tanto, foram coletados dados em 15 edifícios de múltiplos pavimentos, que utilizaram os seguintes componentes: o tijolo cerâmico; o bloco cerâmico; o bloco de concreto e o bloco de gesso. Os resultados constataam que apenas 25% estão em conformidade com a NBR 15575 (ABNT, 2013) para as vedações verticais internas; enquanto, as vedações verticais externas apenas 10% estão conformes com o critério de classe de ruído II e nenhuma com o critério de classe de ruído III. Nenhuma vedação atendeu aos critérios internacionais de referência, já que se apresentam superiores à norma brasileira. Foi verificado também que o bloco de concreto pode apresentar melhores desempenhos nas vedações internas e externas; além de identificar as espessuras totais e de revestimento que corresponderam ao melhor desempenho acústico. A forma do ambiente também pode ter influenciado no desempenho, podendo aumentar ou não o número de reflexões nas superfícies do ambiente, dependendo de seu formato e tamanho. Verificou-se que as especificações das esquadrias representaram fator relevante, como: o tipo de abertura; o formato; as dimensões; a utilização de pré-moldados de ar condicionados; fachadas recuadas, contribuindo ou não para melhores desempenhos acústicos das vedações verticais. Como contribuição, espera-se que os resultados aqui obtidos subsidiem as especificações das variáveis de uma parede de vedação em relação à acústica desde a fase de concepção de projeto.

Palavras-chave: Vedação vertical. Desempenho. Isolamento acústico.

ABSTRACT

The performance in use of the buildings is growing concern of the builders, considering users demands, competitiveness and Brazilian performance standard publication. The sound insulation of walls partitions causes acoustic discomfort when deficient and it's a requirement of Brazilian standard. This study aimed to evaluate the acoustic conformity of internal and external walls partitions in relation to the Brazilian criteria and international criteria. Moreover, this study analyzed the relation between the results obtained and acoustic variables, for example: component type; total thickness and coating thickness; receiving room geometry and frames characteristics. For this, data were collected in 15 multi-floor buildings, which they used the following components: ceramic brick; ceramic block; concrete block and plaster block. The results show that only 25% of internal walls partitions and 10% of external walls partitions are according to Brazilian standard. No wall partitions comply with the international criteria, since it's more select. It was also verified that the concrete block can perform better in the internal and external walls and identified the total and coating thicknesses that corresponded to the best acoustic performance. The room form was also an important factor in the performance, increasing or not the reflections number on the surfaces of the environment, depending on its format and size. It was verified that the characteristics of the frames represented a relevant factor, for example: aperture type; format; dimensions; concrete precast, contributing or not to better acoustic performances of the vertical walls. As a contribution, it is expected that the results obtained will subsidize the specifications of the variables of a wall in relation to acoustic insulation from the design process.

Keywords: *Wall partition. Performance. Acoustic Insulation.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução histórica da acústica	22
Figura 2 - Infrassons, gama audível e ultrassons	25
Figura 3 - Intensidades sonoras percebidas pelo ouvido humano.....	26
Figura 4 - Som direto e refletido proveniente da fonte até o receptor.....	28
Figura 5 - Câmara reverberante.....	30
Figura 6- Coeficientes de absorção para diferentes materiais empregados nas vedações	32
Figura 7 - Evolução dos vedos em função da espessura	34
Figura 8 - Evolução dos vedos em função da densidade superficial	34
Figura 9 - Incidência sonora em obstáculo.....	36
Figura 10 - Regiões de comportamento da vedação no espectro de frequências	37
Figura 11 - Transmissão por flancos	39
Figura 12 - R_w para sistemas usuais de paredes	42
Figura 13- Redução Sonora (R) em dB para 5 tipos de vedações	43
Figura 14 - Blocos vazados de gesso (A), concreto (B) e cerâmico (D) e tijolo cerâmico de 8 furos (C)	62
Figura 15 - Pé direito duplo na Obra 11	65
Figura 16 - Muro de contenção na Obra 14.....	66
Figura 17 - Medidor de nível de pressão sonora e fonte de ruído	69
Figura 18 - Coleta do ruído de emissão.....	70
Figura 19 - Coleta do ruído de fundo e de recepção	71
Figura 20 - Coleta do tempo de reverberação.....	72
Figura 21 - Coleta do ruído de emissão para o ensaio na vedação externa.....	72
Figura 22 - Coleta dos ruídos de fundo e de recepção para o ensaio na vedação externa.....	73
Figura 23 - Coleta do ruído de emissão no ensaio da vedação externo no 1º pavimento	74
Figura 24 - Formatos das salas de emissão e recepção	95
Figura 25 - Tamanhos das salas de emissão e recepção	96
Figura 26 - Obra 1 e Obra 8 com formato em L, mas tamanhos distintos	98
Figura 27 - Formatos das salas de emissão e recepção	107
Figura 28 - Etiqueta com indicação da Classe de Transmissão Sonora.....	110
Figura 29 - Recuo da vedação E3 em relação a E2 na Obra 2 (Planta baixa)	111
Figura 30 - Recuo da vedação E3 em relação a E2 na Obra 2	112
Figura 31 - Esquadria fixa/de correr na medição E8 na Obra 5.....	112
Figura 32 - Pré-moldados de ar condicionados na fachada dos dormitórios.....	113
Figura 33 - Característica da esquadria EA10 da medição E11 da Obra 7	114

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Frequências relativas para a $D_{nt,w}$ das vedações internas	80
Gráfico 2 - Frequências relativas para a $D_{2m,nt,w}$ das vedações externas	84
Gráfico 3 - Valores mínimos de $D_{nt,w}$ em dB por tipo de componente.....	88
Gráfico 4 - Valores máximos de $D_{nt,w}$ em dB por tipo de componente.....	89
Gráfico 5 - Valores médios e medianos de $D_{nt,w}$ em dB por tipo de componente.	90
Gráfico 6 - Medianas de $D_{nt,w}$ em dB em função da espessura total para vedações internas em bloco cerâmico	91
Gráfico 7 - Medianas de $D_{nt,w}$ em dB em função da espessura total para vedações internas em tijolo cerâmico.....	92
Gráfico 8 - Medianas de $D_{nt,w}$ em dB em função da espessura total para vedações internas em bloco de concreto.....	93
Gráfico 9 - Medianas de $D_{nt,w}$ em dB em função da espessura total para vedações internas em bloco de gesso	94
Gráfico 12 - Valor mínimo de $D_{2m,nt,w}$ em dB por tipo de componente	101
Gráfico 13 - Valor máximo de $D_{2m,nt,w}$ em dB por tipo de componente	102
Gráfico 14 - Médias e medianas de $D_{2m,nt,w}$ em dB por tipo de componente	102
Gráfico 15 - Medianas de $D_{2m,nt,w}$ em dB em função da espessura total para vedações externas em bloco cerâmico	104
Gráfico 16 - Medianas de $D_{2m,nt,w}$ em dB em função da espessura total para vedações externas em tijolo cerâmico.....	105
Gráfico 17 - Medianas de $D_{nt,w}$ em dB em função da espessura total para vedações internas em bloco de concreto.....	106
Gráfico 18 - Desempenho $D_{2m,nt,w}$ e a relação (L_r) entre L1 e L2 dos dormitórios	109

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação das obras quanto ao formato.....	98
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais autores dos fundamentos da acústica de edifícios.....	23
Tabela 2 - Limites de ruído para o ser humano.....	44
Tabela 3 - Aplicação dos coeficientes de adaptação.....	52
Tabela 4 - Parâmetros acústicos conforme a norma ISO 717-1 (ISO, 2013)	52
Tabela 5 - Parâmetros acústicos, conforme as normas ASTM.....	53
Tabela 6 - Critérios de 10 países para o isolamento sonoro.....	54
Tabela 7 - Partes integrantes da norma de desempenho	56
Tabela 8 - Parâmetros acústicos	57
Tabela 9 - Critérios de desempenho acústico para as vedações internas.....	58
Tabela 10 - Critérios de desempenho acústico para as vedações externas.....	59
Tabela 11 - Caracterização dos empreendimentos monitorados	63
Tabela 12 - Representação das vedações por empreendimento	64
Tabela 13 - Caracterização do vedado.....	67
Tabela 14 - Partes integrantes do equipamento de medição e suas funções	68
Tabela 15 - Resultados de $D_{nt,w}$ em dB das vedações internas.....	77
Tabela 16 - Frequências absoluta, relativa e acumulada para cada valor de $D_{nt,w}$ obtido das vedações internas	79
Tabela 17 - Resumo dos resultados de $D_{nt,w} + C$ e $D_{nt,w} + C_{tr}$ em dB	80
Tabela 18 - Resultados de $D_{2m,nT,w}$ em dB das vedações externas.....	82
Tabela 19 - Frequências para cada valor de $D_{2m,nt,w}$ obtido das vedações externas	83
Tabela 20 - Resumo dos resultados de $D_{nt,w} + C$ e $D_{nt,w} + C_{tr}$ em dB	85
Tabela 21 - Tabela resumo com características das vedações verticais internas	86
Tabela 22 - Valor mínimo, máximo, média e mediana de $D_{nt,w}$ por tipo de componente de vedado.....	88
Tabela 23 - Formatos e tamanhos das salas de emissão e recepção por obra	97
Tabela 25 - Tabela resumo com características das variáveis das vedações verticais externas.....	99
Tabela 26 - Valor mínimo, máximo, média e mediana de $D_{2m,nt,w}$ por tipo de componente de vedado.....	101
Tabela 27 – Formato e tamanho dos dormitórios.....	108

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

$D_{nT,w}$ – *weighted standardized level difference* (Diferença padronizada de nível ponderada)

$D_{2m,nT,w}$ – *weighted standardized level difference at 2 m* (Diferença padronizada de nível ponderada a 2 metros de distância)

ISO – *International Organization for Standardization*

L_{Aeq} – Nível de pressão sonora equivalente ponderado em A.

L_r – Largura relativa

NBR – Norma Brasileira Registrada

NC – Nível de conforto

NCA – Nível de critério de avaliação

RMR – Região Metropolitana do Recife

R_w - *weighted sound reduction index* (índice de redução sonora ponderado)

T_r – Tempo de reverberação

T_{60} – Tempo de reverberação

LISTA DE SÍMBOLOS

cm – centímetro

dB – decibel

Hz – Hertz

kg/m² - quilograma-força por metro quadrado

m – metro

mm – milímetro

m/s – metro por segundo

m² - metro quadrado

μPa - micropascal

λ - comprimento de onda

α - coeficiente de absorção sonora

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
1.1 Justificativa	16
1.2 Objetivos	19
1.2.1 Objetivo geral	19
1.2.2 Objetivos específicos	19
1.3 Estruturação do trabalho	20
2. FUNDAMENTOS DA ACÚSTICA DAS CONSTRUÇÕES	22
2.1 Histórico	22
2.2 Os conceitos de som e ruído	24
2.3 Espectro de frequências	25
2.4 Nível de Intensidade Sonora (NIS)	26
2.5 A reverberação do som	27
2.6 O coeficiente de absorção	29
3. A ACÚSTICA DAS VEDAÇÕES VERTICAIS	33
3.1 A vedação vertical	33
3.2 Transmissão e isolamento	36
3.3 Características da vedação vertical e do entorno	39
3.4 Conforto acústico	44
3.5 Desempenho acústico	45
4. A NORMALIZAÇÃO	49
4.1 As referências internacionais	49
4.1.1 Os parâmetros acústicos	51
4.1.2 Os critérios de desempenho	54
4.2 A norma brasileira	55
4.2.1 Os parâmetros acústicos	57
4.2.2 Os critérios de desempenho	58
4.3 O método de avaliação	59
5. METODOLOGIA DA PESQUISA	61
5.1 Os objetos de estudo	61
5.1.1 Caracterização dos empreendimentos	61
5.1.2 Caracterização dos ensaios	64
5.1.3 Caracterização da vedação vertical	66
5.2 O equipamento de medição	68
5.3 O procedimento de ensaio	69
5.4 Compilação e análise de dados	74

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES	76
6.1 Quanto à conformidade acústica	76
6.1.1 Vedação vertical interna entre unidades autônomas	76
6.1.2 Vedação vertical externa de fachada	81
6.2 Quanto às características da vedação vertical e do entorno	85
6.2.1 Vedação vertical entre unidades autônomas	85
6.2.1.1 Tipo de componente	88
6.2.1.2 Espessuras totais e do revestimento	90
6.2.1.3 Forma do ambiente	95
6.2.2 Vedação vertical externa de fachada	98
6.2.2.1 Tipo de componente	101
6.2.2.2 Espessuras totais e do revestimento	103
6.2.2.3 Forma do ambiente	107
6.2.2.4 Esquadrias	109
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	115
8. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	118
REFERÊNCIAS	119
ANEXO A – Níveis de ruído em dB para os níveis de conforto acústico (NC)	131
ANEXO B – Plantas baixas dos pavimentos tipo com as vedações analisadas ...	132
APÊNDICE A – Espessuras totais, do componente e do revestimento para cada vedação vertical	147
APÊNDICE B – Caracterização das esquadrias	149
APÊNDICE C – Plantas baixas das salas de emissão e recepção	153
APÊNDICE D – Plantas baixas dos dormitórios	160

1. INTRODUÇÃO

1.1 Justificativa

A indústria da construção civil brasileira vivenciou um momento de acelerado crescimento nos últimos anos, tendo aumentado consideravelmente a produção de edifícios. Na mesma proporção, este crescimento ocasionou uma elevada insatisfação dos clientes em relação à qualidade dos imóveis e ao desempenho do edifício ao longo de sua vida útil, gerando danos à imagem das empresas construtoras (CAMPOS, 2011; PROCON, 2012; PINHO, 2013).

No Brasil, as inovações tecnológicas são em geral introduzidas no mercado sem a avaliação prévia do desempenho dos novos sistemas construtivos submetidos às condições de exposição (MESSIAS et al., 2012).

O desempenho é definido como o comportamento em uso da edificação e seus sistemas que, após a publicação da norma NBR 15575 (ABNT, 2013), estabeleceu requisitos qualitativos para o atendimento das exigências dos usuários através de critérios quantitativos dos subsistemas submetidos a um método de avaliação.

Entre os requisitos desta norma - dividida em 6 partes - está o desempenho acústico dos sistemas de vedações verticais internas e externas (SVVIE), presente na parte 4. Vale ressaltar que o desempenho não é sinônimo de conforto acústico, ou seja, atingir o desempenho acústico mínimo não implica dizer que este nível de conforto acústico foi alcançado (IKEDA; AQUILINO, 2012).

Ferreira Neto e Bertoli (2010) dizem que o conforto acústico está associado à percepção aceitável do ouvinte, os usuários, que o desejam encontrar dentro de suas moradias. O usuário não está interessado,

prioritariamente, na quantidade de isolamento, mas sim no nível de ruído resultante no seu interior.

O conforto acústico, portanto, é definido através dos níveis de ruído de conforto adotados pelas normas NBR 10151 (ABNT, 2000) e NBR 10152 (ABNT, 1987); enquanto o desempenho acústico é definido através de critérios de isolamento acústico estabelecidos pela norma NBR 15575-4 (ABNT, 2013).

O ruído de fundo e o isolamento sonoro são variáveis importantes para a avaliação da privacidade do discurso, importante exigência de alguns usuários de bancos, salas de reuniões em escritórios, hospitais ou mesmo de residências. Estas variáveis podem ser controladas na concepção acústica de salas (SATO et al., 2012).

Esta preocupação em relação ao desempenho acústico das construções é crescente, tendo em vista as inúmeras fontes sonoras e construções mais densas, o que resultam na necessidade de controle do ruído. O ruído é considerado como uma forma de poluição ambiental e se tornou uma questão pública e sujeita à legislação (NZCMA, 2013).

O artigo 3º da Lei Federal nº 6.938, 1981 (BRASIL, 1981) define a poluição, incluindo a sonora, como a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população ou lancem energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos.

A Associação Brasileira para Qualidade em Acústica – ProAcústica (2014) ratifica que no ambiente urbano há um conjunto de ruídos provenientes de inúmeras fontes sonoras que causam o que vem sendo definido como poluição sonora.

Esta pode causar irritação, alterações no sono, doenças cardiovasculares, perda do desempenho cognitivo em crianças; além da perda da audição. Cerca de 56 milhões de pessoas – aproximadamente 54% - da população que vive em cidades até 250.000 habitantes estão expostas ao ruído ambiental aéreo superior a 55 dB (JARDIM, 2014; BASNER et al., 2014).

Os resultados de uma abordagem míope estão presentes nas construções, dentre as quais é possível destacar o ruído e o seu poder de interferir no meio ambiente e na saúde e qualidade de vida da população (AZKORRA et al., 2015; SURIANO; SOUZA; SILVA, 2015).

Suriano, Souza e Silva (2015) complementam dizendo que os centros urbanos estão num processo acelerado de desenvolvimento, tanto do ponto de vista econômico como social. Atrelados a este desenvolvimento, surgem os problemas e os impactos dos mais diversos tipos que afetam a integridade ambiental.

O adensamento urbano e a verticalização das construções contribuíram, portanto, para que os sistemas de pisos e de paredes se tornassem relevantes para o conforto acústico (NUNES, ZINI, PAGNUSSAT, 2014). Suriano, Souza e Silva (2015) afirmam ainda que ambientes que excedem os níveis de ruído determinados pela legislação vigente requerem o monitoramento para serem alcançadas soluções de controle e atenuação acústica.

Van Renterghen et al. (2015) consideram que o isolamento de fachada de boa qualidade pode reduzir suficientemente o ruído externo. Por isso, deve-se abordar tanto as emissões de ruído externo, bem como alcançar a redução na propagação. Ambas as abordagens de engenharia no controle do ruído são tradicionais e inovadoras, devendo ser contempladas.

No entanto, há necessidade da obra, seus elementos e subsistemas serem submetidos aos ensaios de campo, tendo em vista que uma tecnologia

construtiva pode apresentar bom potencial para atender às exigências de desempenho, porém, se mal executada pode não apresentar o comportamento previsto em projeto. A verificação da conformidade do desempenho acústico dos novos empreendimentos estabelecido na norma de desempenho permite identificar medidas de melhoria deste desempenho em futuros lançamentos (OLIVEIRA; MITIDIERI FILHO, 2012; PENEDO; OITICICA, 2015).

Dentro deste contexto, o presente trabalho busca avaliar a conformidade acústica em campo das vedações verticais em relação à norma NBR 15575-4 (ABNT, 2013); além de analisar a contribuição das principais características do subsistema vedação vertical nos resultados obtidos. A amostra contempla 15 edifícios residenciais de múltiplos pavimentos, localizados na Região Metropolitana do Recife (RMR), cujos vedos correspondem aos seguintes elementos constituintes: tijolo cerâmico, bloco cerâmico, bloco de concreto e bloco de gesso.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Este trabalho apresenta uma pesquisa experimental de múltiplos casos, na qual se busca avaliar a conformidade acústica das vedações verticais com a norma de desempenho, bem como analisar a relação deste desempenho com as seguintes características da vedação: especificações de bloco e revestimentos; a forma do ambiente e especificações das esquadrias.

1.2.2 Objetivos específicos

Para a efetiva consecução do objetivo geral é necessário cumprir os seguintes objetivos específicos:

- Realizar o planejamento da avaliação experimental em edifícios residenciais, através da seleção das edificações, da escolha dos pavimentos a serem avaliados e demarcação dos pontos de medição, de acordo com as orientações das normas utilizadas como referência;
- Realizar a avaliação preliminar em campo através de acompanhamento piloto em 1 edifício, perfazendo o ajuste e a adequação do método de ensaio;
- Realizar demais coletas de campo em edificações de múltiplos pavimentos, que contemplem as paredes de vedação alvo da pesquisa constituídas por blocos de gesso, cerâmicos, de concreto executados com furos na vertical e tijolos cerâmicos executados com furos na horizontal;
- Compilar os dados e analisar os resultados, comparando aos níveis de desempenho estabelecidos na norma brasileira NBR 15575-4 (ABNT, 2013) e demais referências internacionais;
- Realizar a análise dos resultados em relação as principais características da vedação, entre as quais: especificações do bloco e revestimento; geometria do ambiente e características das esquadrias.

1.3 Estruturação do trabalho

O trabalho é composto por 7 capítulos, sendo o primeiro destinado à introdução, apresentando a justificativa para o desenvolvimento do trabalho, a contextualização e os objetivos.

Os Capítulos 2, 3 e 4 compreendem a revisão bibliográfica, sendo o Capítulo 2 destinado à apresentação de conceitos que fundamentam a acústica das construções; enquanto o Capítulo 3, destina-se a apresentar conceitos relevantes para a compreensão da acústica das vedações verticais. Por fim, o Capítulo 4 aborda as referências existentes, internacional e brasileira, que tratam da normalização do desempenho acústico das vedações verticais.

O Capítulo 5 apresenta a metodologia utilizada na pesquisa, caracterizando os objetos de estudo, bem como a apresentação do procedimento de ensaio, a compilação dos dados e a análise dos resultados.

O Capítulo 6 compreende a apresentação dos resultados obtidos de desempenho acústico e a análise em relação à conformidade acústica e as principais características da vedação.

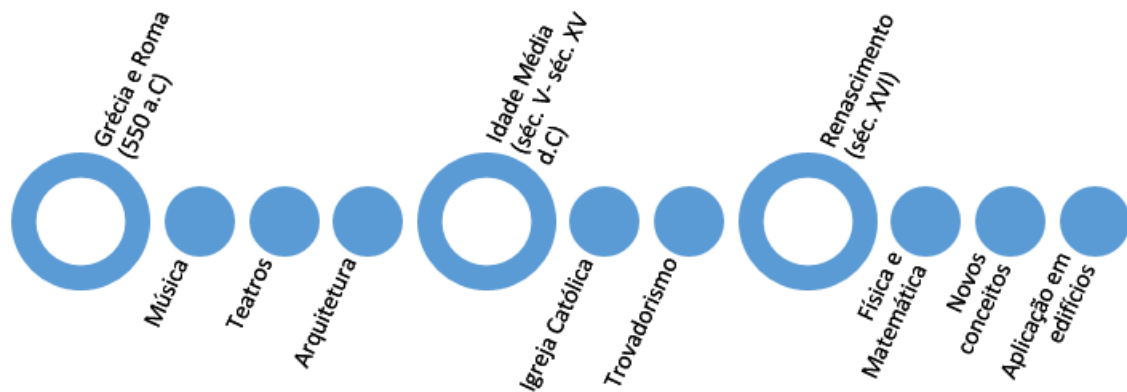
O Capítulo 7 resume os resultados obtidos, destacando as principais contribuições da presente pesquisa para os ambientes acadêmico e profissional.

2. FUNDAMENTOS DA ACÚSTICA DAS CONSTRUÇÕES

2.1 Histórico

A ciência do som tem início na Grécia Antiga em 500 a.C através de estudos associados à música e construções representadas pelos teatros ao ar livre, conforme apresenta a evolução histórica na Figura 1 (BERSAN, 2008a; GRILLO et al., 2012).

Figura 1 - Evolução histórica da acústica



Fonte: A autora

Nos teatros gregos e romanos, a acústica se voltava à arquitetura de tal forma que esta fosse propícia a propagação do som, como por exemplo: a plateia escalonada em degraus com inclinações de 25° a 30° para diminuir a distância entre a fonte e o ouvinte; o uso de paredes refletoras atrás do palco para aproveitar o som dissipado; assentos de pedra calcária para destacar os sons agudos; entre outras características (BERSAN, 2008a; SRESNEWSKY, 2016).

Posteriormente, com a queda do Império Romano e o crescimento do cristianismo por volta do século V, conforme apresenta a Figura 1, a acústica se limitou a arquitetura das catedrais da Igreja Católica, limitando os estudos relacionados ao som durante a Idade Média (BERSAN, 2008a; GRILLO et al., 2012).

O Renascimento a partir do século XVI foi o marco para o início dos estudos da acústica associados à matemática e a física, dos quais se destacam nomes que contribuíram para a acústica dos dias atuais, sendo apresentados na Tabela 1 (BERSAN, 2008a; MARTINS, 2008; GRILLO et al., 2012).

Tabela 1 - Principais autores dos fundamentos da acústica de edifícios

Físico/Matemático	Período	Contribuição
Galileu Galilei	1564 – 1642	Verificou que a sensação de altura musical se relacionava diretamente à frequência de vibração.
Marin Mersenne	1588 – 1648	Estudou medidas da velocidade de propagação do som no ar e explicou os fenômenos do eco e da ressonância.
Pierre Gassendi	1582 – 1655	Afirmou que o som se propagava por emissão de pequenas partículas invisíveis, átomos, a partir de uma superfície vibratória.
Robert Boyle Robert Hooke	1626-1691 1635-1703	Verificaram que o ar é necessário para a produção e transmissão do som.
Isaac Newton	1643 – 1727	Introduziu a teoria matemática da propagação do som, incluindo uma interpretação mecânica do som.
Jean Baptiste Biot	1774-1862	Realizou as primeiras experiências para determinar a velocidade de propagação do som num sólido.
Hermann von Helmoltz	1821 – 1894	Fez importantes contribuições na acústica, estudando a vibração de colunas de ar e frequências de ressonância de cavidades
John William Rayleigh	1842-1919	Abordou temas como a vibração, ressonância e propagação de ondas sonoras em materiais, introduzindo o conceito de impedância acústica e o limite de audição.
Wallace Clement Sabine	1868-1919	Publicou uma série de estudos sobre o tempo de reverberação em salas, dando assim origem à acústica arquitetônica.
Alexander Graham Bell	1847-1922	Foi homenageado quando a unidade de transmissão em telefonia passou a ser medida em bel, cujo símbolo é o decibel (dB).
Harvey Fletcher	1884 – 1990	Verificou que 1 dB era a mínima variação da potência sonora detectável pelo sistema auditivo
H. J. Sabine / C. M. Harris / M. Barron / L. Beranek	A partir de 1930	Introduziram os princípios de controle do ruído na concepção de edifícios

Fonte: Adaptado de Barron (2003); Raichel (2006); Martins (2008); Donoso (2012a; 2012b); Grillo et al. (2012)

A seguir, são apresentados os conceitos de som e ruído, bem como as diferentes classificações para este último, a fim de melhor caracterizá-lo e ter subsídios para o controle.

2.2 Os conceitos de som e ruído

A norma NBR 12179 (ABNT, 1992) conceitua o som como uma vibração ou onda mecânica capaz de produzir no homem uma sensação auditiva e que se propaga num meio. Já o ruído é conceituado como uma mistura de sons indesejáveis.

Para alguns autores, a diferença entre o som e o ruído é considerada subjetiva, pois o som é associado as sensações agradáveis (música, por exemplo) e o ruído associado às sensações desagradáveis. Embora, ambos os conceitos estejam relacionados a qualquer variação de pressão (MATEUS, 2008; BRESSANE; SILVA; MAURÍCIO, 2010).

A norma NBR 10151 (ABNT, 2000) classifica o ruído em ruídos do ambiente e com caráter impulsivo.

O ruído do ambiente ou aéreo é transmitido através do ar por sucessivas ondas de pressão geradas pela fala ou autofalantes. Já o ruído com caráter impulsivo ou de impacto é transmitido através das estruturas pelo contato intermitente de sólidos (TUTIKIAN et al., 2012; NUNES; ZINI; PAGNUSSAT, 2014). Ambos compreendem os tipos existentes em edifícios.

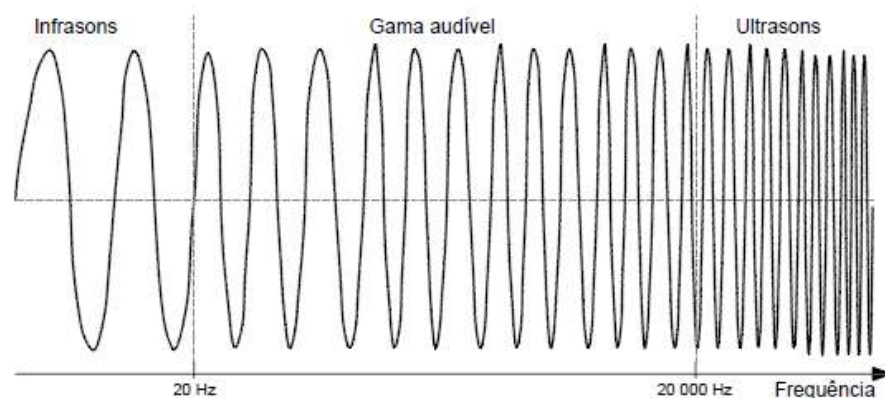
Os ruídos podem ainda ser classificados quanto à densidade espectral de potência que se refere à distribuição de energia no espectro de frequência, explicado a seguir, sendo os mais empregados para equipamentos acústicos o ruído branco e rosa (NOCETI FILHO, 2002a).

O ruído branco emprega uma energia sonora constante para todas as frequências; enquanto, o ruído rosa decresce a energia com o aumento da frequência (NOCETI FILHO, 2002a).

2.3 Espectro de frequências

O espectro ou faixa de frequências, também denominado de gama audível, corresponde às variações de frequências perceptíveis ao ouvido humano, compreendida entre 20 Hz a 20 kHz. Os sons com frequência inferior a 20 Hz são denominados infrassons e os superiores a 20 kHz denomina-se ultrassons, conforme apresenta a Figura 2 (FRIEDRICH, 2010; SILVA JR., 2014).

Figura 2 - Infrassons, gama audível e ultrassons



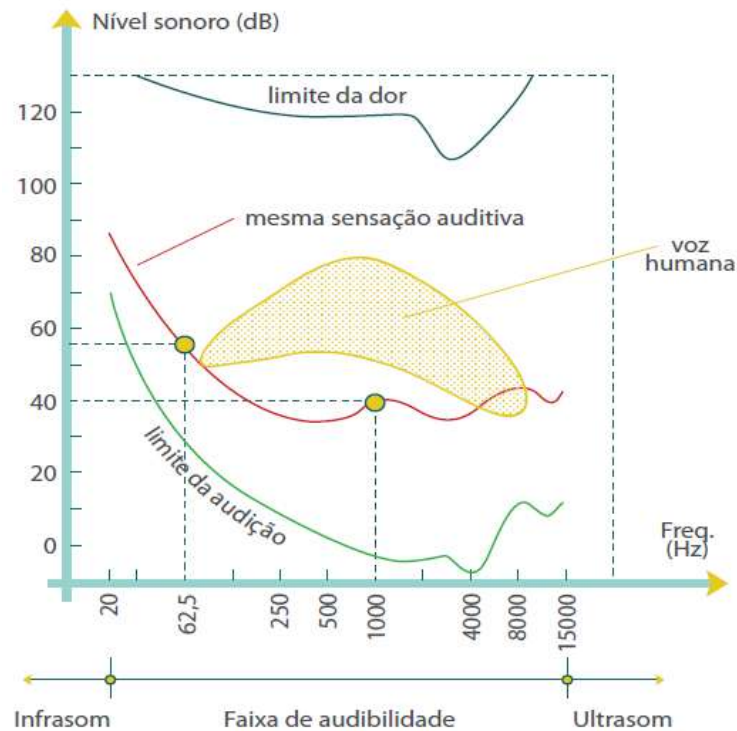
Fonte: Mateus (2008)

Os sons ainda podem ser graves, médios e agudos, dependendo da frequência característica na gama audível. Em geral, os sons graves apresentam baixas frequências, sendo inferiores a 200 Hz; os sons médios estão compreendidos entre 200 Hz e 2 kHz; e os agudos têm frequências superiores a 2 kHz (SILVA JR., 2014).

Torija e Flindell (2014) confirmam que o ouvido humano é menos sensível aos sons graves – de baixa frequência – do que os sons médios e agudos – médias e altas frequências.

Note que, na Figura 3, para que sons com 62,7 Hz e 1000 Hz sejam igualmente percebidos, necessita-se aumentar o nível sonoro no som de baixa frequência.

Figura 3 - Intensidades sonoras percebidas pelo ouvido humano



Fonte: Guia CBIC (2013)

Assim, para que as baixas frequências sejam igualmente percebidas pelo ouvido humano, necessitam-se de maiores níveis de intensidade sonora que são medidos em decibéis (dB) (JEWETT JR.; SERWAY, 2012). Conceito este explicado a seguir.

2.4 Nível de Intensidade Sonora (NIS)

As normas NBR 10152 (ABNT, 1987) e NBR 12179 (ABNT, 1992) definem o Nível de Intensidade Sonora (NIS) ou Pressão Sonora (NPS) a partir da relação entre a pressão sonora a se medir em relação à pressão sonora de referência, cuja metodologia de cálculo encontra-se na NBR 10151 (ABNT, 2000).

A média temporal do NIS é denominada como o nível de pressão sonora equivalente em “A” (L_{Aeq}), sendo o parâmetro acústico para a medição dos níveis de ruído aéreo (RABELO et al., 2014).

Giannini et al. (2011) dizem que o L_{Aeq} é o nível do ruído contínuo (fixo) ao qual as pessoas estão sujeitas devido aos diversos tipos de ruído a que estão expostos – de tráfego, comunicação, entre outros -, sendo equivalente ao ruído original que é variável.

Quando o L_{Aeq} é medido no local e horário de estudo na ausência do ruído gerado pela fonte sonora do ensaio, denomina-se ruído de fundo ambiental, segundo a NBR 10151 (ABNT, 2000).

A norma ISO 16283-1 (ISO, 2014) também conceitua o ruído de fundo através do nível de pressão sonora no ambiente de recepção para todas as fontes, exceto de alto falantes.

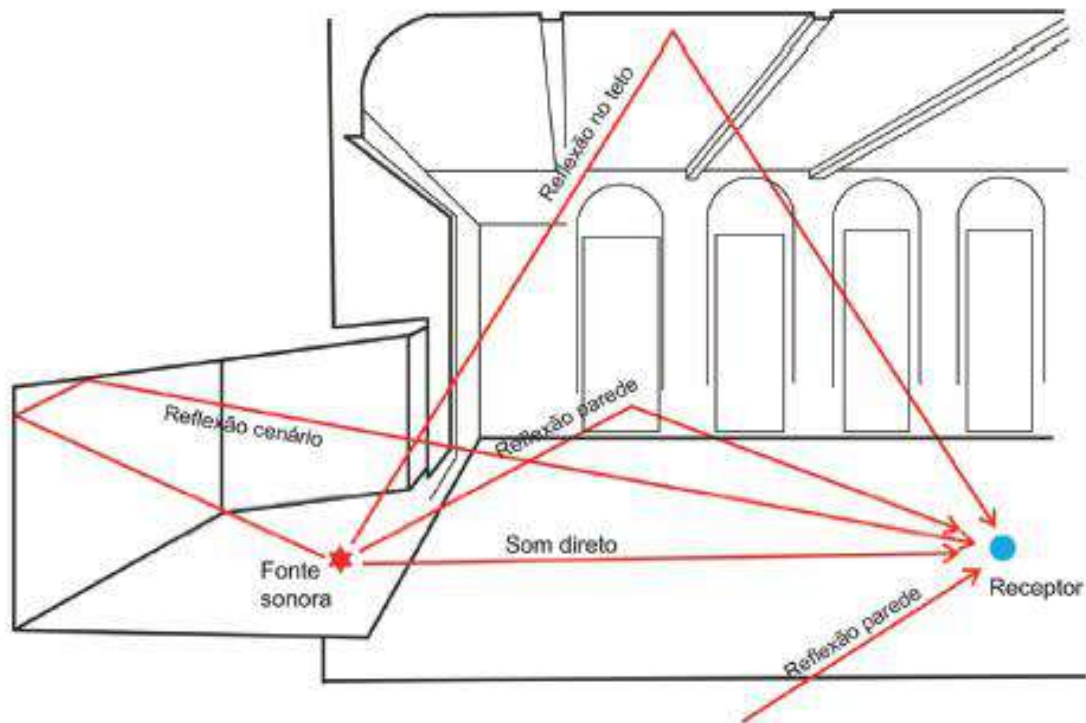
Esta mesma norma especifica que, durante a medição do desempenho acústico, o ruído de fundo deverá ser pelo menos 6 dB (ou preferencialmente 10 dB) abaixo do ruído da fonte e do ruído de fundo combinados, considerando todas as frequências avaliadas. Caso a diferença esteja abaixo de 10 dB, deve-se aplicar a correção no ajuste do sinal.

A medição do desempenho acústico das construções fundamenta-se, sobretudo, nos fenômenos que ocorrem durante a propagação do som em recintos fechados, entre eles, a reverberação.

2.5 A reverberação do som

A Figura 4 mostra que o receptor pode receber o som direto da fonte sonora e/ou através de raios refletidos, dependendo principalmente da geometria do ambiente.

Figura 4 - Som direto e refletido proveniente da fonte até o receptor



Fonte: Simões (2011)

Quando há uma sucessão de reflexões nas paredes, piso e teto, provocando a persistência do som após o término de emissão da fonte, ocorre o fenômeno da reverberação (DUDLEY, 1998).

A norma NBR 11957 (ABNT, 1988) define o tempo de reverberação (TR) como “o tempo necessário para que o nível de pressão sonora caia de 60 dB depois que a fonte cessou”.

Este tempo é o maior responsável pela boa ou má acústica de um ambiente, pois quanto mais elevados, maiores os prejuízos na compreensão da fala ou inteligibilidade da fala (BERSAN, 2008b; GROTTA, 2009; ARAÚJO et al., 2016).

A inteligibilidade de fala é a capacidade de reconhecimento pelo ouvinte do sinal acústico emitido pelo orador, sendo expressa em termos de porcentagem e, quanto maior o índice, maior é a compreensão do sinal

acústico. Valores próximos de 100% são desejados para possibilitar melhores condições de ensino-aprendizagem (RABELO et al., 2014).

Fauro et al. (2011) dizem que cada ambiente possui um tempo ótimo de reverberação, que varia conforme o uso e o volume do ambiente. Reverberações em tempos longos em relação ao tempo ótimo geram a sobreposição de sons, enquanto os curtos tendem ao desaparecimento do som.

O tempo de reverberação - denominado por T_{60} - depende também dos coeficientes de absorção sonora dos diversos materiais empregados e das áreas das paredes, conforme a NBR 12179 (ABNT, 1992).

Ribas et al. (2013) avaliaram os tempos de reverberação de alguns fechamentos industrializados – placa cimentícia (PLC); gesso acartonado (GEA); pré-moldado de concreto (PMC); concreto celular autoclavado (CCA); poliestireno expandido (EPS) - e concluíram que nenhum dos materiais analisados foram satisfatórios, pois apresentaram valores considerados elevados acima de 0,5 s. No geral, o uso de lã de vidro na cavidade de ar provocou um pequeno aumento – cerca de 0,02 s – no tempo de reverberação.

Simões (2011) ratifica que em ambientes com reverberação excessiva, deve-se fazer uso de materiais absorventes, porosos e elásticos, que impeçam a reflexão sonora, sendo identificados pelo seu coeficiente de absorção.

2.6 O coeficiente de absorção

Azkorra et al. (2015) definem o coeficiente de absorção sonora de um material ou elemento de construção como sendo a proporção de energia sonora que é absorvida pelo material a partir de um som incidente. Esta

capacidade de absorção (α) varia com a frequência, mas pode ser expressa como um único índice global (α_w).

Este coeficiente será uma quantidade entre 0, nenhuma absorção, e 1, absorção total, sendo obtido na norma NBR 12179 (ABNT, 1992) para diversos materiais na frequência de 500 Hz.

Há dois métodos para a medição do coeficiente de absorção sonora: a câmara reverberante, conforme a norma EN ISO 354 (ISO, 2003); e o tubo de impedância, conforme a norma EN ISO 10534-2 (ISO, 2001). Nas câmaras reverberantes - o método mais usual - as superfícies são construídas de tal forma a maximizar o som refletido, conforme apresenta a Figura 5.

Figura 5 - Câmara reverberante



Fonte: Azkorra et al. (2015)

A relevância dos coeficientes de absorção sonora dos diversos materiais está associada a estratégia de conseguir limitar as reverberações no interior de espaços fechados, a partir da utilização de materiais e sistemas

absorventes sonoros como soluções de revestimento de algumas superfícies interiores (PATRAQUIM; GODINHO; AMADO MENDES, 2012).

Ribas et al. (2013) compararam 5 sistemas de fechamentos verticais industrializados multicamadas com ou sem material absorvente (lã de vidro) na cavidade de ar, sendo eles: placa cimentícia (PLC); gesso acartonado (GEA); pré-moldado de concreto (PMC); concreto celular autoclavado (CCA); poliestireno expandido (EPS). Concluíram que os fechamentos em concreto celular autoclavado (CCA) apresentam maior coeficiente de absorção sonora para a frequência analisada de 1000 Hz.

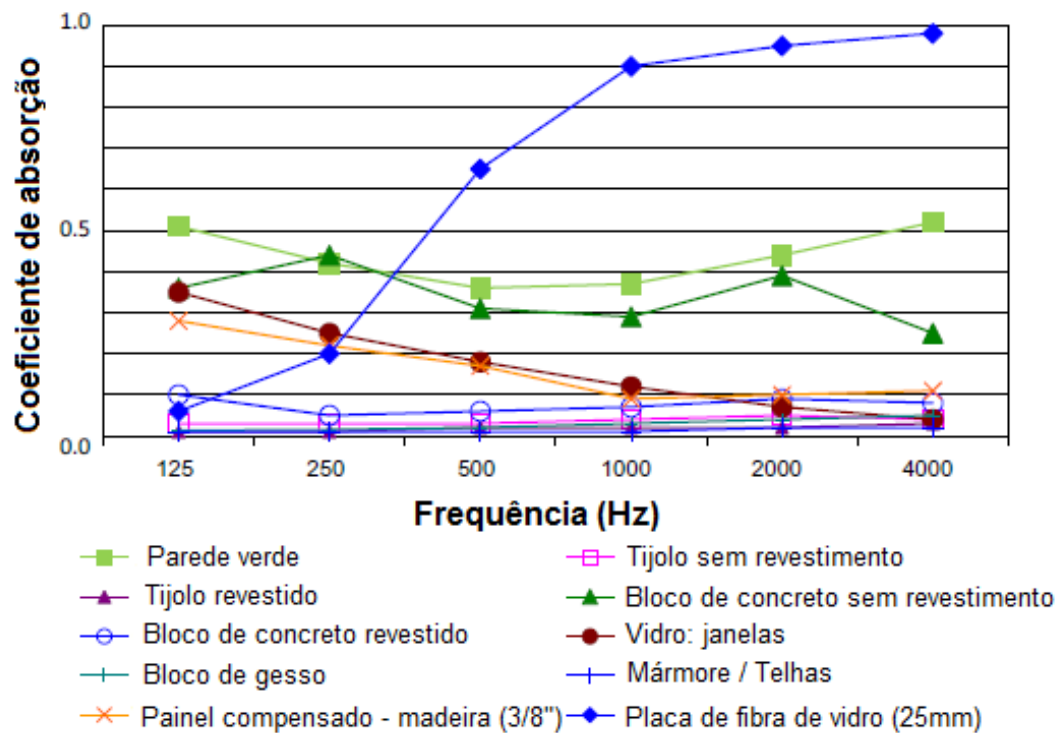
Já Goés et al. (2014) compararam 3 materiais absorventes tradicionais (lã de vidro, manta de polipropileno e espuma de poliuretano) em sistemas de enclausuramento de grupos geradores para 2 situações possíveis (com e sem painel perfurado) numa câmara reverberante.

Os autores concluíram que os materiais fibrosos – lã de vidro e manta de polipropileno – apresentam maior coeficiente de absorção em todas as frequências em comparação com o material poroso – a espuma de poliuretano; além do aumento nos coeficientes dos materiais poliméricos nas frequências até 500 Hz com a inserção dos painéis perfurados.

Araújo et al. (2016) avaliaram a inserção de fibras de celulose, que é resíduo da produção da madeira, em compósito de gesso para produção de placas através de ensaio do tubo de impedância, concluindo que o coeficiente de absorção sonora obtido foi de 0,99, o que potencializa a utilização deste produto.

Azkorra et al. (2015) também compararam os coeficientes de absorção medidos em laboratório, comprovando o potencial de paredes verdes (jardins verticais) na atenuação do ruído. A Figura 6 apresenta os coeficientes de absorção obtidos para os diferentes materiais empregados nas vedações,

Figura 6- Coeficientes de absorção para diferentes materiais empregados nas vedações



Fonte: Adaptado de Azkorra et al. (2015)

A Figura 6 também indica que bloco de concreto revestido, bloco de gesso e tijolo revestido apresentam coeficientes de absorção baixos e próximos entre si; enquanto, as paredes verdes, painel compensado de madeira, a placa de fibra de vidro e o vidro das janelas possuem coeficientes de absorção sonora superiores.

Percebe-se que a vedação vertical e suas características são essenciais para a acústica de um ambiente, bem como os mecanismos de transmissão do som através das partições, que são discutidos no próximo capítulo.

3. A ACÚSTICA DAS VEDAÇÕES VERTICAIS

3.1 A vedação vertical

A vedação vertical é definida como sendo um subsistema do edifício constituído por elementos que compartimentam e definem os ambientes internos, controlando a ação de agentes indesejáveis, entre eles: o ruído (LORDSLEEM JR., 2012).

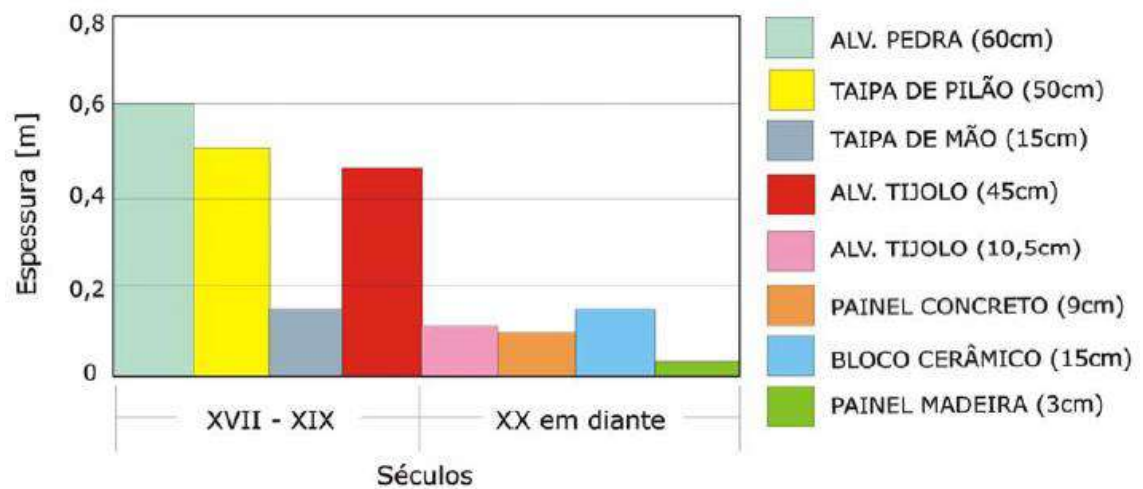
Além disso, a vedação vertical exerce influência satisfatória no comportamento do edifício em uso, destacando a importância da especificação, constituição e montagem nos níveis de desempenho acústico no ambiente construído (OLIVEIRA, MITIDIERI FILHO, 2012; RIBAS et al., 2013).

Silva Jr. e Silva (2014) afirmam que os fechamentos externos são responsáveis por garantir o desempenho acústico quanto aos ruídos produzidos no exterior da edificação. Já as vedações verticais internas devem garantir o conforto acústico no interior de um determinado apartamento, quanto ao ruído produzido em áreas comuns ou apartamentos adjacentes.

Fazem parte das vedações verticais: o vedo, os revestimentos e as esquadrias, sendo crescente o número de inovações tecnológicas empregadas nesse subsistema (LORDSLEEM JR., 2012; OLIVEIRA, MITIDIERI FILHO, 2012).

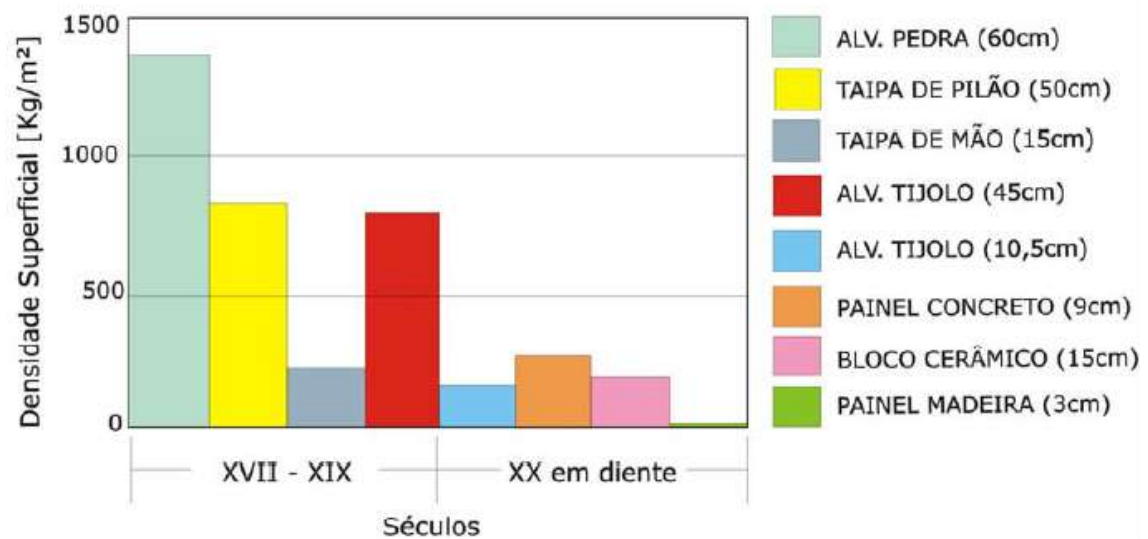
Em relação aos vedos, as Figuras 7 e 8 apresentam a evolução dos diferentes tipos de vedo com suas espessuras e densidades superficiais características, sendo fácil perceber que a tendência é reduzir cada vez estas características a fim de obter maiores espaços internos e de facilitar a construção.

Figura 7 - Evolução dos vedos em função da espessura



Fonte: Duarte (2005)

Figura 8 - Evolução dos vedos em função da densidade superficial



Fonte: Duarte (2005)

No entanto, verifica-se na Figura 7, o aumento da espessura entre a alvenaria em tijolo com 10,5 cm e a alvenaria em bloco cerâmico com espessura de 15 cm provavelmente devido a mudança da alvenaria tradicional para a alvenaria racionalizada; além da qualidade superior do bloco.

Os blocos cerâmicos e de concreto constituem elementos das paredes de alvenaria tradicionalmente empregadas no Brasil, possuindo resultados de isolamento sonora medidos em laboratório conhecidos e divulgados na construção civil. No entanto, elementos construtivos como, por exemplo, paredes em blocos de gesso, são escassos os dados relativos ao desempenho acústico em laboratório e em campo (LORDSLEEM JR., 2012; SILVA JR.; SILVA; PINHEIRO, 2015).

Sabe-se que os blocos de concreto e cerâmicos são comercializados em função da modulação e da família, exigidas em projeto. As modulações usualmente encontradas no mercado são de 10 cm, 15 cm e 20 cm; enquanto, as famílias são de 39 cm e de 29 cm, segundo as normas NBR 6136 (ABNT, 2006) e NBR 15270-1 (ABNT, 2005).

Entre os blocos cerâmicos, convencionou-se como tijolo cerâmico o que apresenta furos especificamente na horizontal; sendo comumente utilizado em alvenarias de vedação (FERREIRA NETO; BERTOLI, 2010).

Já os blocos de gesso comercializados no país apresentam dimensões de 50 cm, 66,7 cm e espessuras variáveis de 7 cm e 10 cm, possuindo encaixes do tipo macho-fêmea e unidos por uma fina camada de gesso cola (PIRES SOBRINHO, 2011).

No nordeste brasileiro, as vedações executadas em blocos de gesso são também encontradas, dada a maior velocidade de execução e menor espessura de acabamento (SILVA JR.; SILVA; PINHEIRO, 2015).

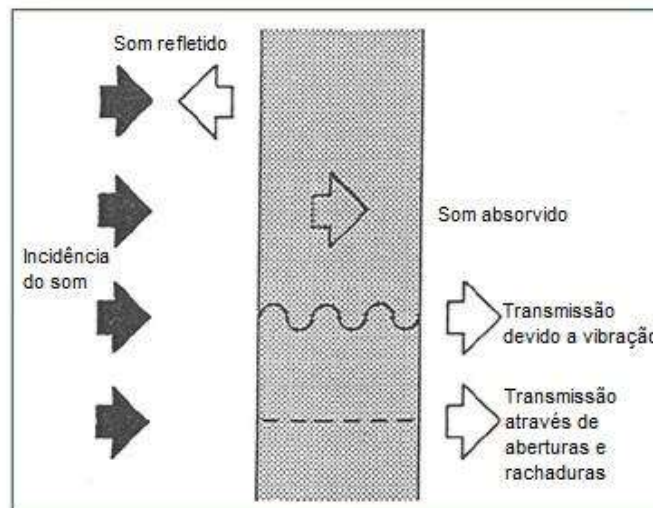
As paredes em gesso acartonado – drywall – ainda é considerado um sistema inovador no Brasil, apesar de já dispor de normas técnicas, e emprega placas produzidas com núcleo de gesso natural revestidas com cartão duplex (BARROS; GONZALES; NASCIMENTO, 2014).

As formas de transmissão do ruído através destas vedações são apresentadas a seguir, bem como as leis de atenuação sonora, conferindo maior isolamento.

3.2 Transmissão e isolamento

A transmissão de uma onda sonora pelo ar que incide sobre uma parede é apresentada na Figura 9. Uma parte do som é refletida e outra é transmitida a parede. A energia incidente faz com que a parede entre em vibração, provocando a perda de parte desta energia através de calor e a transmissão de outra parte ao outro lado da parede (SIMÕES, 2011).

Figura 9 - Incidência sonora em obstáculo



Fonte: Adaptado de NZCMA (2013)

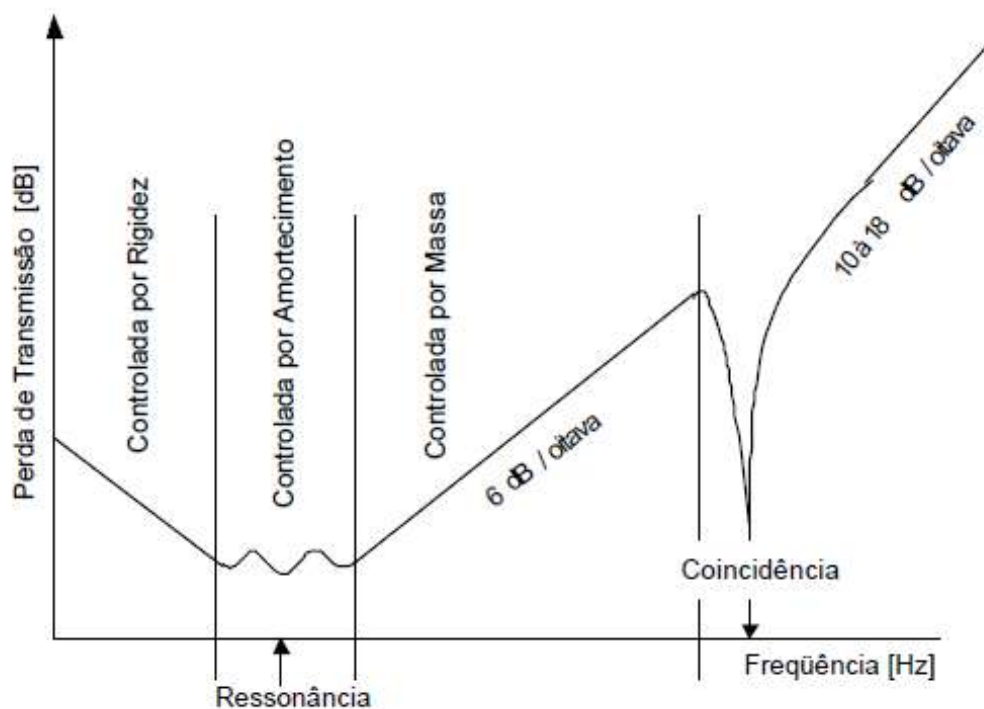
A existência de aberturas, pequenos furos, vazios, rachaduras e articulações permitem que parte desta energia seja transmitida através de vibrações na parede e, posteriormente, propagam novamente as ondas sonoras no lado oposto, mas com menor resistência devido a energia dissipada durante a transmissão através do obstáculo (NZCMA, 2013).

A parede de separação de dois recintos sob a ação de uma onda sonora é levada, portanto, a um estado vibratório. Esta vibração diminui o isolamento acústico da parede, principalmente quando existe similaridade (proximidade) dos valores de velocidade do som no ar e das ondas livres

de flexão da parede, chamada de condição de coincidência (PAIXÃO, 2002).

Paixão e Gerges (2004) observaram diversas regiões no espectro de frequências, cujas propriedades variam e provocam diferentes comportamentos da vedação na perda da transmissão sonora em dB, inclusive esta condição de coincidência, conforme mostra a Figura 10.

Figura 10 - Regiões de comportamento da vedação no espectro de frequências



Fonte: Paixão e Gerges (2004)

Quando a frequência observada se encontra entre a frequência de ressonância e a frequência de coincidência, a rigidez e os amortecimentos são ignorados. Portanto, a atenuação sonora obedece a lei da massa, aumentando 6 dB quando a frequência é dobrada (PAIXÃO, 2002).

A lei da massa é caracterizada pela influência direta da densidade superficial (massa por unidade de área) no isolamento sonoro. Cada vez que se duplica a massa de uma parede, o isolamento acústico aumenta

entre 4 a 5 dB, sendo comum nas vedações tradicionais de alvenaria em blocos de concreto ou cerâmico (SIMÕES, 2011; SILVA JR., 2014).

Paixão (2002) também afirma que quando a frequência observada se encontra em ressonância ou é igual à frequência crítica, presente na região de coincidência, o isolamento acústico é controlado pelo amortecimento.

Jewett Jr. e Serway (2012) definem o movimento amortecido como aqueles sistemas reais, cujas forças não conservativas – como atrito e resistência do ar – retardam o movimento. Por consequência, a energia mecânica do sistema diminui com o tempo.

O efeito massa/mola/massa, presente em sistemas de vedação como o *drywall*, dificulta a transmissão do som através da descontinuidade e diferença de elasticidade de material de enchimento, sendo mais leves que as vedações tradicionais (SIMÕES, 2011; SILVA JR., 2014).

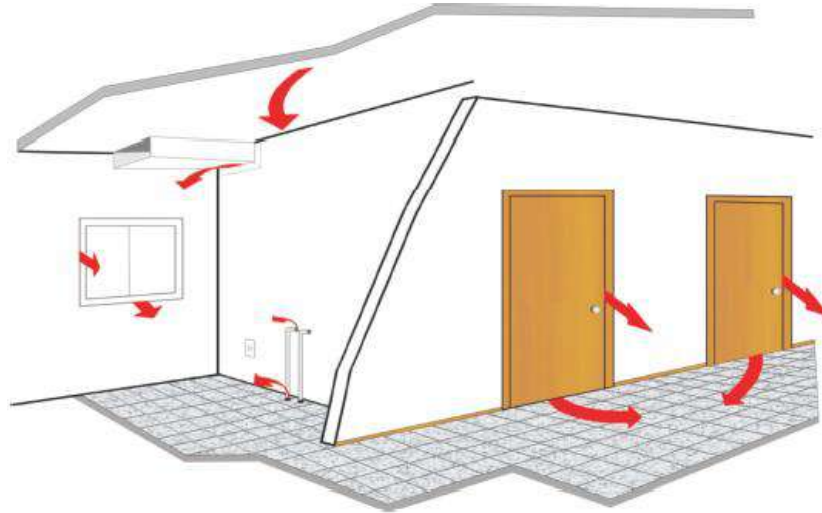
Santos Neto et al. (2014) e Bertolini et al. (2016) complementam que devido à sua estrutura porosa e/ou fibrosa, os materiais absorventes são ótimos redutores de energia sonora, onde parte é transformada em energia térmica pelo atrito ocasionado pela viscosidade do ar.

Araújo et al. (2016) dizem que a onda sonora entra pelos poros absorvedores e faz com que o ar nos vácuos do material vibre para frente e para trás, gerando atrito entre as partículas de ar e as paredes, que converte a energia vibracional em calor. Para que ocorra o atrito é necessário que os espaços vazios do material sejam interconectados e contínuos, de modo que o ar possa se mover para frente e para trás no interior do material.

Além da transmissão direta do ruído pelas paredes e tetos, a transmissão também pode se dar por pequenas frestas em esquadrias, divisórias (pisos

elevados e forros rebaixados) e instalações (Dutos de ar condicionado ou ventilação), apresentada na Figura 11 e denominada por transmissão por flancos (SIMÕES, 2011).

Figura 11 - Transmissão por flancos



Fonte: Simões (2011)

Silva Jr. (2014) ressalta que nos ensaios realizados em laboratório é eliminada esta transmissão marginal ou por flancos, uma vez que as câmaras de emissão e recepção estão totalmente isoladas uma da outra, e ambas isoladas do elemento avaliado.

Portanto, é relevante a realização de ensaios de campo, a fim de obter isolamentos sonoros condizentes com a realidade, considerando as características particulares de cada projeto, mencionadas na próxima seção.

3.3 Características da vedação vertical e do entorno

A forma é um conceito abrangente e com vários significados, mas inclui um sentido de massa ou volume, possuindo propriedades como o formato, o tamanho, a cor, a textura, a posição, a orientação e a inércia visual. As propriedades que interferem na acústica são o formato, o tamanho e a textura (CHING, 2002; AMORIM, 2007).

O formato refere-se ao contorno característico ou configuração da superfície de uma forma particular. O tamanho relaciona-se as três medidas - comprimento, altura e largura - cujas proporções determinam a escala da forma e que não devem ser múltiplas entre si a fim de apresentarem um som mais claro. Por fim, a textura representa a qualidade tátil das superfícies (CHING, 2002; AMORIM, 2007; FAURO et al., 2011).

Fauro et al. (2011) dizem que em um projeto arquitetônico, tanto de salas de concertos, teatros ou até mesmo em salas de aula ou residências, a forma é de grande influência na acústica. Por exemplo, a configuração retangular comumente usada para salas apresenta algumas inconveniências, como o acontecimento de ecos em virtude de grandes comprimentos e de superfícies paralelas muito próximas.

Além da forma, o desempenho acústico de um ambiente depende da combinação de vários outros fatores, entre eles: o projeto de arquitetura; a escolha e execução de paredes, pisos, tetos e esquadrias; a espessura da parede adotada; as interfaces com demais componentes e elementos construtivos (OLIVEIRA; MITIDIERI FILHO, 2012; RIBAS et al., 2013).

Friedrich, Paixão e Vergara (2010) realizaram ensaios de redução sonora em laboratório, a fim de analisar a influência dos revestimentos no desempenho acústico das vedações com o mesmo componente, constatando-se um aumento de 5 dB com a parede revestida em ambas as faces com camadas de emboço e reboco em relação à parede em osso.

Talin, Tibúrcio e Tibiriçá (2012) verificaram também que as superfícies como teto e paredes revestidas de argamassa e pintadas são mais reflexivas que as superfícies de tijolo aparente, mais absorventes, o que pode aumentar as reverberações.

A baixa porosidade, a alta densidade e a textura lisa de superfície são propriedades importantes para materiais isolantes; enquanto, a espessura da parede (de massa); descontinuidades com espaços de ar; existência de revestimentos em ambas as faces são relevantes para os materiais absorventes (NZCMA, 2013).

Silva Jr, Silva e Pinheiro (2015) complementam que a redução na densidade da vedação, conforme observado na sua evolução histórica, pode promover uma redução no isolamento.

As janelas também exercem grande influência no conforto acústico interno dos ambientes. A utilização apenas de vidros mais espessos, visando aumentar o desempenho acústico do sistema de fachada, não constitui isoladamente uma contribuição tão significativa em função do comportamento do conjunto dos componentes: persiana, sistema de vedação na caixa e mecanismo de fechamento das folhas (SCHVARSTZHAUPT; TUTIKIAN; NUNES, 2014).

O elemento que faz a vedação do vidro com o caixilho apresenta significativa influência no isolamento acústico de janelas de vidro monolítico, devido às melhorias das condições de borda. Nesse sentido, o uso de material resiliente como elemento de vedação eleva a capacidade de amortecimento do sistema e, conseqüentemente, seu desempenho acústico (SCHVARSTZHAUPT; TUTIKIAN; NUNES, 2014).

Estes autores avaliaram em laboratório 2 perfis de esquadrias de PVC, concluindo que aumentar as dimensões dos perfis e alterar o mecanismo de fechamento da esquadria não influencia os resultados de desempenho acústico, para todas as frequências analisadas. Em contrapartida, os 5 tipos de vidros analisados para o mesmo perfil apresentaram resultados distintos, sendo o vidro laminado com desempenho superior ao vidro duplo, mas ambos superiores ao vidro monolítico comum.

O Guia CBIC (2013) apresenta alguns resultados do Índice de Redução Sonora Ponderado (R_w) para os sistemas mais usuais de paredes, conforme apresenta a Figura 12.

Figura 12 - R_w para sistemas usuais de paredes

(Fontes: IPT, Unicap, SOBRAC, Universidade de Coimbra)

Tipo de parede	Largura do bloco / tijolo	Revestimento	Massa aproximada	R_w (dBA)
Blocos vazados de concreto	9 cm	argamassa 1,5 cm em cada face	180 kg/m ²	41
	11,5 cm		210 kg/m ²	42
	14 cm		230 kg/m ²	45
Blocos vazados de cerâmica	9 cm	argamassa 1,5cm em cada face	120 kg/m ²	38
	11,5 cm		150 kg/m ²	40
	14 cm		180 kg/m ²	42
Tijolos maciços de barro cozido*	11 cm	argamassa 2cm em cada face	260 kg/m ²	45
	15 cm		320 kg/m ²	47
	11 + 11 cm**		450 kg/m ²	52
Paredes maciças de concreto armado	5 cm	sem revestimento	120 kg/m ²	38
	10 cm		240 kg/m ²	45
	12 cm		290 kg/m ²	47
Drywall	2 chapas + lâ de vidro	sem revestimento	22 kg/m ²	41
	4 chapas		44 kg/m ²	45
	4 chapas + lâ de vidro		46 kg/m ²	49

(*) Valores indicados pela Universidade de Coimbra.
 (**) Parede dupla 11 + 11 cm, com espaço interno de 4 cm preenchido com manta de lâ de rocha 70 kg/m³.

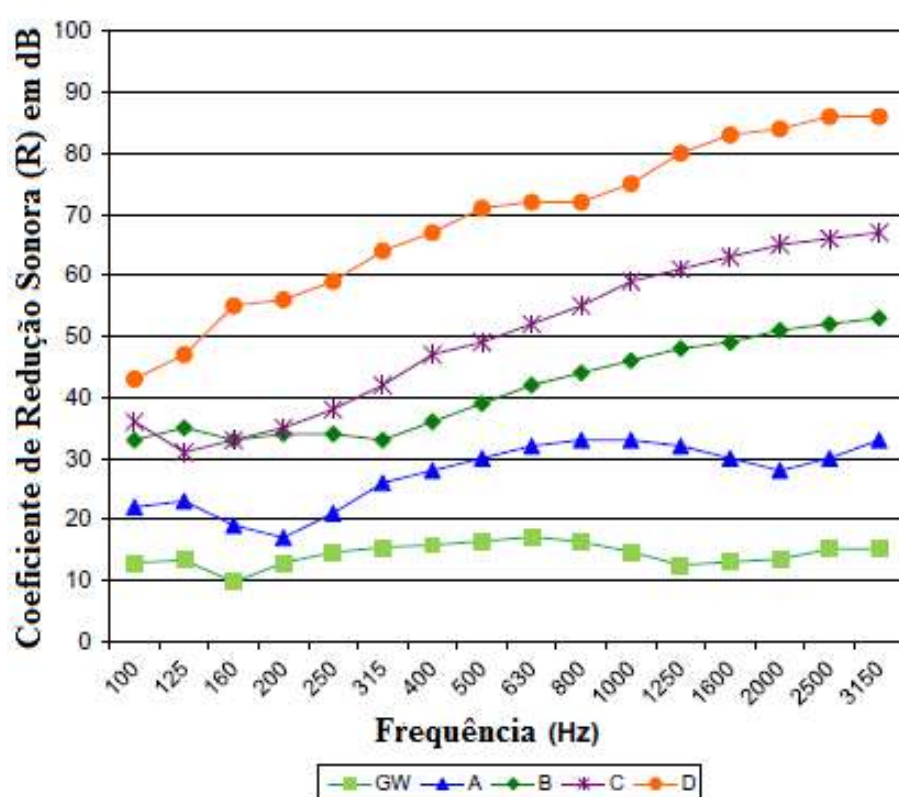
Fonte: Guia CBIC (2013)

Silva Jr. e Silva (2014) avaliaram vedações verticais em campo, considerando aspectos como a abertura da esquadria e o tipo de bloco utilizado, concluindo que a janela de correr – tradicionalmente empregada no nordeste brasileiro – apresentou resultados menores de desempenho acústico em comparação à janela tipo maxim-ar.

Além disso, a parede em bloco de gesso foi a única que atendeu aos critérios da norma 15575 (ABNT, 2013); enquanto que o tijolo e o bloco de concreto apresentaram resultados próximos ao mínimo.

Azkorra et al. (2015) também realizaram estudo comparativo entre 5 especificações distintas de vedações verticais em laboratório. Estes autores concluíram que o sistema *drywall* (D) apresentou resultado superior as outras especificações - estrutura de madeira com vidro insulado duplo (A); tijolo de 10cm de espessura sem acabamento (B); bloco leve com 21,5cm e revestido com gesso (C); paredes verdes ou jardins verticais (GW), conforme se verifica na Figura 13.

Figura 13- Redução Sonora (R) em dB para 5 tipos de vedações



Fonte: Adaptado Azkorra et al. (2015)

Penedo e Oiticica (2015) destacaram algumas características de projeto que contribuem para o resultado insatisfatório em vedações verticais analisadas em campo, entre elas: a proximidade das esquadrias da varanda e da porta principal das unidades autônomas, sem afastamento entre elas; o sistema de esquadrias em portas de correr convencional sem escovas de poliuretano para vedação e nem sistema de travamento mais eficiente e alvenaria singela em tijolo de 8 furos.

Para a medição do desempenho acústico em campo, inúmeras características da vedação e do entorno devem ser consideradas, relacionadas às tipologias das vedações, os diferentes ambientes e as formas de execução, que podem ou não contribuir para o conforto acústico do usuário (SILVA JR., 2014).

3.4 Conforto acústico

A Organização Mundial de Saúde (OMS) fixa limites de ruídos de exposição do ser humano, conforme apresenta a Tabela 2, que subsidiaram os limites de admissibilidade em diversos países, inclusive no Brasil (BRESSANE; SANTARINE; MAURÍCIO, 2010).

Tabela 2 - Limites de ruído para o ser humano

Volume (dB)	Reação	Efeitos negativos
Até 50	Confortável	Nenhum
Acima de 50	O organismo humano sofre impactos do ruído	
De 55 a 65	Estado de alerta	- Diminui a concentração - Prejudica a produtividade intelectual
De 65 a 70	Reação do organismo para adaptação	- Aumento no nível de cortisona, diminuindo a resistência imunológica - Induz a liberação de endorfina, tornando o organismo dependente - Aumento na concentração de colesterol no sangue
Acima de 70	Estresse e danos à saúde	- Aumento nos riscos de enfarte, infecções, entre outras.

Fonte: Adaptado de OMS (1999)

O conforto auditivo dos indivíduos em uma edificação é o que permite a qualidade das atividades, dos momentos de descanso e lazer, bem como a manutenção da saúde dos usuários. Para atender as necessidades de conforto dos usuários, os materiais e sistemas construtivos devem possuir um adequado desempenho acústico (TALIN; TIBÚRCIO; TIBIRIÇÁ; 2012).

A Resolução nº 001/1990 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) estabelece que os critérios para ruídos ambientais e de execução de projetos de reformas e construção devem seguir as recomendações da norma NBR 10152 (ABNT, 1987). O procedimento para a avaliação, no entanto, deve seguir as recomendações da norma NBR 10151 (ABNT, 2000).

A norma NBR 10152 (ABNT, 1987) fixa os níveis de ruído aceitáveis em dB para o nível de conforto acústico (NC) de algumas construções, conforme presente no ANEXO A.

Ochoa, Araújo e Sattler (2012) dizem que o cruzamento das informações sobre a satisfação do usuário com o ambiente em que vive e os dados obtidos de medições técnicas constitui um recurso de fundamental importância para efetuar-se uma análise crítica das condições de conforto sugeridas.

O conforto acústico dos usuários é fornecido pelo desempenho acústico das edificações, associado aos elementos construtivos que devem controlar a entrada de ruídos para manter níveis confortáveis nos ambientes (TALIN; TIBÚRCIO; TIBIRIÇÁ, 2012).

3.5 Desempenho acústico

Atingir um desempenho satisfatório envolve um correto planejamento arquitetônico, diante das diferentes condições na qualidade acústica, como a proteção de ruídos intrusivos, inteligibilidade da fala, privacidade do discurso, entre outros (OCHOA; ARAÚJO; SATTLER, 2012).

Talin, Tibúrcio e Tibiriçá (2012) dizem que nas edificações residenciais, em especial, o adequado desempenho acústico dos componentes é essencial para a manutenção da privacidade dos ambientes internos, de modo que o ruído gerado na realização de uma tarefa em determinado ambiente não

interfira de forma negativa na realização de outra tarefa em ambiente distinto.

Oliveira e Mitidieri Filho (2012) consideram relevantes algumas informações pertinentes ao processo de projeto, a fim de se alcançar este desempenho, como:

- tecnologia construtiva adotada e sua relação com o atendimento das exigências de desempenho na concepção de projeto;
- a seleção da tecnologia e seu detalhamento no projeto;
- a verificação dos critérios de desempenho na fase de projeto;
- as exigências contratuais definidas para os fornecedores, referentes ao fornecimento de informações técnicas sobre o desempenho do produto.

O isolamento ao ruído aéreo de um fechamento é definido a partir da diferença de níveis sonoros entre dois ambientes contíguos e quanto maior esse valor, maior será o isolamento ao ruído aéreo (NUNES; ZINI; PAGNUSSAT, 2014).

Para a medição do desempenho nas edificações, há vários parâmetros acústicos utilizados internacionalmente, entre eles: a diferença padronizada de nível (D_{nT}); a diferença padronizada de nível a 2m da fachada ($D_{2m,nT}$) e o índice de redução sonora (R), conforme a norma ISO 717-1 (ISO, 2013).

A Diferença Padronizada de Nível (D_{nT}), parâmetro de medição do desempenho acústico quanto ao ruído aéreo para vedações verticais e horizontais internas, depende dos níveis de pressão sonora equivalentes ponderados em “A” nos ambientes de recepção e emissão, do ruído de fundo e do tempo de reverberação, conforme a Equação 1 (PENEDO; OITICICA, 2015).

$$D_{nT} = D + 10\log\left(\frac{T}{T_0}\right) \quad [1]$$

Onde: D_{nT} : diferença padronizada de nível em dB;
 D : é a diferença entre os níveis de pressão sonora entre os ambientes de emissão e recepção em dB;
 T : tempo de reverberação no ambiente de recepção em s;
 T_0 : tempo de reverberação de referência em edificações, 0,5s.

Analogamente, a Diferença Padronizada de Nível a 2m da fachada ($D_{2m,nT}$), parâmetro de medição do desempenho acústico quanto ao ruído aéreo para vedações verticais externas. Os dois parâmetros acústicos são obtidos para cada frequência, a partir de ensaios de campo, existindo um valor único ponderado para ambos – $D_{nT,w}$ e $D_{2m,nT,w}$, respectivamente (PENEDO; OITICICA, 2015).

No entanto, deve-se prever o comportamento acústico de um sistema de construção projetado, antes de ser utilizada num edifício. Os testes de laboratório devem ser realizados, de uma forma muito controlada, objetivando que as propriedades acústicas em particular de um material de construção ou elemento possa ser medida ou calculada (AZKORRA et al., 2015).

Os ensaios em campo têm o objetivo de verificar a isolamento sonora de um sistema de vedação em edificações concluídas. Já os ensaios em laboratório têm a finalidade de determinar a isolamento sonora de elementos construtivos, como janelas, o que fornece valores de referência de cálculo para projetos (SCHVARSTZHAUPT; TUTIKIAN; NUNES, 2014).

O índice de redução sonora (R) caracteriza as propriedades de isolamento acústico de um material ou elemento de construção numa faixa de frequências em laboratório, calculado de acordo com a norma EN ISO 10140-2 (ISO, 2010). Já o índice de redução sonora ponderado (R_w) é um número único dos valores de R obtidos, calculado de acordo com a norma ISO 717-1 (ISO, 2013).

Aos ensaios realizados em laboratório, entende-se que os resultados são mais precisos, e consequentemente superiores aos resultados obtidos em ensaios realizados em campo, para uma mesma vedação, haja vista que as condições do laboratório são mais bem controladas (AZKORRA et al., 2015).

A preocupação com o desempenho das edificações é uma tendência mundial. No Brasil, a publicação da norma NBR 15575 (ABNT, 2013), conhecida como norma de desempenho, tem desafiado o setor como um todo, desde projetistas, construtores e fornecedores, tendo em vista a complexidade das questões que envolvem o conceito de desempenho. Em contrapartida, na Europa é comum o uso de leis, normas ou códigos baseados no conceito de desempenho (KERN; SILVA; KZMIERCZAK, 2014).

A normalização existente no Brasil e os principais países serão discutidos no próximo capítulo, bem como apresentados os parâmetros e critérios utilizados.

4. A NORMALIZAÇÃO

Este capítulo apresenta as principais referências internacionais de controle do ruído através das vedações verticais; além dos parâmetros e critérios adotados. Também apresenta o processo de implantação da norma NBR 15575 (ABNT, 2013) no Brasil e detalha os parâmetros, critérios e os métodos de avaliação existentes.

4.1 As referências internacionais

A concepção e implantação de regulamentos para controle do ruído nas edificações em países como Alemanha, Austrália, Chile, Espanha, EUA, Nova Zelândia, França, Itália, Portugal e Reino Unido, são anteriores à norma NBR 15575 (ABNT, 2013) no Brasil.

A Alemanha possui normalização desde 1989 que prescreve recomendações para o isolamento sonoro, sendo a norma DIN 4109 (DIN, 1989).

Na Austrália, o Código de Edificação da Austrália de 1996 (ABCB, 1996) já utilizava as normas americanas ASTM como referência para o isolamento acústico, que posteriormente foram substituídas pelas normas internacionais ISO, dando subsídios para a criação do *National Construction Code* (NCC) (FERREIRA NETO, 2009).

No Chile, a norma NCh 352 (NCh, 2000) estabelece requisitos mínimos para o controle do ruído em construções habitacionais.

Na Espanha, o Guia DB HR - documento básico de proteção frente ao ruído - do Código Técnico de Edifícios (CTE) foi criado em 2009, sendo considerado um avanço qualitativo no desempenho acústico das edificações, a fim de atender níveis de exigência superiores em resposta a uma demanda social.

Kern, Silva e Kzmierczak (2014) compararam o processo de implantação da NBR 15575 (ABNT, 2013) e do Código Técnico de Edifícios (CTE) da Espanha nos respectivos países, verificando diferenças que resultaram no lento processo brasileiro, entre eles: a estratégia de implantação, sendo gradual na Espanha e na íntegra no Brasil; ausência de meios de comunicação entre profissionais, roteiro de implantação e a fiscalização deficiente da norma brasileira.

Nos EUA, as normas da ASTM (*American Society for Testing and Materials*) utilizam parâmetros específicos para medição do desempenho acústico desde 1990, que diferem dos parâmetros das normas ISO. Estes parâmetros também são adotados pelo Código de Edifícios da Nova Zelândia (*New Zealand Building Code*).

Na França, a *Nouvelle Réglementation Acoustique* (NRA), documento instituído através de Decreto em 30 de Junho de 1999, determina os requisitos acústicos dos edifícios residenciais. Além disso, as empresas são obrigadas a fornecer a autoridade que emite a licença de construção um certificado de conformidade com os regulamentos acústicos devido o decreto nº 604 de 30 de Maio de 2011; além do desenvolvimento de guia orientativo para a aplicação deste regulamento (RÉPUBLIQUE FRANÇAIS, 2014).

Na Itália, a Lei 447 de 26 de Outubro de 1995 estabelece a necessidade de controle do ruído, cujos parâmetros e critérios foram estabelecidos no Decreto de 5 de Dezembro de 1997.

Em Portugal, o decreto lei nº 129 de 11 de Maio de 2002 aprovou o Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE) que regula a vertente do conforto acústico no âmbito do regime da edificação, posteriormente, revisado no decreto lei nº 96 de 9 de Junho de 2008.

Por fim, no Reino Unido, a Parte E do documento *The Building Regulations 2000* regulamenta a passagem do som em edificações.

Os países mencionados utilizam parâmetros e critérios diferentes entre si, cada qual segundo a normalização específica, baseada nas normas ISO ou ASTM. A seguir, são apresentados os principais parâmetros internacionais e as diferenças entre eles.

4.1.1 Os parâmetros acústicos

A norma ISO 717-1 (ISO, 2013) apresenta os principais parâmetros acústicos de avaliação adotados internacionalmente, incluindo os parâmetros R_w , $D_{nt,w}$ e $D_{2m,nT,w}$ adotados na norma brasileira NBR 15575 (ABNT, 2013).

Os parâmetros R_w , $D_{nt,w}$ e $D_{2m,nT,w}$, também analisados em Portugal, são obtidos a partir do ruído branco emitido pela fonte sonora do ensaio, que corresponde ao ruído com potência sonora constante na faixa de frequências (espectro) (NOCETI FILHO, 2002b).

Quando estes parâmetros são analisados para outras fontes de ruído são acompanhados dos coeficientes de adaptação C e C_{tr} , respectivamente, para o ruído rosa e de tráfego, aplicados nas situações da Tabela 3, conforme a norma ISO 717-1 (ISO, 2013).

Estes coeficientes elevam o nível de exigência e são comuns em países da Europa, como França e Reino Unido (FERREIRA NETO, 2009).

O ruído rosa possui potência sonora inversamente proporcional à frequência no espectro; enquanto, o ruído de tráfego corresponde ao ruído produzido por veículos (baixas frequências) (NOCETI FILHO, 2002b; TORIJA; FLINDELL, 2014).

Tabela 3 - Aplicação dos coeficientes de adaptação

Tipo de fonte sonora	Coeficiente de adaptação do espectro
Atividades comuns (conversas, música, rádio, TV) Crianças brincando Tráfego ferroviário a média e alta velocidade Tráfego rodoviário com velocidade > 80km/h Avião a jato, curta distância	C (Ruído rosa)
Tráfego rodoviário urbano Tráfego ferroviário a baixas velocidades Avião a hélice Avião a jato, longa distância Boates	C _{tr} (Ruído de tráfego)

Fonte: Adaptado de ISO 717-1 (ISO, 2013)

A Tabela 4 compara os parâmetros da norma NBR 15575 (ABNT, 2013) e da norma ISO 717-1 (ISO, 2013) com os coeficientes de adaptação, comumente utilizados em outros países.

Tabela 4 - Parâmetros acústicos conforme a norma ISO 717-1 (ISO, 2013)

NBR 15575/2013	ISO 717-1/2013	Descrição
R _w	R' _w	Índice de redução sonora ponderado aparente.
	R _w + C R _A	Índice de redução sonora ponderado aparente corrigido para ruído rosa.
	R _w + C _{tr} R _{A,tr}	Índice de redução sonora ponderado aparente corrigido para ruído de tráfego.
D _{nt,w}	D _{nt,w} + C D _{nt,A}	Diferença padronizada de nível de pressão sonora corrigida para ruído rosa.
	D _{nt,w} + C _{tr} D _{nt,A,tr}	Diferença padronizada de nível de pressão sonora corrigida para ruído de tráfego.
D _{2m,nt,w}	D _{2m,nt,Atr}	Diferença padronizada a 2m da fachada de nível de pressão sonora corrigida para ruído de tráfego.

Fonte: A autora

Percebe-se que quando os parâmetros acústicos R_w, D_{nt,w} e D_{2m,nt,w} vêm acompanhados dos coeficientes de adaptação, alguns países que os adotam preferem representá-los por R_A e D_{nt,A} (quando do ruído rosa) e R_{A,tr} e D_{nt,A,tr} (quando do ruído de tráfego) (ISO 717-1, 2013). Não são

parâmetros novos, apenas uma forma de representá-los, comuns no Chile e na Espanha.

A norma ISO 717-1 (ISO, 2013) também apresenta o R'_w , que segundo a norma ISO 16283-1 (ISO, 2014), pode ser usado para comparar medições de campo com medições de laboratórios do R_w . Em comparação com D_{nt} , cuja avaliação do isolamento sonoro é mais subjetiva.

O R'_w é o parâmetro analisado na Alemanha e na Itália, sendo obtido através de um ensaio realizado em campo, mas é necessária a garantia de vedação do ambiente de emissão, a fim de que todo o ruído emitido seja transmitido através da partição (FERREIRA NETO, 2009).

Outros países, como EUA e Nova Zelândia, adotam parâmetros diferentes das normas ISO, sendo: a classe de transmissão sonora (STC) obtida em laboratório pela ponderação da perda da transmissão sonora (TL) por faixa de frequência; enquanto em campo, o parâmetro FSTC é obtido pela ponderação da FTL. As referências normativas destes parâmetros se encontram na Tabela 5 e, portanto, não podem ser comparadas as normas ISO (FERREIRA NETO, 2009).

Tabela 5 - Parâmetros acústicos, conforme as normas ASTM

Local	Símbolo	Nomenclatura	Aplicação	Norma
Laboratório	TL	Perda por transmissão sonora (<i>Sound Transmission Loss</i>)	Elementos de edificação	ASTM E90 (2009)
	STC	Classe de Transmissão Sonora (<i>Sound Transmission Class</i>)		ASTM E 413 (2016)
Campo	FTL	Perda por Transmissão Sonora em Campo (<i>Field Transmission Loss</i>)	Sistemas construtivos	ASTM E 336 (2016)
	FSTC	Classe de Transmissão Sonora (<i>Field Sound Transmission Class</i>)		ASTM E 413 (2016)

Fonte: Ferreira Neto (2009)

4.1.2 Os critérios de desempenho

Os critérios adotados nos 10 países mencionados foram levantados, bem como os parâmetros acústicos e as referências correspondentes, conforme a Tabela 6, sendo comparados à norma brasileira.

Tabela 6 - Critérios de 10 países para o isolamento sonoro

País	Referência	Interno		Externo	
		Parâmetro	Critério (dB)	Parâmetro	Critério (dB)
Alemanha	DIN 4109 (1989)	R_w	53	R_w	30
Austrália	Building Code of Australia – NCC (2016)	$R_w + C_{tr}$	50	$D_{nT,w}$	25
		$D_{nT,w} + C_{tr}$	45		
Brasil	NBR 15575-4 (ABNT, 2013)	$D_{nT,w}$	40	$D_{2m,nT,w}$	25
Chile	NCh 352/1 (2000)	D_{nTA}	45	$D_{nT,A,tr}$	20
Espanha	CTE DB HR (2016)	D_{nTA}	50	$D_{2m,nT,Atr}$	30
EUA	Internacional Building Code (2000)	STC	50	-	-
		FSTC	45		
França	NRA (1999)	D_{nTA}	53	$D_{nT,A,tr}$	33
Itália	Lei 447/95 DPCM	R_w	50	$D_{2m,nT,w}$	40
Nova Zelândia	Building Code Clause G6 (2006)	STC	55	-	-
Portugal	Decreto Lei nº 96/2008	$D_{nt,w}$	50	$D_{2m,nT,w}$	33
Reino Unido	The Building Regulations 2000 (ed. 2010)	$D_{nt,w} + C_{tr}$	45	-	-
		R_w	40		

Fonte: Adaptado de Ferreira Neto (2009)

Nota-se que o nível de exigência internacional para o isolamento sonoro é superior as exigências da norma brasileira, tendo em vista a maturidade do processo de implantação.

Os parâmetros acústicos possuem coeficientes de adaptação, que elevam o nível de exigência, diferentemente da NBR 15575 (ABNT, 2013); além de possuir critérios, cujos valores são em geral superiores aos desempenhos

mínimos encontrados na normalização brasileira, que será apresentada na próxima seção.

4.2 A norma brasileira

No Brasil, uma das primeiras contribuições ao estudo do desempenho nas edificações ocorreu na década de 70, versando sobre racionalização e industrialização de sistemas construtivos para habitação. Estes novos sistemas necessitavam de instrumentos para avaliação técnica com base em critérios que pudessem prever seu comportamento ao longo da vida útil, o que ocorreu na década de 80 através do trabalho do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), contratado pelo Banco Nacional da Habitação (BNH) (ZANOTTO et al., 2014).

Nos anos 90, foi criado pelo Governo Federal o Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H) que, juntamente com a Caixa Econômica Federal (CEF), financiaram um projeto nos anos 2000 para a criação de um método de avaliação do desempenho de sistemas construtivos inovadores (BALDASSO, 2009).

Foi o primeiro passo para a publicação em 12 de maio de 2008 da NBR 15575 (ABNT, 2010), restrita a edifícios até 5 pavimentos. Por 2 anos, uma discussão pública foi realizada para avaliação dos textos-base com toda a cadeia produtiva da construção civil, incluindo o Ministério das Cidades, a CEF, construtoras, incorporadoras, projetistas, universidades, entre outros. Porém, em função do forte impacto decorrente das alterações propostas pela norma, o prazo para esta entrar em vigor, inicialmente datado de 2010, foi prorrogado para março de 2012, e finalmente postergado para julho de 2013 (KERN; SILVA; KZMIERCAZK, 2014).

Os impactos para as empresas são fortes na implantação da norma e, por isso, ainda há dificuldades. Oliveira e Mitidieri Filho (2012) destacam que é necessária maior integração entre os agentes do processo de projeto,

induzindo mudanças na forma de projetar e de contratação de fornecedores. Zanotto et al. (2014) também destacam a capacitação dos profissionais, a fim de superar as resistências, conflitos e erros de atendimento aos requisitos.

Otero e Sposto (2014) afirmam que grande parte das empresas incorporadoras e construtoras aparentemente permanece insegura e desinformada quanto à extensão de suas responsabilidades e às ações que devem ser desenvolvidas para cumprimento destas normas, apesar das diversas ações realizadas por sindicatos e instituições de ensino e pesquisa no sentido de informar e sensibilizar.

Além disso, a base normativa brasileira para a construção civil é prescritiva, ou seja, especifica os meios e não os fins que se deseja atingir, o que contraria o conceito defendido pela norma de desempenho (KERN; SILVA; KZMIERCAZK, 2014).

A norma brasileira é dividida em 6 partes, sendo 1 parte de requisitos gerais do desempenho e as outras 5 de subsistemas da edificação, conforme a Tabela 7. Cada subsistema submetido às condições de exposição deve atender às exigências mínimas dos usuários, que possui requisitos qualitativos analisados por critérios quantitativos estabelecidos em um método de avaliação.

Tabela 7 - Partes integrantes da norma de desempenho

Parte	Descrição
1	Requisitos gerais
2	Sistemas estruturais
3	Sistemas de pisos
4	Sistemas de vedações verticais internas e externas (SVVIE)
5	Sistemas de coberturas
6	Sistemas hidrossanitários

Fonte: A autora

A parte 4 - sistemas de vedações verticais internas (SVVI) e externas (SVVE) - destaca os requisitos referentes ao desempenho deste subsistema, inclusive o acústico.

Este desempenho não estava presente em norma brasileira até a publicação da NBR 15575-4 (ABNT, 2013) e, por isso, não era preocupação de projetistas, construtores, incorporadores e fornecedores.

Por isso, são necessárias investigações em laboratório e em campo, a fim de conhecer os parâmetros acústicos, os critérios e os métodos de avaliação definidos na norma brasileira, referenciados a seguir.

4.2.1 Os parâmetros acústicos

Os parâmetros acústicos de verificação do desempenho acústico, conforme a NBR 15575 (ABNT, 2013), são: o Índice de Redução Sonora Ponderado (R_w), a Diferença Padronizada de Nível Ponderada ($D_{nT,w}$) e a Diferença Padronizada de Nível Ponderada a 2 m de distância da fachada ($D_{2m,nT,w}$), presente na Tabela 8.

Tabela 8 - Parâmetros acústicos

Sigla	Descrição	Normas	Aplicação
R_w	Índice de Redução Sonora Ponderado	ISO 10040-2 ISO 717-1	Componentes, em laboratório
$D_{nT,w}$	Diferença Padronizada de Nível Ponderada	ISO 140-4 ISO 717-1	Vedações verticais e horizontais internas, em edificações
$D_{2m,nT,w}$	Diferença Padronizada de Nível Ponderada a 2 m da fachada	ISO 140-5 ISO 717-1	Fachadas, em edificações, casas térreas e sobrados

Fonte: NBR 15575-4 (ABNT, 2013)

O R_w é obtido através de ensaios de laboratório, enquanto a $D_{nT,w}$ e a $D_{2m,nT,w}$ são obtidas em ensaios de campo com todas as portas e janelas fechadas, tais como foram entregues pela empresa construtora ou incorporadora. A $D_{nT,w}$ é um indicador que diz respeito às vedações verticais internas entre unidades autônomas, enquanto a $D_{2m,nT,w}$ diz

respeito às vedações verticais externas entre unidades e o meio externo, conforme mencionado.

Foram coletados e avaliados nesta dissertação de Mestrado apenas os indicadores relativos aos ensaios de campo, $D_{nT,w}$ e $D_{2m,nT,w}$ e, portanto, apenas os critérios destes parâmetros são abordados.

4.2.2 Os critérios de desempenho

Os critérios mínimo (M), intermediário (I) e superior (S) em decibéis (dB) para $D_{nT,w}$ e $D_{2m,nT,w}$ são apresentados nas Tabelas 9 e 10, respectivamente.

Tabela 9 - Critérios de desempenho acústico para as vedações internas

Descrição	$D_{nT,w}$ [dB]		
	(M)	(I)	(S)
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), nas situações onde não haja ambiente dormitório	≥ 40	≥ 45	≥ 50
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), caso pelo menos um dos ambientes seja dormitório	≥ 45	≥ 50	≥ 55
Parede cega de dormitórios entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria nos pavimentos	≥ 40	≥ 45	≥ 50
Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual como corredores e escadaria dos pavimentos	≥ 30	≥ 35	≥ 40
Parede cega entre uma unidade habitacional e áreas comuns de permanência de pessoas, atividades de lazer e atividades esportivas, como <i>home theater</i> , salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas	≥ 45	≥ 50	≥ 55

Fonte: NBR 15575-4 (ABNT, 2013)

Vale ressaltar que os critérios de $D_{2m,nT,w}$, apresentados na Tabela 10, são válidos apenas para dormitórios, não havendo exigências e critérios para os demais cômodos. Estes critérios são válidos para o método de engenharia e simplificado, explicados a seguir.

Tabela 10 - Critérios de desempenho acústico para as vedações externas

Classe de ruído	Localização da habitação	$D_{2m,nT,w}$ [dB]		
		(M)	(I)	(S)
I	Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas.	≥ 20	≥ 25	≥ 30
II	Habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III	≥ 25	≥ 30	≥ 35
III	Habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, desde que conforme a legislação.	≥ 30	≥ 35	≥ 40

Fonte: NBR 15575-4 (ABNT, 2013)

4.3 O método de avaliação

A parte 4 da norma de desempenho propõe 3 métodos de avaliação do desempenho acústico de SVVIE: o método de precisão, realizado em laboratório; o método de engenharia e o método simplificado, ambos realizados em campo.

O método de precisão é realizado em laboratório com o objetivo de se obter o índice de redução sonora ponderado (R_w) de cada componente da vedação isoladamente, conforme a norma ISO 10140-2 (ISO, 2010).

Já os métodos de engenharia e simplificado são realizados em campo com o objetivo de se obter o $D_{nT,w}$. O primeiro é mais preciso e, por isso, opta-se pelo segundo método apenas quando não se dispõe de instrumentação necessária para medir o tempo de reverberação ou quando as condições de ruído de fundo não permitem obtê-lo, conforme a NBR 15575-4 (ABNT, 2013).

O método de engenharia baseia-se na norma ISO 140-4 (ISO, 1998) e ISO 140-5 (ISO, 1998), enquanto o método simplificado na norma ISO 10052 (ISO, 2004). Para a presente pesquisa, foi adotado o método de engenharia, tendo em vista que há disponibilidade de equipamento necessário.

É importante destacar que as normas ISO 140-4 (ISO, 1998) e ISO 140-5 (ISO, 1998) foram substituídas pela ISO 16283-1 (ISO, 2014) após a publicação da norma de desempenho e, por isso, foi empregada a mais recente.

Os materiais e métodos considerados no estudo desenvolvido são apresentados no próximo capítulo, baseados na fundamentação teórica realizada nos Capítulos 2, 3 e 4.

5. METODOLOGIA DA PESQUISA

Este capítulo apresenta os objetos de estudo, caracterizando os empreendimentos, os ensaios e as vedações monitoradas; além de apresentar quais foram os procedimentos de ensaio e de análise dos resultados.

O estudo é explicativo, pois objetiva identificar os fatores que determinam fenômenos; além de experimental, pois determina um objeto de estudo, selecionam-se as variáveis que o influenciam, define-se as formas de controle e de observação dos efeitos que as variáveis produzem no objeto (GIL, 2002).

A abordagem realizada é quantitativa, contemplando 59 resultados de campo do desempenho acústico em vedações verticais, sendo 37 internas e 22 externas, correspondentes a 15 edifícios de múltiplos pavimentos localizados na Região Metropolitana do Recife (RMR) de 9 empresas construtoras.

A amostragem de edifícios foi definida em pesquisa de estudos de caso, em função do interesse da empresa construtora na participação e disponibilidade de realização dos ensaios nos mesmos, considerando os critérios iniciais explicitados a seguir.

5.1 Os objetos de estudo

5.1.1 Caracterização dos empreendimentos

Os empreendimentos foram selecionados, considerando:

- o padrão residencial;

- vedações verticais caracterizadas pelos componentes blocos vazados de gesso (A), concreto (B) e cerâmico (D); além do tijolo cerâmico de 8 furos (C) (Figura 14);

Figura 14 - Blocos vazados de gesso (A), concreto (B) e cerâmico (D) e tijolo cerâmico de 8 furos (C)



Fonte: A autora

- a data da entrega compreendida no período de Novembro de 2015 e dezembro de 2016;
- a fase da obra, correspondente à fase final de entrega das unidades aos clientes;
- a disponibilidade e o interesse da empresa construtora.

No presente trabalho, as empresas foram identificadas por letras; enquanto as obras por números, cujas características principais se encontram na Tabela 11, referentes à localização do empreendimento e aos números de torres, pavimentos tipo, unidades por pavimento, quartos sociais por unidade, bem como a área privativa.

Tabela 11 - Caracterização dos empreendimentos monitorados

Empresa	Obra	Aprovação do projeto	Entrega	Bairro	Torres	Pavimentos tipo	Unidades por pavimento	Quartos sociais	Área privativa (m²)
A	1	Fev/2012	Dez/2015	Rosarinho	2	30	2	3 e 4	89 e 113,3
	2	Jul/2012	Fev/2016	Apipucos	2	7	2	4	140
	3	Jan/2012	Nov/2015	Espinheiro	1	12	12	1 e 2	25,4 e 48,7
	4	Out/2012	Abr/2016	Madalena	1	29	2	4	153
B	5	Jun/2011	Mar/2016	Boa Vista	1	29	4	3	69 e 76
	6	Set/2011	Set/2016	Imbiribeira	1	17	10	2	45,5
C	7	Ago/2012	Mar/2016	Rosarinho	1	20	2	3	108
D	8	Ago/2012	Mai/2016	Poço da Panela	2	7	4	3	108
E	9	Set/2012	Mai/2016	Arruda	1	17	6	3	58,38
F	10	Nov/2012	Jul/2016	Boa Vista	1	20	12	1 e 2	38 e 52
G	11	Jan/2013	Mar/2016	Janga	1	20	10	3	70 e 61
	12	Jul/2013	Set/2016	Torre	1	28	4	2 e 3	62,8 e 51,3
H	13	Ago/2012	Mai/2016	Reserva do Paiva	4	8	4	3 e 4	386 e 183
I	14	Jul/2011	Julho/2015	Casa Forte	1	28	2	4	204
	15	Out/2012	Mar/2016	Boa Viagem	1	35	6	1 e 2	35 a 56

Fonte: A autora

Vale ressaltar que os empreendimentos analisados possuem projetos aprovados antes da publicação da norma NBR 15575 (ABNT, 2013), conforme se observa na Tabela 11 e, portanto, a equipe técnica não foi

treinada quanto aos procedimentos e exigências prescritivas para a conformidade acústica.

Os empreendimentos necessariamente se encontravam em fase final de entrega da obra, pois a norma NBR 15575-4 (ABNT, 2013) exige que as esquadrias estejam fechadas durante o ensaio de desempenho acústico, o que caracteriza um dos últimos serviços realizados nas programações de obra. As características dos ensaios realizados nos empreendimentos são apresentados a seguir.

5.1.2 Caracterização dos ensaios

Os ensaios foram realizados em 59 vedações verticais, sendo 37 vedações internas e 22 vedações externas. Foram denominadas conforme a posição – interna (I) ou externa (E) – e o número do ensaio, conforme apresenta a Tabela 12.

Tabela 12 - Representação das vedações por empreendimento

Empresa	Nº Obra	Vedação vertical interna		Vedação vertical externa	
		Nº Vedações	Nomenclatura	Nº Vedações	Nomenclatura
A	1	2	I1/I2	1	E1
A	2	0	-	2	E2/E3
A	3	0	-	2	E4/E5
A	4	3	I3/I4/I5	1	E6
B	5	4	I6/I7/I8/I9	2	E7/E8
B	6	4	I10/I11/I12/I13	2	E9/E10
C	7	1	I14	1	E11
D	8	3	I15/I16/I17	3	E12/E13/E14
E	9	4	I18/I19/I20/I21	2	E15/E16
F	10	4	I22/I23/I24/I25	2	E17/E18
G	11	2	I26/I27	0	-
	12	4	I28/I29/I30/I31	2	E19 e E20
H	13	3	I32/I33/I34	1	E21
I	14	2	I35/I36	0	-
	15	1	I37	1	E22

Fonte: A autora

A norma NBR 15575-4 (ABNT, 2013) não estabelece o número mínimo de vedações monitoradas por obra para avaliação da conformidade do empreendimento como um todo.

Por isso, foi planejado inicialmente a realização do ensaio em 4 vedações internas e 2 externas; no entanto, não foi possível a manutenção deste padrão devido ao estágio da obra durante a visita, estando avançado com unidades já entregues ou finalizando acabamentos.

Por isso, nas obras 2 e 3 não foi possível a realização do ensaio na vedação vertical interna devido a existência de unidades não finalizadas, aguardando a instalação de portas, alisares, entre outras pendências que são requisitos para a realização dos ensaios de medição do desempenho acústico.

Além da Obra 11 e 14, que também não foi possível a realização do ensaio na vedação vertical externa devido a existência de pé direito duplo (Figura 15) e talude com muro de contenção (Figura 16).

Figura 15 - Pé direito duplo na Obra 11



Fonte: A autora

Figura 16 - Muro de contenção na Obra 14



Fonte: A autora

As plantas baixas dos pavimentos tipo dos empreendimentos se encontram no Anexo B com a indicação do ensaio e da vedação analisada, conforme a Tabela 12.

As características destas vedações são apresentadas na próxima seção.

5.1.3 Caracterização da vedação vertical

A vedação vertical, conforme mencionado no Capítulo 3.1, é constituída pelo vedo, pelos revestimentos e pelas esquadrias.

Os vedos foram caracterizados conforme a tipologia do componente e a largura do mesmo para a parede interna e externa, indicados na Tabela 13.

Portanto, dentre as 15 obras monitoradas, 5 utilizaram o bloco cerâmico, 3 o bloco de gesso, 2 o bloco de concreto, 5 o tijolo cerâmico nas vedações internas; enquanto, nas vedações externas, 6 utilizaram bloco cerâmico, 2 o bloco de concreto e 7 o tijolo cerâmico.

Tabela 13 - Caracterização do vedo

Empresa	Nº Obra	Vedação vertical interna		Vedação vertical externa	
		Componente	Espessura (cm)	Componente	Espessura (cm)
A	1	Bloco cerâmico	9	Bloco cerâmico	9
	2	Bloco cerâmico	9	Bloco cerâmico	9
	3	Bloco de gesso	7	Bloco cerâmico	9
	4	Bloco de concreto	9	Bloco de concreto	9
B	5	Bloco cerâmico	9	Bloco cerâmico	9
	6	Bloco cerâmico	9	Bloco cerâmico	9
C	7	Bloco cerâmico	9	Bloco cerâmico	14
D	8	Tijolo cerâmico	9	Tijolo cerâmico	9
E	9	Tijolo cerâmico	9	Tijolo cerâmico	9
F	10	Tijolo cerâmico	9	Tijolo cerâmico	9
G	11	Bloco de gesso	7	Tijolo cerâmico	9
	12	Tijolo cerâmico	9	Tijolo cerâmico	9
H	13	Bloco de concreto	9	Bloco de concreto	19
I	14	Tijolo cerâmico	9	Tijolo cerâmico	9
	15	Gesso maciço	10	Tijolo cerâmico	9

Fonte: A autora

Em relação aos revestimentos, os empreendimentos 1 ao 13 possuem o revestimento de argamassa (chapisco e massa única) e de pintura nas vedações verticais internas em ambos os lados da parede. Os empreendimentos 14 e 15 possuem pasta de gesso aplicada diretamente no vedo.

Já nas vedações verticais externas, são utilizados o revestimento de argamassa em ambos os lados, sendo pintura no interior e revestimento cerâmico na fachada. Para os empreendimentos 14 e 15, na face interna foi aplicada pasta de gesso.

As espessuras totais das vedações verticais internas e externas, bem como as espessuras do revestimento se encontram no Apêndice A. Não foi possível obter as espessuras para cada sistema de revestimento isoladamente devido a obra que já se encontrava finalizada.

Em relação as esquadrias, todas as vedações verticais internas monitoradas corresponderam a paredes cegas de geminação entre salas de unidades autônomas e, portanto, sem esquadrias.

No entanto, a esquadria da varanda e a porta principal das salas foram caracterizadas no Apêndice B, tendo em vista que são relevantes a fim de se evitar a transmissão por flancos.

Para as vedações externas, foram caracterizadas as esquadrias e portas dos dormitórios, tendo em vista que os ensaios de fachada são realizados nestes ambientes, estando as informações também no Apêndice B.

5.2 O equipamento de medição

O equipamento de medição é patrimônio do Laboratório de Construção Civil Avançado (LACC) da Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco, sendo constituído pelas seguintes partes: medidor de nível de pressão sonora ou microfone; o calibrador; a fonte emissora de ruído omnidirecional; e o software dBBati 01 dB.

As funções correspondentes a cada parte integrante do equipamento estão indicadas na Tabela 14, bem como o microfone e a fonte estão presentes na Figura 17.

Tabela 14 - Partes integrantes do equipamento de medição e suas funções

Parte integrante	Função
1 Medidor de nível de pressão sonora	Coletar os ruídos de emissão, recepção e o tempo de reverberação em campo para posterior análise e compilação no software dBBati.
1 O calibrador acústico	Verificar a calibração do microfone, conforme as especificações do fabricante.
1 A fonte emissora de ruído	Formada por: 1 amplificador de potência; 1 haste elevatória; 1 fonte sonora dodecaédrica; 1 Controle remoto.
1 Software dBBati	Software responsável pela compilação dos dados de campo e geração dos resultados.

Fonte: A autora

Figura 17 - Medidor de nível de pressão sonora e fonte de ruído



Fonte: A autora

A calibração do medidor e da fonte sonora é realizada, preferencialmente, a cada 2 anos, conforme recomendação do fabricante, sendo também realizada pelo mesmo. O calibrador acústico integrante do equipamento objetiva aferir se há ou não necessidade de calibração, sendo verificado antes do procedimento de ensaio.

O procedimento de ensaio para as vedações internas e externas é apresentado na seção a seguir.

5.3 O procedimento de ensaio

Os ensaios foram realizados conforme os procedimentos da norma ISO 16283-1 (ISO, 2014), que substituiu as normas ISO 140-4 (ISO, 1998) e ISO 140-5 (ISO, 1998) citadas pela norma de desempenho.

Esta norma possui recomendações para o número de posições da fonte e do microfone nos ambientes de emissão e recepção, bem como algumas distâncias recomendadas entre estas partes integrantes, a saber:

- a fonte emissora foi posicionada no centro da sala;
- distância mínima de 0,5 m entre o microfone e qualquer superfície;

- distância mínima de 0,7 m entre os pontos de leitura do microfone, de preferência sem alinhamentos;
- distância mínima de 1,2 m entre o microfone e o piso;
- distância mínima de 1,0 m entre o microfone e a fonte emissora.

O procedimento de ensaio para a vedação interna entre 2 salas corresponde ao critério de área inferior a 50 m², preconizado na norma ISO 16283-1 (ISO, 2014), que se adequa às situações encontradas nos empreendimentos monitorados.

Em seguida, com a fonte emissora e o medidor de pressão sonora na mesma sala (sala 1), conforme a Figura 18, coleta-se o ruído de emissão durante 30 s com a fonte ligada.

Figura 18 - Coleta do ruído de emissão



Fonte: A autora

O microfone é, portanto, transportado para a sala 2, a fim de coletar os ruídos de fundo e de recepção em 3 pontos da sala 2, conforme apresenta a Figura 19.

As leituras em cada ponto da sala têm duração de 30 s com a fonte desligada para captação do ruído de fundo e de 30 s com a fonte ligada para captação do ruído de recepção.

Figura 19 - Coleta do ruído de fundo e de recepção



Fonte: A autora

O *software* dBati exige uma diferença mínima de 6 dB entre o ruído de fundo (fonte desligada) e o ruído de recepção (fonte ligada + ruído de fundo) para cada leitura, referente à exigência normativa. Caso contrário, não será possível compilar os dados e gerar os resultados quando esta diferença não é alcançada.

Por isso, a intensidade da fonte de ruído foi elevada para que, juntamente com o ruído de fundo, alcançassem 110 dB, aproximadamente, e garantir uma diferença de pelo menos 10 dB entre o ruído de fundo e o ruído de recepção, conforme recomendações da norma ISO 16283-1 (ISO, 2014).

Por fim, a fonte emissora é deslocada para a sala 2 para coletar os tempos de reverberação em 2 pontos da sala durante 5 s após ter cessado o ruído da fonte, conforme a Figura 20.

Figura 20 - Coleta do tempo de reverberação



Fonte: A autora

Para a realização do ensaio na vedação de fachada, o procedimento é semelhante ao anterior, mas uma das salas é substituída pelo ambiente externo e a outra é um dormitório, conforme a Figura 21.

Figura 21 - Coleta do ruído de emissão para o ensaio na vedação externa



Fonte: A autora

A fonte emissora é locada no ambiente externo do pavimento térreo com o mínimo de 2 m de distância entre o instrumento e a parede ensaiada; enquanto, o microfone é posicionado a 2 m da vedação, conforme apresenta a Figura 21. Coleta-se o ruído de emissão durante 30 s com a fonte emissora de ruído ligada.

O microfone é locado, em seguida, dentro do ambiente dormitório com as esquadrias fechadas sobre um tripé, a fim de coletar o ruído de fundo durante 30 s (fonte desligada) e de recepção durante mais 30 s (fonte ligada) sobre cada um dos 3 pontos de leitura no ambiente, conforme apresenta a Figura 22.

Figura 22 - Coleta dos ruídos de fundo e de recepção para o ensaio na vedação externa



Fonte: A autora

Por fim, coleta-se mais 2 tempos de reverberação com os 2 instrumentos no ambiente interno (microfone e fonte sonora) durante 5 s, após o ruído da fonte ter cessado.

Vale ressaltar que o ensaio nas vedações externas limita-se até o primeiro pavimento com a utilização de uma haste para o suporte do microfone no

ambiente externo durante a coleta do ruído de emissão, conforme apresenta a Figura 23.

Figura 23 - Coleta do ruído de emissão no ensaio da vedação externo no 1º pavimento



Fonte: A autora

O ensaio limita-se até o primeiro pavimento, pois há a exigência mínima normativa de 6 dB entre o ruído de fundo e de recepção (fundo+fonte) no dormitório. Quanto maior o desnível entre os 2 instrumentos, mais difícil a percepção do ruído da fonte, portanto, o ruído de recepção aproxima-se do ruído de fundo, não atendendo a exigência mínima.

5.4 Compilação e análise de dados

Os dados foram compilados no *software* dBBati e obtidos os resultados de desempenho acústico $D_{nt,w}$ e $D_{2m,nT,w}$ para cada medição interna e externa, respectivamente, sendo analisados quanto à conformação com a norma de desempenho, bem como a análise comparativa com referências internacionais.

Para a comparação com as referências internacionais, foi necessária a obtenção dos coeficientes de adaptação no espectro para o ruído rosa (C)

e para o ruído de tráfego, corrigindo os parâmetros $D_{nt,w}$ e $D_{2m,nt,w}$ para estes coeficientes.

Os resultados de $D_{nt,w}$ e $D_{2m,nt,w}$ também foram analisados em função de algumas características da vedação e do entorno, como: o tipo de componente; as espessuras totais e do revestimento, a forma dos ambientes de emissão e recepção; além de características das esquadrias.

Em função do componente, os valores mínimo, máximo, médio e mediano foram obtidos dos resultados de $D_{nt,w}$ e $D_{2m,nt,w}$, utilizando o *software Microsoft Excel*, sendo analisados e discutidos em função da mediana.

Após esta análise, os resultados já agrupados por tipo de componente utilizado, novamente foram organizados conforme as espessuras totais, realizando a análise do comportamento do isolamento acústico com o aumento das espessuras totais e, por consequência, do revestimento também.

Para a análise dos resultados em função da forma do ambiente, foram identificados os formatos e as dimensões do tamanho das salas e dormitórios, sendo realizado testes, a fim de verificar as relações com os respectivos desempenhos.

Por fim, a caracterização de esquadrias de algumas vedações foi também relacionada com o desempenho acústico e discutidas.

O próximo capítulo apresenta e discute os resultados encontrados para cada vedação caracterizada.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo divide-se em 2 partes: a apresentação e a análise dos resultados quanto à conformidade acústica e a análise quanto as principais características da vedação e do entorno.

Na parte 1, os resultados de desempenho acústico das vedações verticais internas e externas são apresentados e analisados quanto à conformidade com a norma NBR 15575-4 (ABNT, 2013) e com as referências internacionais, mencionadas no Capítulo 4.

Na parte 2, os resultados de desempenho foram discutidos em função das principais características da vedação e do entorno.

6.1 Quanto à conformidade acústica

6.1.1 Vedação vertical interna entre unidades autônomas

Foram monitoradas 37 vedações verticais internas entre unidades autônomas de 13 empreendimentos, com exceção das obras 2 e 3, que totalizaram 111 resultados de $D_{nt,w}$ em dB, inseridos na Tabela 15.

Nesta Tabela, verificam-se 3 resultados de $D_{nt,w}$ em dB para cada vedação, identificados como Leituras 1, 2 e 3, devido as 3 leituras de recepção efetuadas, conforme o procedimento de ensaio. Destes 3 resultados, portanto, o menor valor caracteriza o desempenho acústico da vedação.

Além disso, o *software* dBBati forneceu os coeficientes de adaptação no espectro para o ruído rosa (C) e para o ruído de tráfego (C_{tr}), também apresentados na Tabela 15, adaptando os resultados para outros parâmetros internacionais, como os parâmetros $D_{nT,A}$ e $D_{nT,A,tr}$.

Tabela 15 - Resultados de $D_{nt,w}$ em dB das vedações internas

Empresa	Obra	N° da vedação	$D_{nt,w}$ (C; Ctr) em dB				$D_{nt,w} + C = D_{nT,A}$ (dB)				$D_{nt,w} + C_{tr} = D_{nT,A,tr}$ (dB)			
			Leitura 1 (L1)	Leitura 2 (L2)	Leitura 3 (L3)	Mínimo	L1	L2	L3	Mínimo	L1	L2	L3	Mínimo
A	1	I1	37 (-1; -4)	37 (-1; -3)	37 (-1; -3)	37	36	36	36	36	33	34	34	33
		I2	39 (-1; -5)	38 (0; -3)	40 (-1; -3)	38	38	38	39	38	34	35	37	34
	4	I3	38 (0; -2)	*	38 (0; -1)	38	38	*	38	38	36	*	37	36
		I4	39 (-1; -2)	40 (0; -2)	40 (0; -2)	39	38	40	40	40	37	38	38	37
		I5	40 (-1; -2)	40 (0; -2)	40 (-1; -2)	40	39	40	39	39	38	38	38	38
B	5	I6	39 (0; -3)	39 (-1; -4)	40 (-1; -4)	39	39	38	39	38	36	35	36	35
		I7	38 (-1; -3)	37 (0; -3)	38 (-1; -3)	37	37	37	37	37	35	34	35	34
		I8	37 (0; -3)	38 (-1; -5)	38 (-1; -4)	37	37	37	37	37	34	33	34	33
		I9	36 (-1; -5)	36 (-3; -11)	36 (-2; -9)	36	35	33	34	33	31	25	27	27
	6	I10	43 (-1; -2)	43 (-1; -3)	43 (0; -2)	43	42	42	43	42	41	40	41	40
		I11	40 (0; -2)	39 (-1; -3)	40 (-1; -3)	39	40	38	39	38	38	36	37	36
		I12	39 (-1; -3)	39 (-1; -3)	39 (0; -2)	39	38	38	39	38	36	36	37	36
		I13	39 (-1; -5)	39 (-1; -5)	39 (-1; -6)	39	38	38	38	38	34	34	33	33
C	7	I14	38 (0; -1)	38 (0; -1)	38 (0; -1)	38	38	38	38	38	37	37	37	37
D	8	I15	39 (0; -2)	40 (-1; -3)	41 (0; -2)	39	39	39	41	39	37	37	39	37
		I16	40 (-1; -5)	*	42 (-1; -4)	40	39	*	41	39	35	*	38	35
		I17	41 (-1; -5)	42 (-2; -5)	42 (-1; -4)	41	40	40	41	40	36	37	38	36
E	9	I18	38 (-1; -4)	38 (-1; -6)	37 (-3; -10)	37	37	37	34	37	34	32	27	27
		I19	34 (-2; -8)	*	34 (-3; -10)	34	32	*	31	31	26	*	24	24
		I20	39 (-1; -4)	38 (-2; -8)	38 (-3; -10)	38	38	36	35	35	35	30	28	28
		I21	37 (-6; -15)	38 (-3; -9)	38 (-7; -16)	37	31	35	31	31	22	29	22	22

Tabela 15 - Resultados de $D_{nt,w}$ em dB das vedações internas (continuação)

Empresa	Obra	Nº vedação	$D_{nt,w}$ (C; Ctr) em dB				$D_{nt,w} + C = D_{nT,A}$ (dB)				$D_{nt,w} + C_{tr} = D_{nT,A,tr}$ (dB)			
			Leitura 1 (L1)	Leitura 2 (L2)	Leitura 3 (L3)	Mínimo	L1	L2	L3	Mínimo	L1	L2	L3	Mínimo
F	10	I22	36 (-2; -4)	36 (-2; -5)	36 (-1; -5)	36	34	34	35	34	32	31	31	31
		I23	37 (-1; -4)	37 (-1; -5)	38 (-1; -5)	37	36	36	37	36	33	32	33	32
		I24	37 (-1; -5)	38 (-1; -6)	37 (-3; -11)	37	36	37	34	34	32	32	26	26
		I25	34 (0; -4)	34 (0; -4)	34 (-2; -8)	34	34	34	32	32	30	30	26	26
	11	I26	40 (-1; -4)	38 (-1; -4)	40 (-1; -4)	38	39	37	39	37	36	34	36	34
		I27	41 (-2; -4)	40 (-1; -4)	40 (-1; -4)	40	39	39	39	39	37	36	36	36
	12	I28	39 (-1; -2)	38 (-1; -2)	39 (-1; -2)	38	38	37	38	37	37	36	37	36
		I29	37 (-1; -4)	37 (-1; -4)	37 (-2; -6)	37	36	36	35	35	33	33	31	31
		I30	37 (0; -2)	37 (-1; -3)	38 (-1; -3)	37	37	36	37	36	35	34	35	34
		I31	35 (-2; -8)	35 (-1; -5)	35 (-1; -6)	35	33	34	34	33	27	30	29	27
G	13	I32	44 (0; -3)	44 (-1; -3)	45 (-1; -4)	44	44	43	44	43	41	41	41	41
		I33	41 (-2; -5)	42 (-1; -3)	42 (-1; -4)	41	39	41	41	39	36	39	38	36
		I34	43 (-1; -4)	42 (0; -2)	43 (-1; -3)	42	42	42	42	42	39	40	40	39
H	14	I35	41 (-1; -3)	41 (-1; -4)	41 (-1; -4)	41	40	40	40	40	38	37	37	37
		I36	38 (-2; -8)	39 (-3; -10)	39 (-2; -9)	38	36	36	37	36	30	29	30	29
	15	I37	39 (-1; -3)	39 (-1; -3)	40 (-1; -3)	39	38	38	39	38	36	36	37	36

Fonte: A autora

Verifica-se na Tabela 15 que o software dBati não compilou os dados de 3 resultados – indicados com asterisco - pois a diferença entre o ruído de fundo e o de recepção foi inferior a 6 dB. Portanto, dos 111 resultados obtidos, 108 resultados foram válidos para a análise da conformidade.

As vedações, portanto, variaram entre 34 dB e 44 dB, cujas média e mediana foram de 38,35 dB e 38 dB, respectivamente, com desvio padrão de 2,21. Para uma amostra de 37 vedações, o erro padrão e amostral foi de 0,36 dB e 0,71 dB, respectivamente, indicando que parcela expressiva das vedações não estão em conformidade com o critério de 40 dB para paredes de geminação entre salas, conforme a norma NBR 15575 (ABNT, 2013), com 95% de intervalo de confiança.

A Tabela 16 apresenta as frequências absoluta, relativa e acumulada para cada valor obtido entre o valor mínimo e máximo de $D_{nt,w}$ em dB.

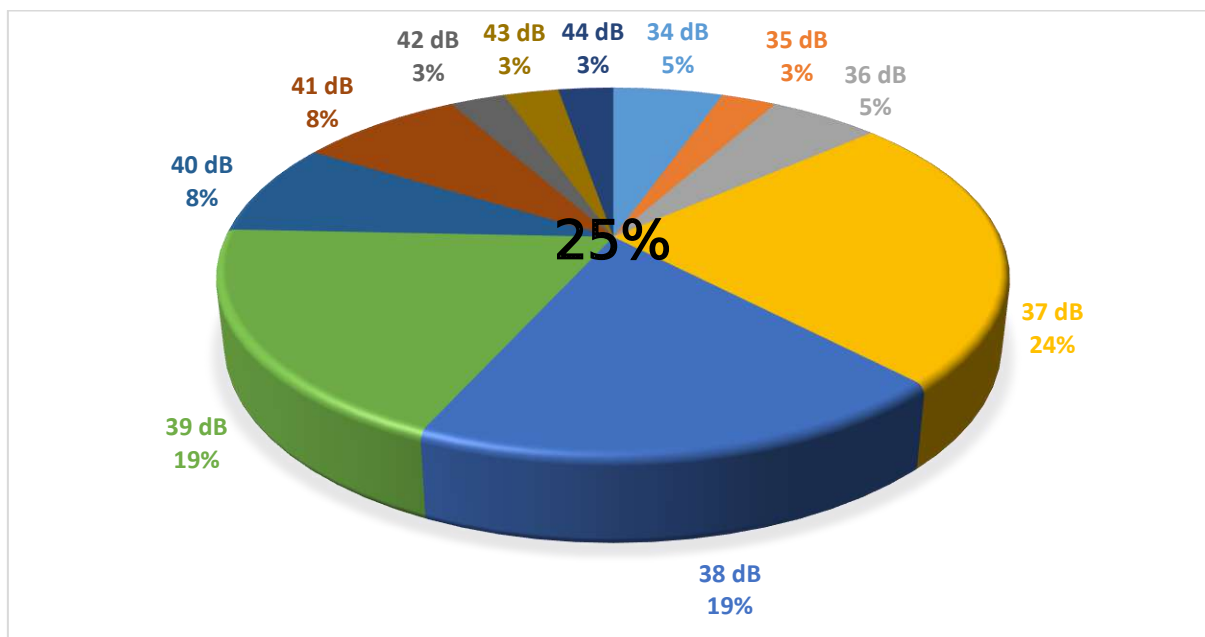
Tabela 16 - Frequências absoluta, relativa e acumulada para cada valor de $D_{nt,w}$ obtido das vedações internas

$D_{nt,w}$ (dB)	Frequência absoluta	Frequência relativa (%)	Frequência relativa acumulada (%)
34 dB	2	5,41%	5,41%
35 dB	1	2,70%	8,11%
36 dB	2	5,41%	13,51%
37 dB	9	24,32%	37,84%
38 dB	7	18,92%	56,76%
39 dB	7	18,92%	75,68%
40 dB	3	8,11%	83,78%
41 dB	3	8,11%	91,89%
42 dB	1	2,70%	97,30%
43 dB	1	2,70%	97,30%
44 dB	1	2,70%	100,00%
TOTAL	37	100,00%	100,00%

Verifica-se, a partir da Tabela 16, que 75,68% dos resultados obtidos encontram-se abaixo do critério mínimo de 40 dB para paredes cegas de geminação entre salas de unidades autônomas.

O Gráfico 1 apresenta as frequências relativas aproximadas da Tabela 16, sendo possível observar que apenas 25% dos resultados obtidos estão em conformidade com o critério mínimo de 40 dB da NBR 15575 (ABNT, 2013) para paredes entre salas; enquanto, nenhum resultado atingiu o desempenho acústico intermediário (45 dB) ou superior (50 dB).

Gráfico 1 - Frequências relativas para a $D_{nt,w}$ das vedações internas



Fonte: A autora

Em relação às referências internacionais, apenas Portugal utiliza o mesmo parâmetro considerado na norma brasileira, o $D_{nt,w}$; embora, com critério mínimo de 50 dB, que nenhum resultado atende.

A Tabela 17 apresenta o valor mínimo, máximo, a média e a mediana dos resultados obtidos adaptados para o ruído rosa e de tráfego.

Tabela 17 - Resumo dos resultados de $D_{nt,w} + C$ e $D_{nt,w} + C_{tr}$ em dB

Vedação	Parâmetro	Máximo (dB)	Mínimo (dB)	Média (dB)	Mediana (dB)
Interna	$D_{nt,w} + C$	43	31	37,03	38
	$D_{nt,w} + C_{tr}$	41	22	33,16	34

Fonte: A autora

O valor máximo dos resultados de $D_{nt,w} + C$ foi de 43 dB; enquanto, o valor máximo dos resultados de $D_{nt,w} + C_{tr}$ foi de 41 dB. Ambos são inferiores aos critérios mínimos internacionais.

Por exemplo, os países Chile, Espanha e França utilizam o mesmo parâmetro ($D_{nt,w} + C$), cujos critérios são de 45 dB, 50 dB e 53 dB, respectivamente. Como o valor máximo encontrado das vedações analisadas foi de 43 dB, nenhuma destas atendeu aos critérios internacionais acima.

Já a Austrália e o Reino Unido utilizam o parâmetro - $D_{nTA,tr}$ ou $D_{nt,w} + C_{tr}$ - cujo critério é de 45 dB para ambos os países. Como o valor máximo encontrado das vedações analisadas foi de 41 dB, nenhuma destas atendeu ao critério de 45 dB.

Corroborar-se que o uso de coeficientes de adaptação eleva os critérios de avaliação do desempenho acústico das vedações.

A Alemanha, Itália, Nova Zelândia e Estados Unidos utilizam parâmetros e procedimentos diferentes para a avaliação do desempenho acústico e, portanto, não puderam ser comparados.

6.1.2 Vedação vertical externa de fachada

As 22 vedações externas da fachada dos dormitórios dos 13 empreendimentos, excetuando-se a Obra 11 e 14, totalizaram 66 resultados de $D_{2m,nt,w}$ em dB, conforme se observa na Tabela 18.

Nesta Tabela 18, verificam-se 3 resultados de $D_{2m,nt,w}$ em dB para cada vedação, identificados como Leituras 1, 2 e 3, devido as 3 leituras de recepção efetuadas, conforme o procedimento de ensaio. Destes 3 resultados, portanto, o menor valor caracteriza o desempenho acústico da vedação.

Tabela 18 - Resultados de $D_{2m,nT,w}$ em dB das vedações externas

Empresa	Obra	Nº da Vedação	$D_{2m,nt,w}$ (C; C_{tr}) em dB				$D_{2m,nt,w} + C = D_{2m,nT,A}$ (dB)				$D_{2m,nt,w} + C_{tr} = D_{2m,nT,A,tr}$ (dB)			
			Leitura 1 (L1)	Leitura 2 (L2)	Leitura 3 (L3)	Mínimo	L1	L2	L3	Mínimo	L1	L2	L3	Mínimo
A	1	E1	25 (-1; -2)	25 (-1; -2)	25 (-1; -6)	25	24	24	24	24	23	23	19	19
	2	E2	22 (0; -2)	23 (0; -1)	22 (-1; -2)	22	22	23	21	21	20	22	20	20
		E3	23 (-1; 0)	24 (-1; -1)	23 (-1; -3)	23	22	23	22	22	23	23	20	20
	3	E4	21 (0; -1)	21 (0; -1)	22 (-1; -1)	21	21	21	21	21	20	20	21	20
		E5	24 (0; 0)	24 (-1; 0)	22 (-1; -1)	22	24	23	21	21	24	24	21	21
	4	E6	23 (-1; -1)	23 (-1; -1)	23 (-1; -1)	23	22	22	22	22	22	22	22	22
B	5	E7	21 (-1; -1)	21 (0; -1)	20 (-1; -1)	20	20	21	19	19	20	20	19	19
		E8	23 (-1; -1)	23 (0; -1)	23 (0; 0)	23	22	23	23	22	22	22	23	22
	6	E9	13 (0; 0)	13 (0; -1)	13 (0; -1)	13	13	13	13	13	13	12	12	12
		E10	13 (-1; -1)	12 (-1; 0)	13 (0; 0)	12	12	11	13	11	12	12	13	12
C	7	E11	20 (0; 0)	19 (0; 0)	20 (0; 0)	19	20	19	20	19	20	19	20	19
D	8	E12	21 (0; 0)	21 (0; 0)	21 (0; 1)	21	21	21	21	21	21	21	22	21
		E13	20 (-1; -1)	21 (-1; -1)	21 (0; 0)	20	19	20	21	19	19	20	21	19
		E14	24 (-1; -2)	24 (-1; -2)	24 (-1; -3)	24	23	23	23	23	22	22	21	21
E	9	E15	19 (0; -1)	19 (0; -1)	19 (0; -2)	19	19	19	19	19	18	18	17	17
		E16	19 (0; 0)	19 (0; 0)	19 (0; -1)	19	19	19	19	19	19	19	18	18
F	10	E17	23 (0; -2)	22 (0; 0)	23 (-1; -1)	22	23	22	22	22	21	22	22	21
		E18	22 (-1; -3)	22 (-1; -4)	22 (0; -3)	22	21	21	22	21	19	18	19	18
G	12	E19	18 (-2; -2)	18 (-1; -2)	18 (0; -1)	18	16	17	18	16	16	16	17	16
		E20	19 (-1; -2)	20 (-1; -1)	21 (-1; -2)	19	18	19	20	18	18	19	19	18
H	13	E21	26 (-1; 0)	26 (-1; 0)	26 (-1; 0)	26	25	25	25	25	26	26	26	26
I	15	E22	24 (-1; -3)	24 (-1; -3)	24 (-1; -1)	24	23	23	23	23	21	21	23	21

O *software* dBBati forneceu os coeficientes de adaptação no espectro para o ruído rosa (C) e para o ruído de tráfego (C_{tr}), cujo parâmetro adaptado para estes coeficientes também estão apresentados na Tabela 18.

Entre os resultados, destacam-se 12 dB e 13 dB obtidos na Obra 6 devido à existência de pré-moldados para instalação de ar condicionados na fachada, discutidos mais adiante. Em relação as outras obras, os resultados variaram entre 18 dB e 26 dB, cujas média e mediana foram de 21,6 dB e 22 dB, respectivamente, com desvio padrão de 2,23.

Considerando uma amostra de 22 vedações externas, os erros padrão e amostral foram 0,48 e 0,93, respectivamente, indicando que parcela expressiva das vedações não estão em conformidade com o critério de 25 dB para habitações localizadas na classe de ruído II e com o critério de 30 dB para habitações localizadas na classe de ruído III, conforme a norma NBR 15575 (ABNT, 2013), com 95% do intervalo de confiança.

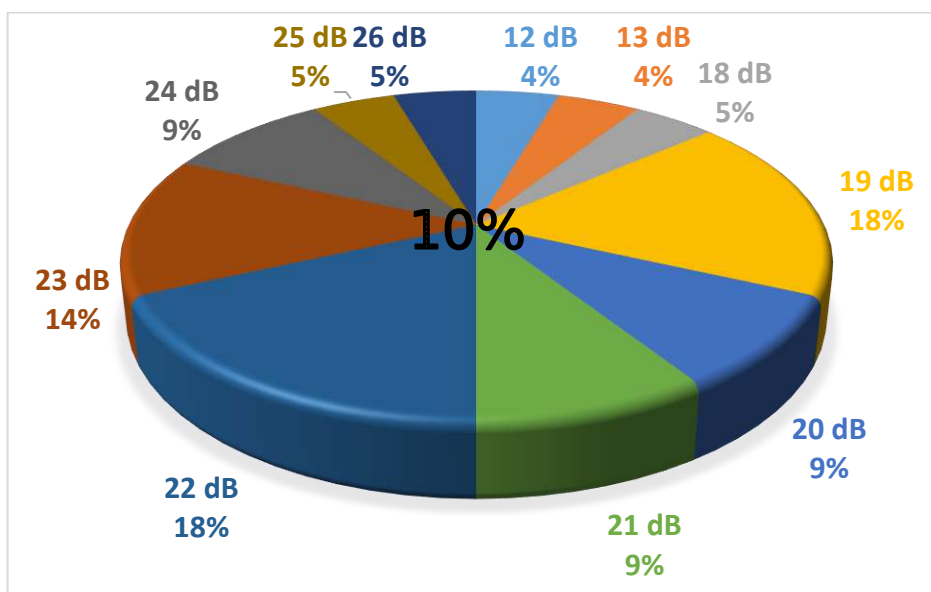
A Tabela 19 apresenta as frequências para cada valor obtido entre o valor mínimo e máximo de $D_{2m,nt,w}$ em dB. Esta última indica que 90,91% das vedações encontram-se abaixo do critério mínimo (25 dB).

Tabela 19 - Frequências para cada valor de $D_{2m,nt,w}$ obtido das vedações externas

$D_{2m,nt,w}$ (dB)	Freq. absoluta	Freq. relativa (%)	Freq. acumulada (%)
12 dB	1	4,55%	4,55%
13 dB	1	4,55%	9,09%
18 dB	1	4,55%	13,64%
19 dB	4	18,18%	31,82%
20 dB	2	9,09%	40,91%
21 dB	2	9,09%	50,00%
22 dB	4	18,18%	68,18%
23 dB	3	13,64%	81,82%
24 dB	2	9,09%	90,91%
25 dB	1	4,55%	95,45%
26 dB	1	4,55%	100,00%
TOTAL	22	100,00%	100,00%

Portanto, as frequências relativas, organizadas no Gráfico 2, permitem observar que apenas 10% das vedações estão em conformidade com o critério mínimo de 25 dB da NBR 15575 (ABNT, 2013) para habitações localizadas na classe de ruído II; enquanto, nenhuma vedação atingiu o desempenho acústico intermediário (30 dB) ou superior (35 dB).

Gráfico 2 - Frequências relativas para a $D_{2m,nt,w}$ das vedações externas



Fonte: A autora

Considerando os empreendimentos localizados na classe de ruído III, nenhum atendeu ao critério mínimo de 30 dB, tendo em vista que o valor máximo de $D_{2m,nt,w}$ obtido foi de 26 dB.

Em relação às referências internacionais, Portugal e Itália utilizam o mesmo parâmetro considerado na norma brasileira, o $D_{2m,nt,w}$; embora, com critério mínimo de 33 dB e 40 dB, respectivamente, que nenhuma vedação alcançou.

A Tabela 20 apresenta o valor mínimo, máximo, a média e a mediana dos resultados obtidos adaptados para o ruído rosa e de tráfego.

O valor máximo dos resultados de $D_{2m,nt,w} + C$ e $D_{2m,nt,w} + C_{tr}$ foi de 25 e 26 dB, respectivamente, inferiores aos critérios mínimos internacionais.

Tabela 20 - Resumo dos resultados de $D_{nt,w} + C$ e $D_{nt,w} + C_{tr}$ em dB

Vedação	Parâmetro	Máximo (dB)	Mínimo (dB)	Média (dB)	Mediana (dB)
Externa	$D_{2m,nt,w} + C$	25	11	20,05	21
	$D_{2m,nt,w} + C_{tr}$	26	12	19,14	19,5

Fonte: A autora

Por exemplo, a Espanha utiliza o parâmetro $D_{2m,nTA,tr}$ ou $D_{2m,nt,w} + C_{tr}$, cujo critério é de 30 dB. Como o valor máximo encontrado das vedações analisadas foi de 26 dB, nenhuma destas atendeu ao critério internacional acima.

Corroborar-se, portanto, que o uso de coeficientes de adaptação eleva os critérios de avaliação do desempenho acústico das vedações.

A Alemanha, Austrália, Chile, EUA, França, Nova Zelândia e Reino Unido utilizam parâmetros e procedimentos diferentes para a avaliação do desempenho acústico e, portanto, não puderam ser comparados.

6.2 Quanto às características da vedação vertical e do entorno

Os resultados de desempenho acústico foram analisados também em função de algumas características da vedação vertical e do ambiente de emissão e recepção, entre as quais: o tipo de componente; o preenchimento das juntas verticais; as espessuras totais e do revestimento; a forma do ambiente e as esquadrias.

Esta análise foi realizada, separadamente, para as vedações entre unidades autônomas (internas) e as vedações de fachada (externas).

6.2.1 Vedação vertical entre unidades autônomas

Para a análise dos resultados de desempenho acústico das vedações verticais internas, a Tabela 21 resume as características a serem analisadas por parede.

Tabela 21 - Tabela resumo com características das vedações verticais internas

Empresa	Obra	Nº vedação	Tipo de componente	Espessura total(cm)	Juntas preenchidas	Geometria de recepção	Dnt,w mínimo (dB)	Critério da norma NBR 15575 (ABNT, 2013)
A	1	I1	Bloco	12,6	Sim	Em L	37	Reprovada
		I2	cerâmico 9 cm	12,8	Sim	Em L	38	Reprovada
	4	I3	Bloco de	13,4	Sim	Em L	38	Reprovada
		I4	concreto	12,4	Sim	Em L	39	Reprovada
		I5	9 cm	11,4	Sim	Em L	40	Aprovada
B	5	I6	Bloco cerâmico 9 cm	14,3	Sim	Em T	39	Reprovada
		I7		13,9	Sim	Em T	37	Reprovada
		I8		14,2	Sim	Em T	37	Reprovada
		I9		15,4	Sim	Em T	36	Reprovada
	6	I10	Bloco cerâmico 9 cm	14,9	Sim	Em L	43	Aprovada
		I11		14,4	Sim	Em L	39	Reprovada
		I12		15	Sim	Em L	39	Reprovada
		I13		13,8	Sim	Em L	39	Reprovada
C	7	I14	B. Cerâmico 9cm	17	Sim	Em L	38	Reprovada
	8	I15	Tijolo 9 cm	13,4	Sim	Em L	39	Reprovada
		I16		14,2	Sim	Em L	40	Aprovada
		I17		13,6	Sim	Em L	41	Aprovada
E	9	I18	Tijolo 9 cm	14,4	Não	Em L	37	Reprovada
		I19		13,7	Não	Em L	34	Reprovada
		I20		14,2	Não	Em L	38	Reprovada
		I21		16,7	Não	Em L	37	Reprovada

Tabela 21- Tabela resumo com características das vedações verticais internas (continuação)

Empresa	Obra	Nº vedação	Tipo de componente	Espessura total(cm)	Juntas preenchidas	Geometria de recepção	Dnt,w mínimo (dB)	Critério da norma NBR 15575 (ABNT, 2013)
F	10	I22	Tijolo 9 cm	14,2	Não	Em T	36	Reprovada
		I23		14,1	Não	Em T	37	Reprovada
		I24		14,2	Não	Em T	37	Reprovada
		I25		16,2	Não	Em T	34	Reprovada
G	11	I26	Bloco gesso 7 cm	11,6	Sim	Em L	38	Reprovada
		I27		12,1	Sim	Em L	40	Aprovada
	12	I28	Tijolo 9 cm	14,3	Não	Em L	38	Reprovada
		I29		13	Não	Em L	37	Reprovada
		I30		14,5	Não	Em L	37	Reprovada
		I31		14	Não	Em L	35	Reprovada
H	13	I32	Bloco de concreto 9 cm	12,7	Sim	Em L	44	Aprovada
		I33		12,6	Sim	Em L	41	Aprovada
		I34		12,5	Sim	Em L	42	Aprovada
I	14	I35	Tijolo 9 cm	13,6	Sim	Em 8	41	Aprovada
		I36		13,2	Sim	Em 8	38	Reprovada
	15	I37	Bloco de gesso 10 cm	10,5	Sim	Em L	39	Reprovada

6.2.1.1 Tipo de componente

Para a análise dos resultados de desempenho acústico em função do tipo de componente, a Tabela 22 apresenta as obras e o quantitativo de vedações internas que utilizaram o mesmo tipo de componente, juntamente com os valores mínimo, máximo, a média e a mediana do parâmetro $D_{nt,w}$ em dB para cada grupo.

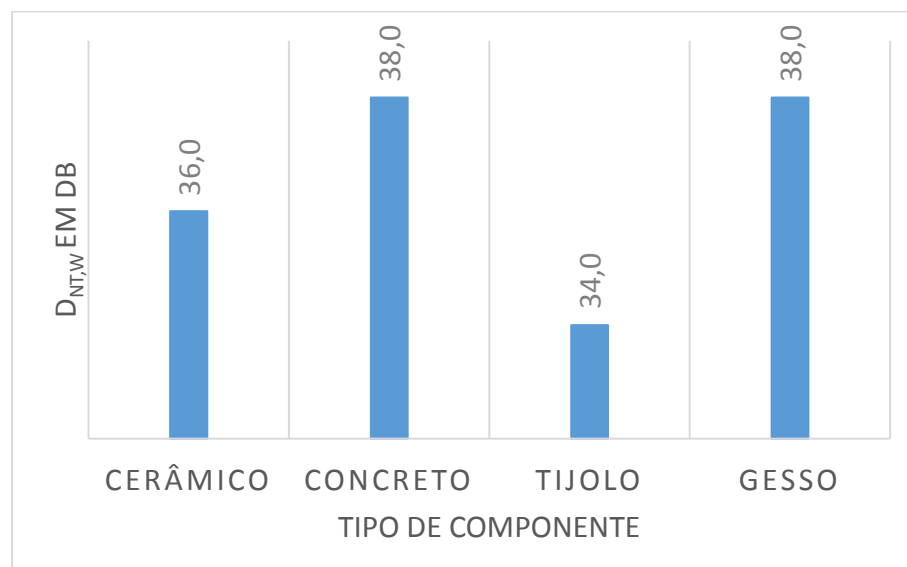
Tabela 22 - Valor mínimo, máximo, média e mediana de $D_{nt,w}$ por tipo de componente de vedo

Obras	Nº de vedações	Componente	Mínimo (dB)	Máximo (dB)	Média (dB)	Mediana (dB)
1, 5, 6 e 7	11	Bloco cerâmico	36	43	38,4	38
4 e 13	6	Bloco concreto	38	44	40,7	40,5
8, 9, 10, 12	17	Tijolo cerâmico	34	41	37,4	37,0
11 e 15	3	Bloco gesso	38	40	39,0	39

Fonte: A autora

Analisando os valores mínimos das vedações por tipo de componente, o Gráfico 3 indica que as obras que utilizaram o tijolo cerâmico tiveram o menor valor encontrado de $D_{nt,w}$, que foi de 34 dB.

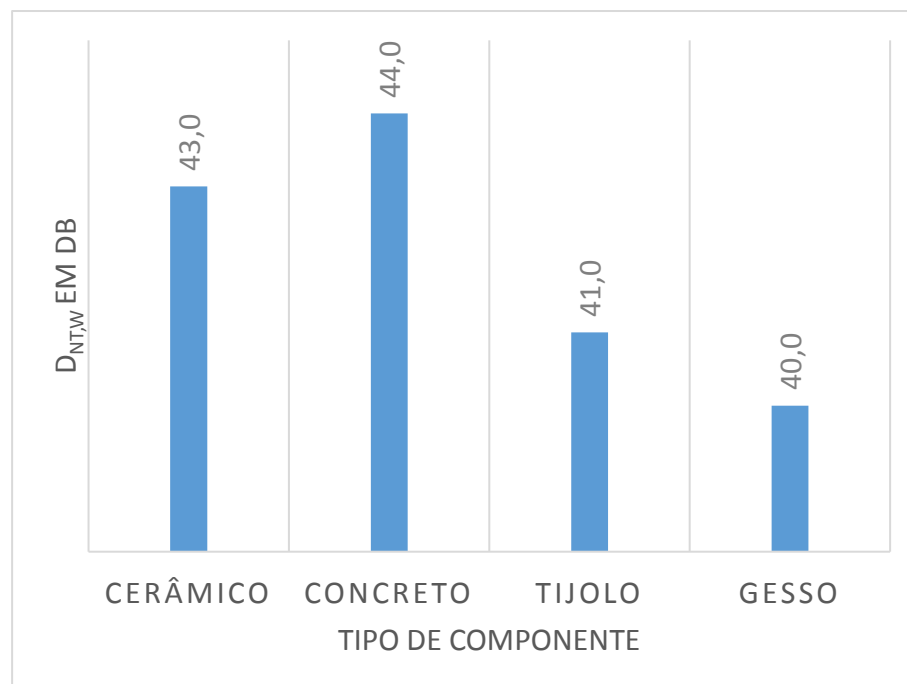
Gráfico 3 - Valores mínimos de $D_{nt,w}$ em dB por tipo de componente



Fonte: A autora

No Gráfico 4, as vedações em bloco de concreto alcançaram o resultado máximo de 44 dB, próximo ao desempenho intermediário de 45 dB. Em seguida, as vedações em bloco cerâmico alcançaram 43 dB; em tijolo cerâmico 41 dB e em gesso. 40 dB. Nota-se que as vedações em bloco de gesso, diferentemente dos outros componentes, não apresentaram variação elevada entre o resultado mínimo e máximo.

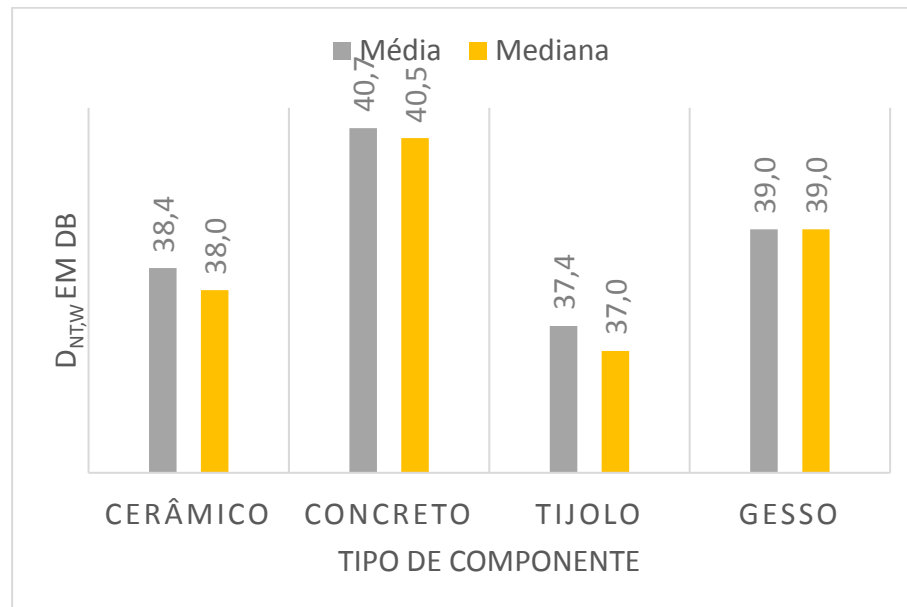
Gráfico 4 - Valores máximos de $D_{nt,w}$ em dB por tipo de componente



Fonte: A autora

Analisando as médias e as medianas no Gráfico 5, verifica-se que estas não variam entre si, indicando que não há resultados extremos nos 4 grupos de vedações.

Além disso, as vedações em blocos de concreto e de gesso apresentaram melhores desempenhos em relação ao bloco e tijolo cerâmicos, conforme se observa no Gráfico 5.

Gráfico 5 – Valores médios e medianos de $D_{nt,w}$ em dB por tipo de componente

Fonte: A autora

A vedação com tijolo cerâmico apresentou o pior desempenho entre as vedações com os demais componentes, provavelmente, pois não foram preenchidas as juntas verticais com argamassa, diminuindo a densidade por m^2 e, por consequência, o isolamento sonoro regido pela lei da massa.

À exceção, a Obra 8 realizou o preenchimento das juntas, alcançando resultados máximos de 41 dB, conforme já mencionado. Portanto, é provável que o desempenho acústico satisfatório possa ser alcançado nas vedações que utilizam os tijolos cerâmicos desde que haja modificação na técnica de execução.

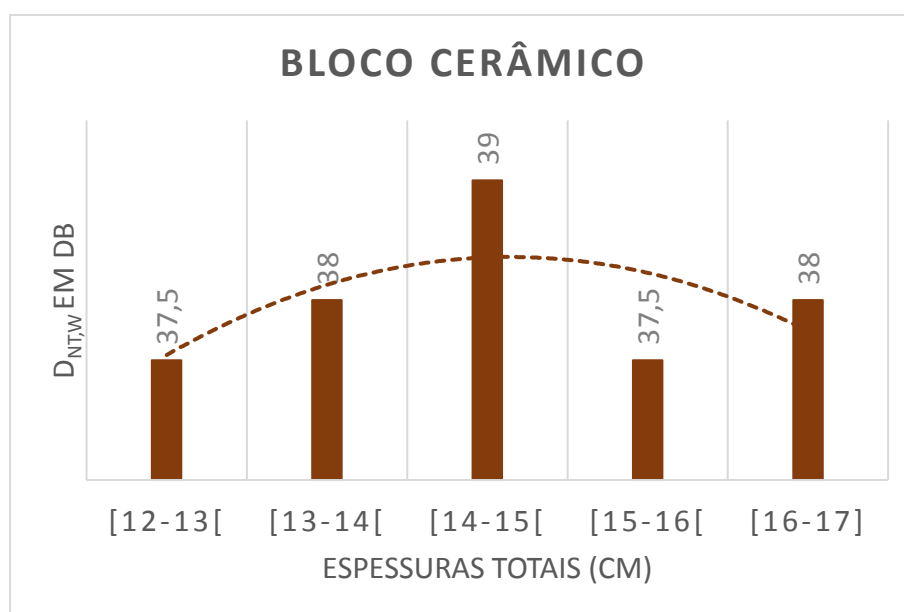
6.2.1.2 Espessuras totais e do revestimento

Os resultados de desempenho acústico por tipo de vedação também foram organizados em função das espessuras totais com intervalo de 1 cm.

Por exemplo, as 11 vedações que utilizaram o bloco cerâmico de 9 cm tinham espessuras totais que variaram entre 12 cm e 17 cm, conforme

apresentado no Apêndice A. No Gráfico 6, estas espessuras foram organizadas com intervalo de 1 cm, bem como a mediana dos resultados correspondentes de $D_{nt,w}$ de cada intervalo.

Gráfico 6 - Medianas de $D_{nt,w}$ em dB em função da espessura total para vedações internas em bloco cerâmico



Fonte: A autora

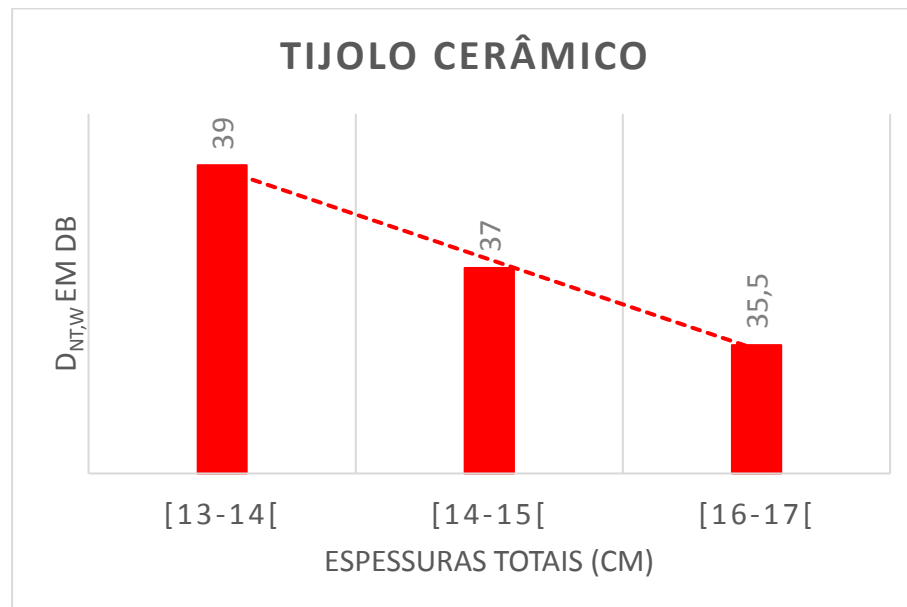
Observa-se, a partir do Gráfico 6, que o parâmetro $D_{nt,w}$ em vedações com bloco cerâmico alcançou mediana máxima entre as espessuras totais de 14 cm e 15 cm, correspondendo a 39 dB.

Como não houve variação na largura do bloco (9 cm), pode-se afirmar também que a espessura do revestimento - que é a diferença entre a espessura total e a largura do bloco - entre 5 cm e 6 cm podem ter contribuído para o aumento do desempenho acústico deste tipo de ved. Espessuras do revestimento entre 5 cm e 6 cm significam 2,5 cm a 3 cm em cada lado da parede.

Já as 17 vedações que utilizaram o tijolo cerâmico de 9 cm tinham espessuras totais que variaram entre 13 cm e 17 cm, conforme apresentado no Apêndice A. No Gráfico 7, estas espessuras foram

organizadas com intervalo de 1 cm, bem como a mediana dos resultados correspondentes de $D_{nt,w}$ de cada intervalo.

Gráfico 7 - Medianas de $D_{nt,w}$ em dB em função da espessura total para vedações internas em tijolo cerâmico



Fonte: A autora

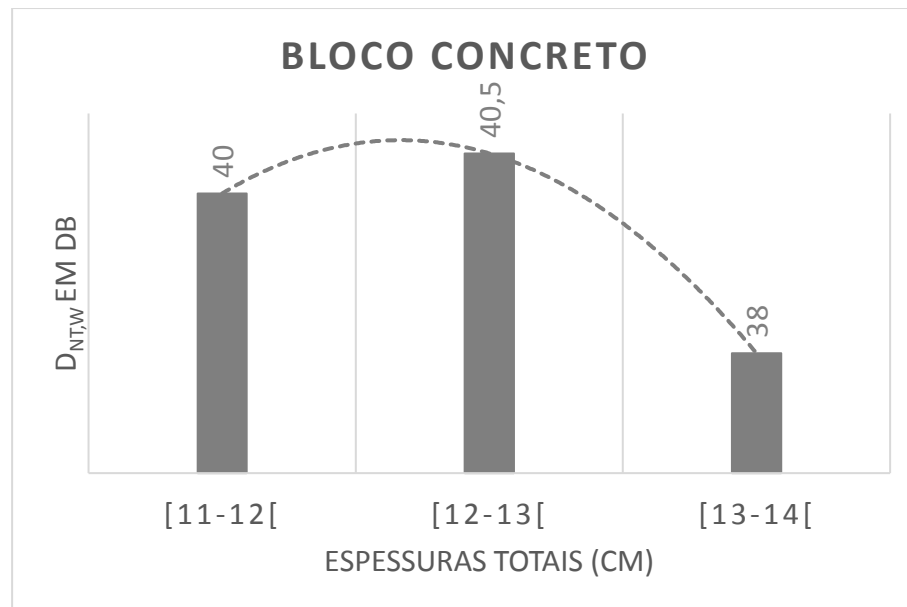
Verifica-se, a partir do Gráfico 7, que as medianas do parâmetro $D_{nt,w}$ em dB decrescem a partir de 13 cm e 14 cm, espessuras estas inferiores ao bloco cerâmico, que possui qualidade superior.

Como não houve variação na largura do bloco (9 cm), pode-se afirmar também que a espessura do revestimento - que é a diferença entre a espessura total e a largura do bloco - entre 4 cm e 5 cm podem ter contribuído para o aumento do desempenho acústico deste tipo de ved. Espessuras do revestimento entre 4 cm e 5 cm significam 2 cm a 2,5 cm em cada lado da parede em média.

As 6 vedações que utilizaram o bloco de concreto de 9 cm tinham espessuras totais que variaram entre 11 cm e 14 cm, conforme apresentado no Apêndice A. No Gráfico 8, estas espessuras foram

organizadas com intervalo de 1 cm, bem como a mediana dos resultados correspondentes de $D_{nt,w}$ de cada intervalo.

Gráfico 8 - Medianas de $D_{nt,w}$ em dB em função da espessura total para vedações internas em bloco de concreto



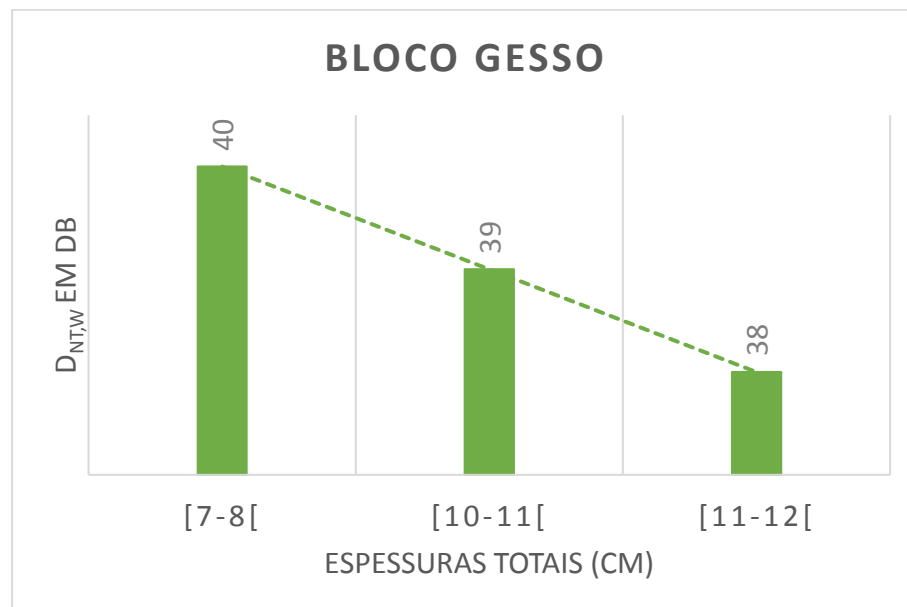
Fonte: A autora

Verifica-se, a partir do Gráfico 8, que as medianas do parâmetro $D_{nt,w}$ em dB possuem comportamento semelhante ao encontrado para as vedações em bloco cerâmico, com desempenho acústico crescente até uma espessura limite e decaimento após esta. Para as vedações em bloco de concreto, a mediana do desempenho decai a partir de 12 cm e 13 cm, espessuras estas também inferiores às vedações em bloco cerâmico.

Como não houve variação na largura do bloco (9 cm), pode-se afirmar também que a espessura do revestimento - que é a diferença entre a espessura total e a largura do bloco - entre 3 cm e 4 cm contribuíram para o aumento do desempenho acústico deste tipo de ved. Espessuras do revestimento entre 3 cm e 4 cm significam 1,5 cm a 2,0 cm em cada lado da parede em média.

Por fim, as 3 vedações que utilizaram o bloco de gesso tinham espessuras totais que variaram entre 7 cm e 12 cm, conforme apresentado no Apêndice A. No Gráfico 9, estas espessuras foram organizadas com intervalo de 1 cm, bem como a mediana dos resultados correspondentes de $D_{nt,w}$ de cada intervalo.

Gráfico 9 - Medianas de $D_{nt,w}$ em dB em função da espessura total para vedações internas em bloco de gesso



Fonte: A autora

Vale salientar que os blocos de gesso não apresentavam a mesma largura e a mesma configuração, conforme mencionado na Tabela 13. Excepcionalmente, a vedação entre 10 e 11 cm utilizou bloco de gesso maciço com largura de 10 cm; enquanto, as demais utilizaram o bloco vazado de 7 cm.

Nota-se que, apesar de especificações diferentes, as vedações em bloco de gesso apresentaram comportamento semelhante as outras vedações com o aumento das espessuras totais, reduzindo o desempenho com o incremento das espessuras. Para as vedações em bloco de gesso, a mediana do desempenho decai a partir de 8 cm.

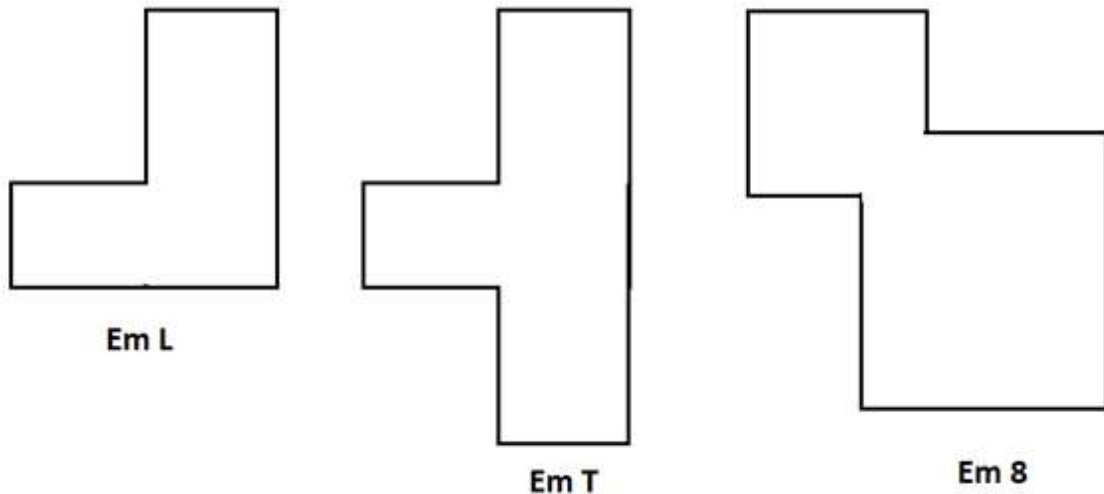
É importante ressaltar que as paredes executadas em blocos de concreto e de gesso necessitam de mais dados, tendo em vista que as vedações em bloco e tijolo cerâmico representam quantitativamente mais vedações.

6.2.1.3 Forma do ambiente

Sabe-se que a forma do ambiente possui propriedades como o formato, o tamanho e a textura.

O formato refere-se ao contorno característico das salas de emissão e recepção, sendo identificados pelo menos 3 tipos de formatos distintos nos projetos executivos arquitetônicos, entre os quais: em L, em T e em formato de 8, conforme apresenta a Figura 24.

Figura 24 - Formatos das salas de emissão e recepção



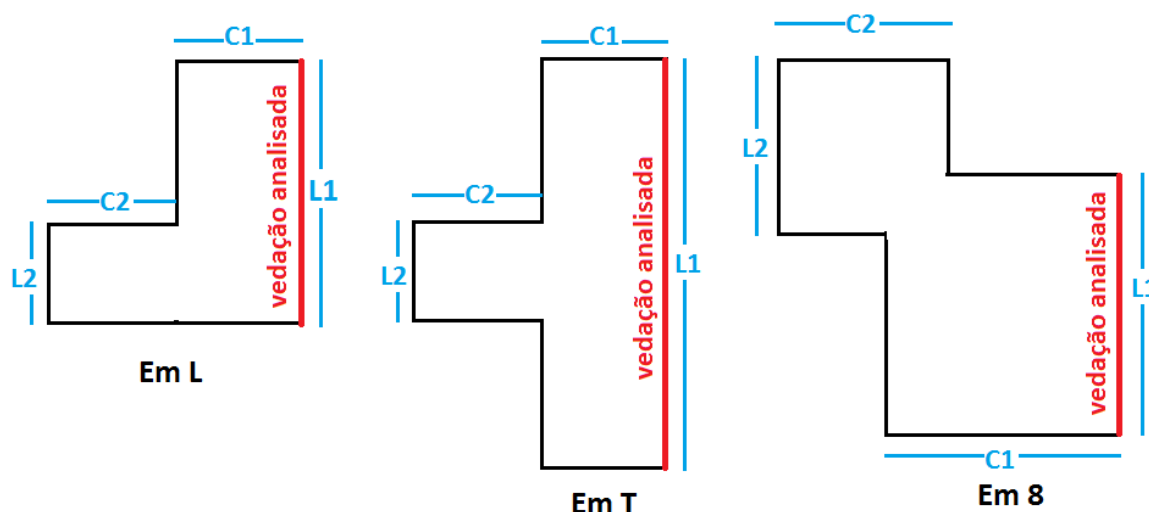
Fonte: A autora

No Apêndice C, são apresentadas as plantas baixas das salas de emissão e recepção por obra, sendo possível identificar o formato referente a cada uma.

Em relação ao tamanho das salas, que está associado as 3 dimensões (altura, largura e comprimento), a altura (A) de 2,60 m foi padrão para quase todas as obras, exceto na Obra 8 com 2,70 m e na Obra 14 com 2,55 m.

A largura (L) e o comprimento (C) foram denominados, segundo à posição em relação à vedação analisada, possuindo 2 valores cada um, conforme apresenta a Figura 25. Convencionou-se que, o índice 1 para a largura e comprimento, refere-se à região mais próxima à vedação analisada.

Figura 25 - Tamanhos das salas de emissão e recepção



Fonte: A autora

O Apêndice C também apresenta as dimensões de largura e comprimento, conforme mencionado, para cada ambiente de emissão e recepção. Vale ressaltar que estes ambientes são simétricos para a mesma obra e, portanto, são iguais.

A Tabela 23 resume os formatos das salas de emissão e recepção para as respectivas obras; além de identificar as dimensões do tamanho – altura (A), largura (L1 e L2) e comprimento (C1 e C2) por obra.

Tabela 23 - Formatos e tamanhos das salas de emissão e recepção por obra

Obra	Formato	A (m)	L1 (m)	L2 (m)	C1 (m)	C2 (m)
1	Em L	2,60	5,02	3,06	2,98	1,55
4	Em L	2,60	3,46	7,27	3,6	2,9
5	Em “T”	2,60	6,9	3,15	2,4	1,04
6	Em L	2,60	3,04	1,82	5,12	2,35
7	Em L	2,60	5,12	2,9	3,32	3,94
8	Em L	2,70	3,26	6,65	3,45	2,68
9	Em L	2,60	4,4	2,6	2,53	0,59
10	Em “T”	2,60	4,42	2,28	2,45	1,33
11	Em “L”	2,60	8	1,25	2,5	2,65
12	Em L	2,60	4,45	2,66	2,4	0,20
13	Em “L”	2,60	4,59	8,45	3,79	3,34
14	Em “8”	2,55	6,43	4,35	5,2	3,32
15	Em “L”	2,60	6,4	2	2,3	1,5

Fonte: A autora

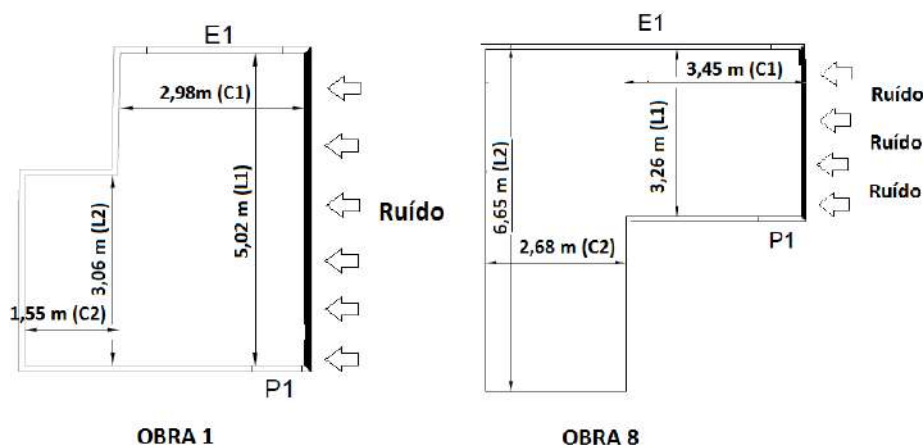
Foram realizadas análises da área e do volume destes ambientes em relação ao desempenho acústico alcançado, mas não foi observada a relação entre eles. Além disso, o tempo de reverberação a 500 Hz foi fornecido pelo software dBati, e também não apresentou relação com o desempenho acústico obtido em campo.

Nota-se que avaliar isoladamente uma característica sem considerar as outras na medição do desempenho acústico em campo ainda é uma difícil tarefa.

Ainda assim, foi possível observar 2 condições relevantes para o desempenho acústico, associadas à posição da vedação de geminação e as dimensões dos ambientes com formato em L.

Note na Figura 26, que as obras 1 e 8 apresentam ambas o formato em L, mas com dimensões (L1, L2, C1, C2) diferentes, conforme a metodologia adotada no presente trabalho.

Figura 26 - Obra 1 e Obra 8 com formato em L, mas tamanhos distintos



Fonte: A autora

Note que na Obra 1, a largura $L1$ é superior a largura $L2$; enquanto na Obra 8, percebe-se o contrário. Neste contexto, foram identificadas as obras com o perfil semelhante à Obra 1 e as obras com o perfil semelhante à Obra 8, apresentadas no Quadro 1 por grupamento.

Quadro 1 - Classificação das obras quanto ao formato

GRUPO 1	GRUPO 2
Obra 1/ Obra 5 /Obra 6/ Obra 7/Obra 9/ Obra 10/ Obra 11/Obra 12/Obra 15	Obra 4 /Obra 8/Obra 13/ Obra 14

Fonte: A autora

Quando se compara os resultados de $D_{nt,w}$ das obras (Tabela 15) em função do grupamento, nota-se que os melhores resultados foram das Obras presentes no Grupo 2, compreendendo 7 vedações das 9 que foram aprovadas pelo critério mínimo de 40 dB. Diante disso, é possível que a relação entre as larguras $L1$ e $L2$ seja um indicador de $D_{nt,w}$ melhores.

6.2.2 Vedação vertical externa de fachada

Para a análise dos resultados de desempenho acústico das vedações verticais externas, a Tabela 24 resume as características das variáveis a serem analisadas.

Tabela 24 - Tabela resumo com características das variáveis das vedações verticais externas

Empresa	Obra	Nº vedação	Tipo de componente	Espessura total (cm)	Juntas preenchidas	Geometria do ambiente	Tipo de abertura da esquadria	D _{2m,nt,w} mínimo (dB)	Critério da norma NBR 15575 (ABNT, 2013)
A	1	E1	B. Cerâmico 9 cm	17,5	Sim	Retangular	De correr	25	Aprovada
	2	E2	B. Cerâmico 9 cm	15,2	Sim	Retangular	De correr	22	Reprovada
		E3		12,4	Sim	Retangular	De correr (RECUO)	23	Reprovada
	3	E4	B. Cerâmico 9 cm	19,5	Sim	Retangular	De correr	21	Reprovada
		E5		19,8	Sim	Retangular	De correr	22	Reprovada
	4	E6	B. concreto 9 cm	16,7	Sim	Em L	De correr	23	Reprovada
B	5	E7	B. cerâmico 9 cm	16	Sim	Retangular	De correr	20	Reprovada
		E8		17,5	Sim	Em L	Fixa e de correr	23	Reprovada
	6	E9	B. cerâmico 9 cm	21,3	Sim	Em L	De correr (PREMOLDADO)	12	Reprovada
		E10		19,6	Sim	Em L	De correr (PREMOLDADO)	13	Reprovada
C	7	E11	B. cerâmico 14 cm	18,4	Sim	Em L	De correr (Em L)	19	Reprovada
D	8	E12	Tijolo 9 cm	14,9	Sim	Retangular	De correr	21	Reprovada
		E13		14,9	Sim	Retangular	De correr	20	Reprovada
		E14		15,5	Sim	Em L	De correr	24	Reprovada
E	9	E15	Tijolo 9 cm	19,2	Não	Retangular	De correr	19	Reprovada
		E16	9 cm	16,8	Não	Retangular	De correr	19	Reprovada

Tabela 24 -Tabela resumo com características das variáveis das vedações verticais externas (continuação)

Empresa	Obra	Nº vedação	Tipo de componente	Espessura total (cm)	Juntas preenchidas	Geometria do ambiente	Tipo de abertura da esquadria	D _{2m,nt,w} mínimo (dB)	Critério da norma NBR 15575 (ABNT, 2013)
F	10	E17	Tijolo	13,2	Não	Retangular	De correr	22	Reprovada
		E18	9 cm	12,9	Não	Retangular	De correr	22	Reprovada
G	12	E19	Tijolo	14	Não	Retangular	De correr	18	Reprovada
		E20	9 cm	14,8	Não	Retangular	De correr	19	Reprovada
H	13	E21	B. concreto 19 cm	29	Sim	Em L	De correr	26	Aprovada
I	15	E22	Tijolo 9 cm	15,5	Sim	Retangular	De correr	24	Reprovada

Fonte: A autora

6.2.2.1 Tipo de componente

Para a análise dos resultados de desempenho acústico em função do tipo de componente, a Tabela 25 apresenta as obras e o quantitativo de vedações externas que utilizaram o mesmo tipo de componente, juntamente com os valores mínimo, máximo, a média e a mediana do parâmetro $D_{2m,nt,w}$ em dB para cada grupo.

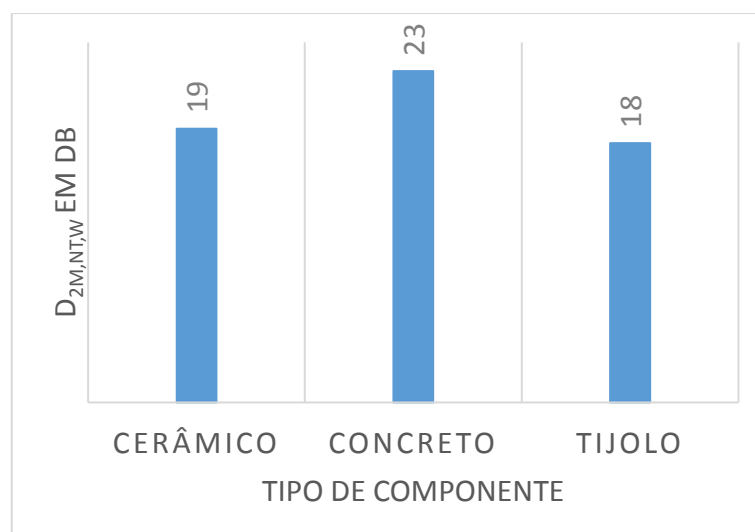
Tabela 25 - Valor mínimo, máximo, média e mediana de $D_{2m,nt,w}$ por tipo de componente de vedo

Obras	Componente	Nº de vedações	Mínimo (dB)	Máximo (dB)	Média (dB)	Mediana (dB)
1, 2, 3, 5 e 7	Cerâmico	8	19	25	21,87	22
4 e 13	Concreto	2	23	26	24,5	24,5
8, 9, 10, 12 e 15	Tijolo	10	18	24	20,8	20,5

Fonte: A autora

A Obra 6 não foi contemplada na Tabela 25, pois apresentava premoldados na fachada que interferiram nos resultados, consideravelmente. Analisando os valores mínimos das vedações por tipo de componente, o Gráfico 10 indica que as obras que utilizaram o tijolo cerâmico tiveram o menor valor encontrado de $D_{2m,nt,w}$, que foi de 18 dB.

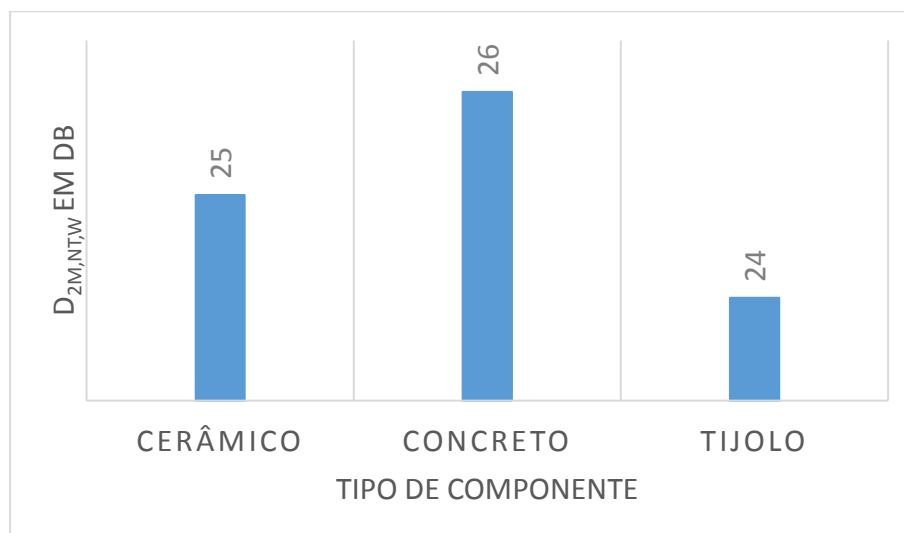
Gráfico 10 - Valor mínimo de $D_{2m,nt,w}$ em dB por tipo de componente



Fonte: A autora

No Gráfico 11, verifica-se que a vedação em bloco de concreto atingiu o valor máximo de 26 dB seguida da vedação em bloco e tijolo cerâmico. Nota-se que a vedação em tijolo cerâmico quase atingiu o desempenho mínimo, que é de 25 dB, para habitações localizadas na classe de ruído II.

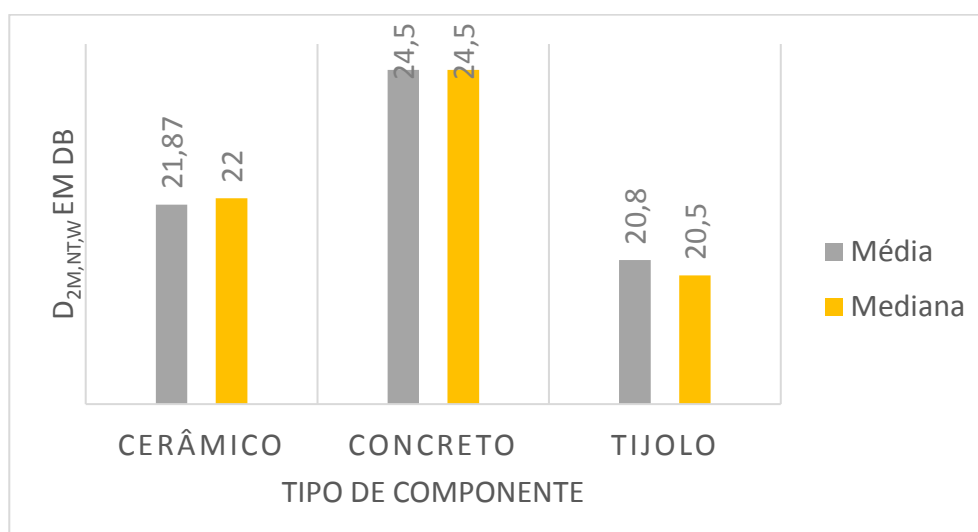
Gráfico 11 - Valor máximo de $D_{2m,nt,w}$ em dB por tipo de componente



Fonte: A autora

Analisando as médias e as medianas no Gráfico 12, verifica-se que estas não variam entre si, consideravelmente, indicando que não há resultados extremos nos 3 grupos de vedações.

Gráfico 12 – Médias e medianas de $D_{2m,nt,w}$ em dB por tipo de componente



Fonte: A autora

Além disso, no Gráfico 12, as vedações em blocos de concreto apresentaram melhores desempenhos em relação ao bloco e tijolo cerâmicos.

A vedação com tijolo cerâmico apresentou o pior desempenho entre as vedações com os demais componentes, provavelmente, pois não foram preenchidas as juntas verticais com argamassa, diminuindo a densidade por m^2 e, por consequência, o isolamento sonoro regido pela lei da massa.

À exceção, a Obra 8 realizou o preenchimento das juntas, alcançando resultados máximos de 24 dB. Portanto, foi possível alcançar desempenhos acústicos próximos ao critério mínimo (25 dB) nas vedações com a utilização de tijolos cerâmicos desde que preenchidas as juntas verticais, possivelmente.

6.2.2.2 Espessuras totais e do revestimento

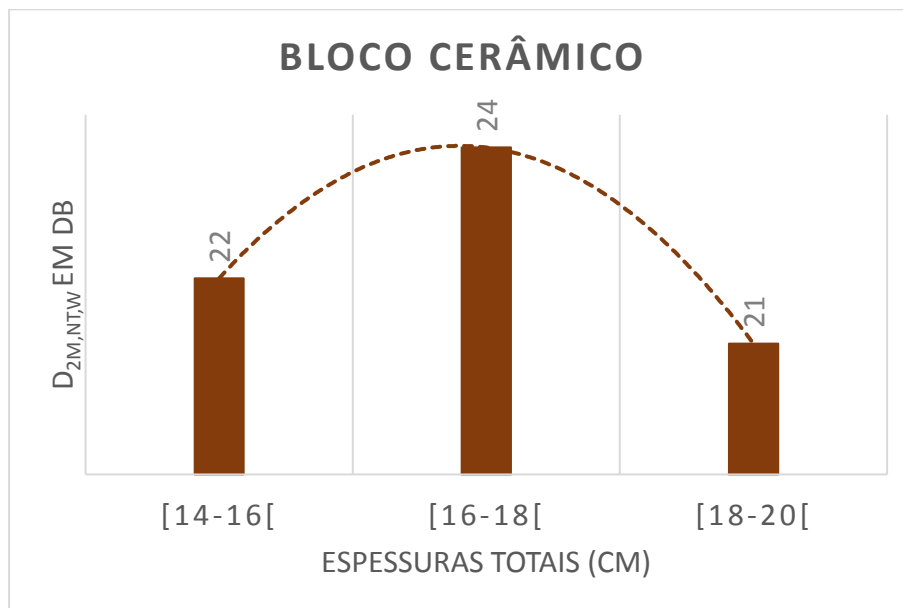
Os resultados de desempenho acústico por tipo de componente também foram organizados em função das espessuras totais com intervalo de 2 cm para as vedações externas.

Por exemplo, as 8 vedações externas que utilizaram o bloco cerâmico tinham espessuras totais que variaram entre 14 cm e 20 cm, conforme apresentado no Apêndice A.

No Gráfico 13, estas espessuras foram organizadas com intervalo de 2 cm, bem como a mediana dos resultados correspondentes de $D_{2m,nt,w}$ de cada intervalo.

Observa-se, a partir do Gráfico 13, que o parâmetro $D_{2m,nt,w}$ em vedações externas com bloco cerâmico alcançou mediana máxima entre as espessuras totais de 16 cm e 18 cm, correspondendo a 24 dB.

Gráfico 13 - Medianas de $D_{2m,nt,w}$ em dB em função da espessura total para vedações externas em bloco cerâmico



Fonte: A autora

As espessuras de 14 a 16 cm e de 16 a 18 cm compreenderam vedações com o bloco cerâmico de 9 cm; enquanto, as espessuras de 18 a 20 cm compreenderam vedações com bloco cerâmico de 9 cm e de 14 cm.

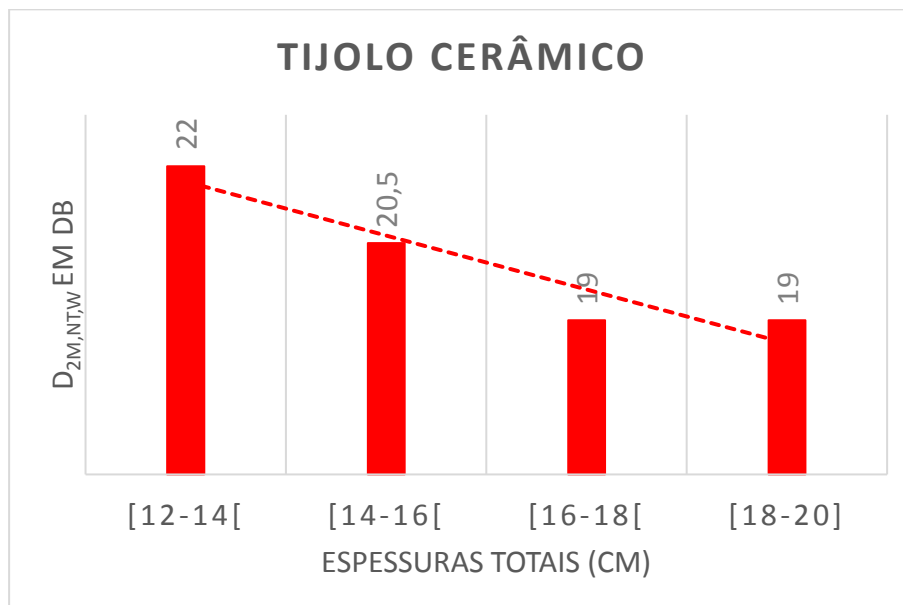
Possivelmente, o menor resultado nas espessuras totais superiores deve-se a esta diferença entre as larguras dos blocos.

Já as 10 vedações que utilizaram o tijolo cerâmico de 9 cm tinham espessuras totais que variaram entre 12 cm e 20 cm, conforme apresentado no Apêndice A.

No Gráfico 14, estas espessuras foram organizadas com intervalo de 2 cm, bem como a mediana dos resultados correspondentes de $D_{2m,nt,w}$ de cada intervalo.

Verifica-se, a partir do Gráfico 14, que as medianas do parâmetro $D_{2m,nt,w}$ em dB decrescem a partir de 12 cm e 14 cm, assim como as vedações em bloco cerâmico.

Gráfico 14 - Medianas de $D_{2m,nt,w}$ em dB em função da espessura total para vedações externas em tijolo cerâmico



Fonte: A autora

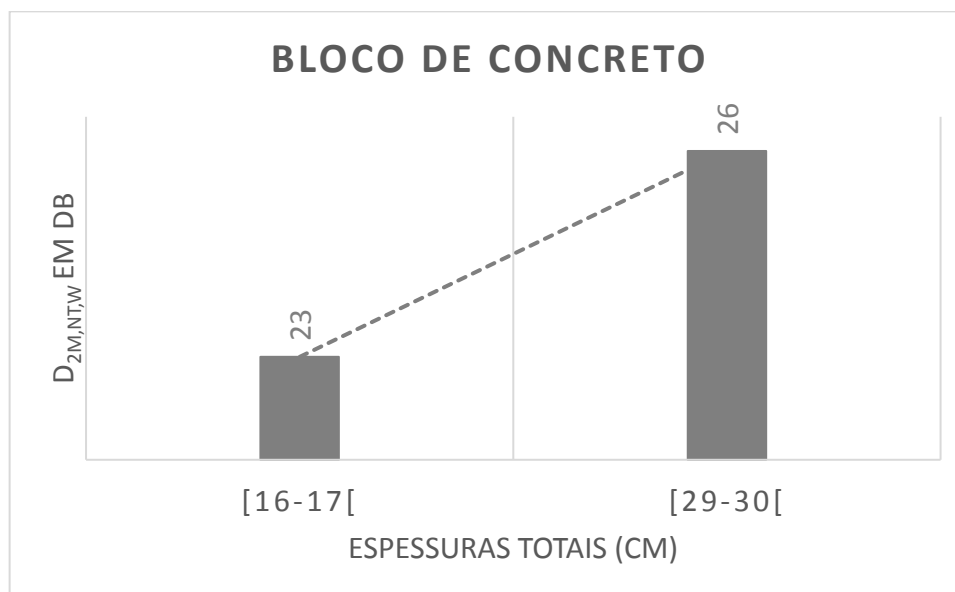
Como não houve variação na largura do bloco (9 cm), pode-se afirmar também que a espessura do revestimento - que é a diferença entre a espessura total e a largura do bloco - entre 3 cm e 5 cm contribuíram para o aumento do desempenho acústico deste tipo de ved. Espessuras do revestimento entre 3 cm e 5 cm significam 1,5 cm a 2,5 cm em cada lado da parede.

Por fim, as 2 vedações que utilizaram o bloco de concreto tinham larguras diferentes, sendo uma vedação com bloco de 9 cm e outra com bloco de 19 cm.

A vedação com bloco de concreto de 9 cm possuiu espessura total de 16,7 cm; enquanto, a vedação com bloco de concreto de 19 cm possuiu espessura total de 29 cm, conforme apresentado no Apêndice A.

No Gráfico 15, estas espessuras foram organizadas com intervalo de 1 cm, bem como os resultados correspondentes de $D_{2m,nt,w}$.

Gráfico 15 - Medianas de $D_{nt,w}$ em dB em função da espessura total para vedações internas em bloco de concreto



Fonte: A autora

Nota-se o comportamento contrário em relação as vedações com os outros componentes, com crescimento do desempenho com o aumento da espessura total.

No entanto, analisando as espessuras do revestimento, a vedação com bloco de 9 cm e espessura total de 16,7 significa uma espessura do revestimento de 7,7 cm; enquanto, a vedação em bloco de 19 cm e espessura total de 29 cm significa uma espessura do revestimento de 10 cm.

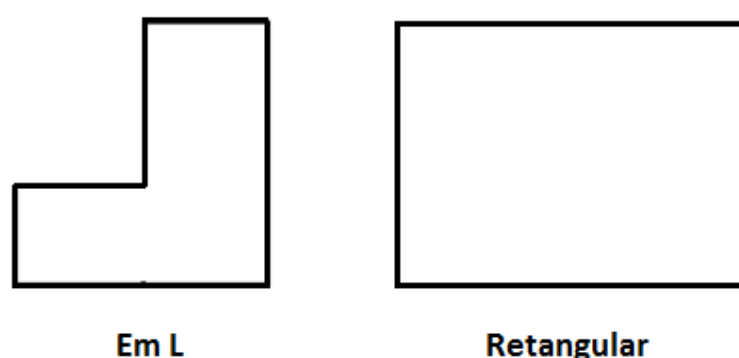
Portanto, acredita-se que a diferença na largura do componente e o incremento na espessura do revestimento podem ter contribuído para o ganho no desempenho acústico.

É importante ressaltar que as paredes executadas em blocos de concreto necessitam de mais dados, tendo em vista que as vedações em bloco e tijolo cerâmico representam quantitativamente mais vedações.

6.2.2.3 *Forma do ambiente*

Os dormitórios foram os ambientes de recepção nos ensaios de fachada; enquanto, o ambiente externo, foi o ambiente de emissão. Nos quartos, foram identificados 2 tipos de formatos distintos nos projetos executivos arquitetônicos, em L e retangular, ambos apresentados na Figura 27.

Figura 27 - Formatos das salas de emissão e recepção



Fonte: A autora

No Apêndice D, são apresentadas as plantas baixas dos dormitórios por obra, sendo possível identificar o formato referente a cada uma.

Em relação ao tamanho, que está associado as 3 dimensões (altura, largura e comprimento), a altura (A) de 2,60 m foi padrão para quase todas as obras, exceto na Obra 2 com 2,40 m e na Obra 8 com 2,7 m.

Nos dormitórios com o formato em L, a largura (L) e o comprimento (C) foram denominados, segundo à posição em relação à vedação analisada, possuindo 2 valores cada um, seguindo a mesma metodologia para a análise da geometria das salas de estar. Já para os dormitórios com o formato retangular, a largura e o comprimento possuem apenas 1 único valor cada um.

O Apêndice D contém as plantas baixas dos ambientes de recepção (dormitórios), bem como suas dimensões (L1, L2, C1 e C2).

A Tabela 26 resume os formatos dos dormitórios para as respectivas obras; além de identificar as dimensões do tamanho – altura (A), largura (L1 e L2) e comprimento (C1 e C2) por obra.

Tabela 26 – Formato e tamanho dos dormitórios

Vedação	Formato	A (m)	L1 (m)	L2 (m)	C1 (m)	C2 (m)
E1	Retangular	2,6	3,24	-	2,54	-
E2	Retangular	2,4	2,55	-	3,21	-
E3	Retangular	2,4	2,51	-	3,27	-
E4	Retangular	2,6	2,4	-	2,72	-
E5	Retangular	2,6	3,1	-	2,81	-
E6	Em L	2,6	3,2	1,38	3,90	1,52
E7	Retangular	2,6	2,68	-	2,7	-
E8	Em L	2,6	4,07	3,05	2,14	1,02
E11	Em L	2,6	5,52	2,8	1,72	2,28
E12	Retangular	2,8	2,72	-	3,63	-
E13	Retangular	2,8	2,38	-	2,98	-
E14	Retangular	2,8	3,22	-	2,67	-
E15	Retangular	2,6	2,4	-	3	-
E16	Retangular	2,6	2,5	-	3	-
E17	Retangular	2,6	2,45	-	3,4	-
E18	Retangular	2,6	2,4	-	3	-
E19	Retangular	2,6	2,4	-	3	-
E20	Retangular	2,6	2,5	-	4,01	-
E21	Em L	2,6	2,45	1,95	2,90	1,85
E22	Em L	2,6	2,6	1,25	3,75	0,5

Fonte: A autora

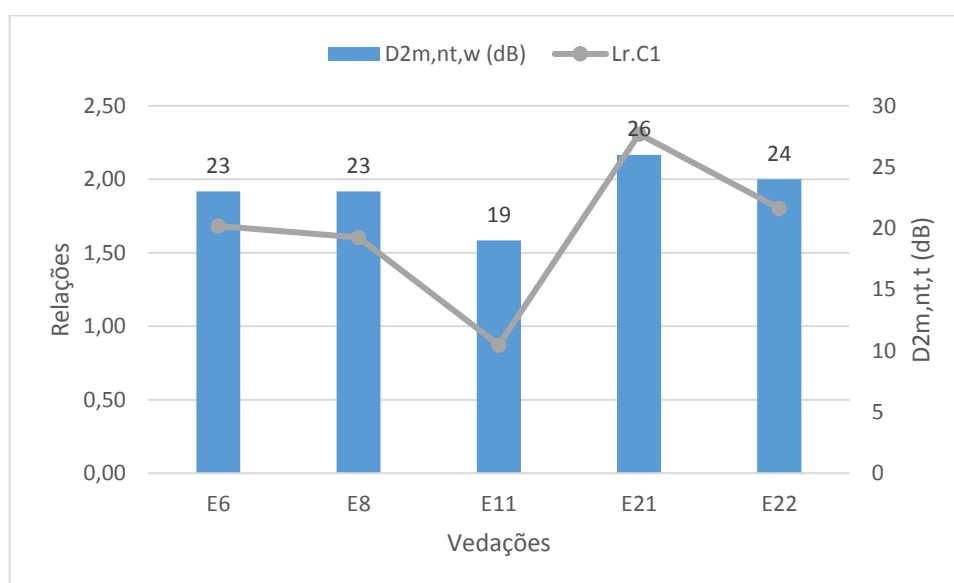
Foram realizadas análises da área e do volume destes ambientes em relação ao desempenho acústico alcançado, mas não foi observada a relação entre eles. Além disso, o tempo de reverberação a 500 Hz foi fornecido pelo software dBati, e também não apresentou relação com o desempenho acústico obtido em campo.

Nota-se que avaliar isoladamente uma característica sem considerar as outras na medição do desempenho acústico em campo ainda é uma difícil tarefa.

Ainda assim, para os dormitórios com formato em L, foram observadas as mesmas condições referentes à posição da vedação de geminação e ao tamanho.

A relação (L_r) entre as larguras L_1 e L_2 foi comparada aos desempenhos $D_{2m,nt,w}$, evidenciando mais uma vez que há possível relação através do R^2 de 0,99, conforme Gráfico 16.

Gráfico 16 - Desempenho $D_{2m,nt,w}$ e a relação (L_r) entre L_1 e L_2 dos dormitórios



Fonte: A autora

6.2.2.4 Esquadrias

As esquadrias apresentam também papel fundamental para a transmissão sonora, principalmente nas vedações verticais externas. Por isso, não foi característica discutida nas vedações internas, já que estas se tratavam de paredes de geminação.

Uma forma de comparar as esquadrias das 22 vedações externas analisadas é através da Classe de Transmissão Sonora (STC), que pode ser do tipo A, B, C ou D, conforme apresenta a Figura 28.

Figura 28 - Etiqueta com indicação da Classe de Transmissão Sonora

**INDICAÇÃO DO DESEMPENHO ACÚSTICO
DE ESQUADRIAS**

Fabricante:	Código do Produto:
Produto:	
Índice de Redução Sonora Ponderado - R_w (dB) A $R_w \geq 30$ B $24 \leq R_w < 30$ C $18 \leq R_w < 24$ D $R_w < 18$	Eficiência deste Produto

IMPORTANTE: A REMOÇÃO DESTA ETIQUETA ANTES DA VENDA, ESTÁ EM DESACORDO COM O CÓDIGO DE DEFESA DO CONSUMIDOR

ABNT-NBR 10821-4

Fonte: AFEAL (2013)

Esta etiqueta que indica a Classe de Transmissão Sonora (STC) a qual a esquadria se adequa deve estar visível para o usuário final, segundo a NBR 10821-4 (ABNT, 2017), recentemente publicada.

Como os edifícios monitorados foram analisados entre 2015 e 2016, a etiqueta não foi encontrada em nenhuma das esquadrias nas vedações durante o ensaio.

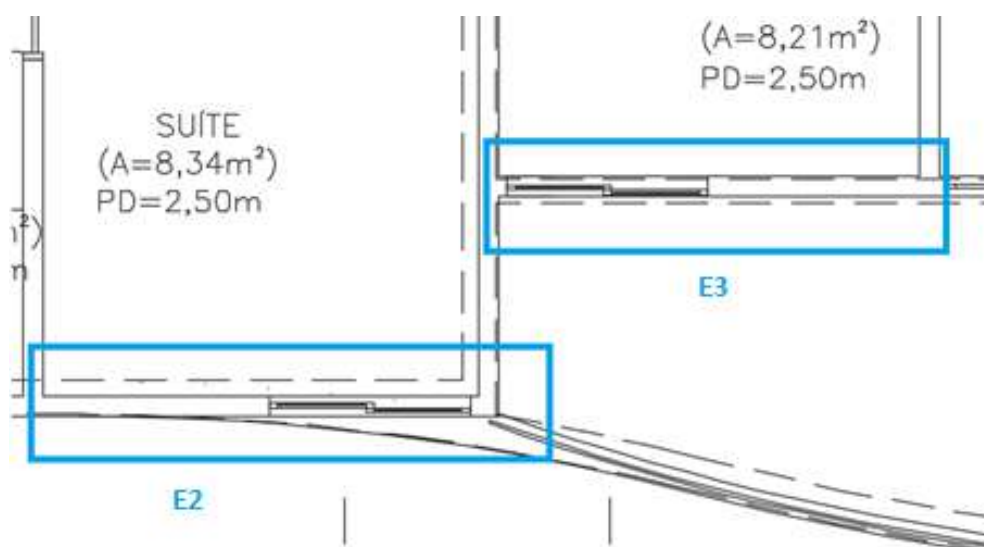
No entanto, foram identificadas algumas características particulares das esquadrias que podem ter influenciado nos resultados, sendo assim, a análise foi subjetiva.

Na Obra 2, por exemplo, as vedações monitoradas E2 e E3 possuem a mesma tipologia de componente (bloco cerâmico de 9 cm), a mesma esquadria, a mesma geometria do ambiente; além de terem sido realizadas no mesmo pavimento, variando apenas as espessuras totais. Inclusive, a vedação E2 tem espessura próxima à espessura total limite de 16 cm para o melhor desempenho em relação à vedação E3.

No entanto, o comportamento das 2 vedações quanto ao desempenho apresentou-se contrário ao proposto com E3 alcançando 23 dB e E2 alcançando 22 dB.

Analisando a planta baixa desta Obra no Anexo B.2, verifica-se que a vedação E3 apresenta-se recuada em relação a E2, sendo provável que a diferença nos desempenhos destas vedações seja pela diferença na arquitetura, conforme se observa nas Figuras 29. e 30.

Figura 29 - Recuo da vedação E3 em relação a E2 na Obra 2 (Planta baixa)



Fonte: A autora

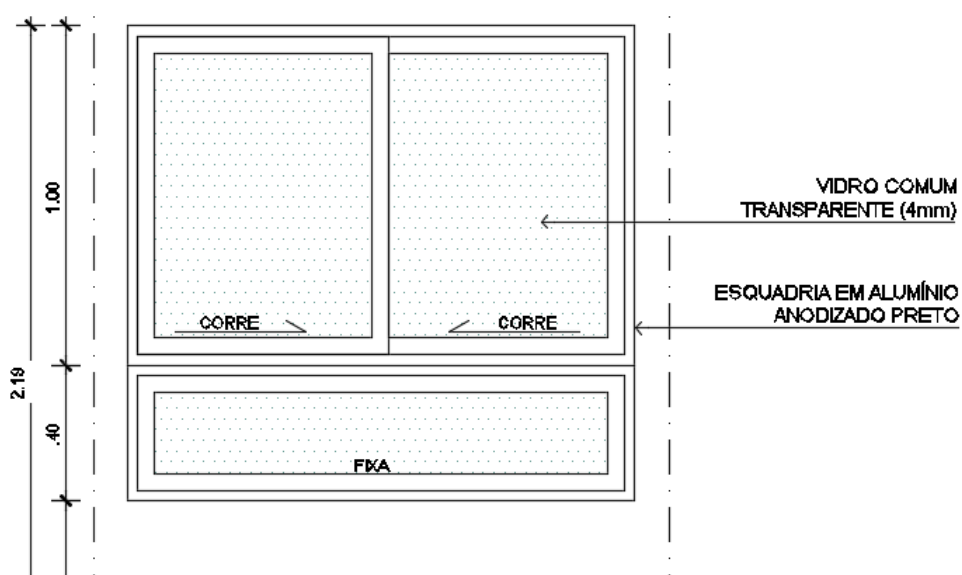
Figura 30 - Recuo da vedação E3 em relação a E2 na Obra 2



Fonte: A autora

Já na Obra 5, a vedação monitorada E8 apresentou a esquadria com dimensões superiores às esquadrias das demais obras, conforme consta no Apêndice B3 e na Figura 31.

Figura 31 - Esquadria fixa/de correr na medição E8 na Obra 5



Fonte: A autora

Este fato sugere que a vedação E8 apresentaria o pior desempenho, já que a esquadria é considerada um ponto fraco relevante na medição do comportamento acústico.

No entanto, o comportamento desta vedação foi contrário ao esperado, alcançando 23 dB e sendo muito próximo ao critério mínimo de desempenho (25 dB),

Sabe-se que, conforme visto na revisão bibliográfica, a abertura do tipo de correr em esquadrias facilita a transmissão por flancos, tendo em vista que há dificuldade de vedação entre as folhas.

Analizando o detalhe desta esquadria na Figura 31, verifica-se que esta apresenta a abertura do tipo fixa e de correr, diferentemente das esquadrias das demais vedações, que são apenas de correr. Portanto, o uso de 2 tipos de aberturas (sendo 1 fixa) pode ter minimizado a influência de suas dimensões superiores.

Na Obra 6, as vedações monitoradas E9 e E10 apresentaram pré-moldados para a instalação de ar condicionados nos dormitórios (Figura 32), o que pode ter reduzido consideravelmente o desempenho acústico destas vedações para 12 dB e 13 dB em relação as vedações das outras obras.

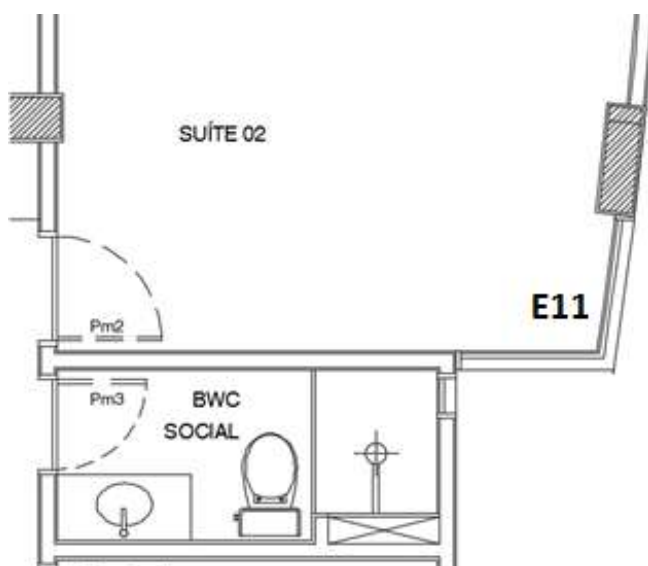
Figura 32 – Pré-moldados de ar condicionados na fachada dos dormitórios



Fonte: A autora

Por fim, a vedação monitorada E11 na Obra 7 apresentou a abertura do tipo de correr, com formato em L e a altura elevada de 1,80 m, conforme apresenta a planta baixa da Figura 33.

Figura 33 - Característica da esquadria EA10 da medição E11 da Obra 7



Fonte: A autora

Estas características da esquadria podem ter influenciado no comportamento acústico da vedação, cujo desempenho foi de apenas 19 dB. Vale ressaltar que esta vedação foi a única que fez uso de bloco com 14 cm; enquanto as outras utilizaram componente de 9 cm, obtendo inclusive desempenhos melhores.

Pode-se afirmar, portanto, que o uso de bloco de 14 cm não é garantia de desempenho acústico mínimo, ressaltando a importância da verificação da Classe de Transmissão Sonora das Esquadrias.