



UNIVERSIDADE CATÓLICA DE PERNAMBUCO  
PRÓ-REITORIA DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**ANÁLISE COMPARATIVA DAS SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS E MEDIÇÕES  
EM CAMPO DOS CRITÉRIOS DE DESEMPENHO ACÚSTICO EM VEDAÇÕES  
VERTICAIS INTERNAS E VEDAÇÕES HORIZONTAIS**

EMANUELA CARVALHO LOBO REZENDE



EMANUELA CARVALHO LOBO REZENDE

**ANÁLISE COMPARATIVA DAS SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS E MEDIÇÕES  
EM CAMPO DOS CRITÉRIOS DE DESEMPENHO ACÚSTICO EM VEDAÇÕES  
VERTICAIS INTERNAS E VEDAÇÕES HORIZONTAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Católica de Pernambuco como requisito parcial, exigido pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil, na Área de Concentração em Engenharia das Construções, orientada pelo professor Angelo Just da Costa e Silva.

Recife

2019

Ficha catalográfica

EMANUELA CARVALHO LOBO REZENDE

**ANÁLISE COMPARATIVA DAS SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS E MEDIÇÕES  
EM CAMPO DOS CRITÉRIOS DE DESEMPENHO ACÚSTICO EM VEDAÇÕES  
VERTICAIS INTERNAS E VEDAÇÕES HORIZONTAIS**

Dissertação de mestrado apresentada à Universidade Católica de Pernambuco como requisito parcial, exigido pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil, na Área de Concentração em Engenharia das Construções.

Aprovado por:

---

Prof. Dr. Angelo Just da Costa e Silva  
(Orientador e Presidente da Banca)  
Universidade Católica de Pernambuco – UNICAP

---

Profa. Dra. Paula Maria Wanderley Maciel do Rêgo Silva  
(Examinador Interno)  
Universidade Católica de Pernambuco – UNICAP

---

Prof. Dr. José Jéferson do Rêgo Silva  
(Examinador Externo)  
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

Data: 10 / 12 / 2019

Recife  
2019

*Às minhas filhas, minhas Marias,  
Luísa e Letícia  
meus mais preciosos presentes de Deus,  
meu combustível diário para seguir adiante sempre  
e não desistir jamais.*

---

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus que me permitiu chegar até aqui com persistência e perseverança, que me deu forças para continuar em meio aos obstáculos surgidos no decorrer dessa etapa e por todas as conquistas que Ele me concedeu.

Um agradecimento especial ao professor Dr. Angelo Just pelos ensinamentos transmitidos, pela paciência e por ter aceitado ser orientador deste projeto.

Ao MEC, por meio da Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pelo apoio financeiro através da bolsa de estudos PROSUC concedida durante todo o programa de mestrado.

Aos amigos conquistados no decorrer desta pós-graduação, João Mélo, Barbara Paiva e Pedro Góes, e a todos que diretamente incentivaram-me para a conclusão deste trabalho, pelos bons momentos e companheirismo nas disciplinas, especialmente não permitindo que o desânimo na reta final fizesse ruir o esforço e desafios vencidos no decorrer do programa.

Aos colaboradores do departamento de acústica da TECOMAT, Otávio, Marconi e Ênio, pela ajuda na manipulação dos softwares utilizados nas modelagens e apoio nas análises dos dados encontrados.

Ao meu gerente Valério e chefes imediatos, Sebastião e Antonio, que viabilizaram a compensação da jornada de trabalho em horário diferenciado para que eu cumprisse a carga horária letiva das disciplinas, pelo apoio e torcida para a conclusão desta pós-graduação. À minha amiga Ju, a quem primeiro compartilhei a alegria na aprovação do programa e quem sempre esteve ao meu lado, dando-me ânimo e incentivo em seguir adiante nesse projeto.

Ao meu pai Fred pelo constante reconhecimento e incentivo aos estudos.

Ao meu esposo Eduardo pela compreensão nas ausências necessárias em vários programas familiares em prol da concretização dessa etapa acadêmica.

Enfim, às minhas princesas que abdicavam de passeios em sábados e domingos para ficarem na minha presença e se contentavam com o restinho do domingo em família.

Ou seja, sozinha eu não conseguiria chegar até aqui. Muito obrigada a todos.

---

REZENDE, Emanuela Carvalho Lobo. **Análise comparativa das simulações computacionais e medições em campo dos critérios de desempenho acústico em vedações verticais internas e vedações horizontais**. Recife, 2019. 273p. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade Católica de Pernambuco, 2019.

## RESUMO

Nas áreas urbanas e nas grandes cidades, inúmeros problemas de poluição trazem impactos negativos, ao meio ambiente e à saúde das pessoas. A poluição sonora é um dos problemas que vêm sendo tratados potencialmente pela sociedade pelo impacto causado tanto em relação ao conforto, quanto aos malefícios que trazem à saúde. Para promover melhor uso e ocupação das edificações habitacionais, tem-se procurado a qualidade acústica dos ambientes através de modificações em sistemas construtivos consolidados e melhoria na tecnologia construtiva. Surge, nesse contexto, a NBR 15575, denominada como norma de desempenho, vinculando o desempenho das edificações habitacionais aos aspectos de conforto, segurança e durabilidade. A norma apresenta critérios a serem alcançados e a maneira pela qual tais parâmetros devem ser medidos. Sendo o desempenho acústico um dos requisitos da norma, busca-se a atenuação sonora entre os ambientes, cujo objetivo tem envolvido não apenas construtores, como também projetistas, fornecedores e usuários. Os modelos de previsão acústica a partir de simulação computacional (SC) tem sido a ferramenta utilizada para avaliar o comportamento acústico do imóvel, antes mesmo da execução da obra e, assim, possibilitar redução de custos de adaptações no pós-obra. Esta pesquisa visa avaliar a eficiência da simulação computacional por meio da análise de dados de simulações e medições de campo (MC) de 14 estudos de caso, em relação aos sistemas de vedações verticais internas (SVVI) e sistemas de vedações horizontais (SVH). A análise comparativa de 75 dados de SC e MC de SVVI, demonstrou que mais de 50% dos dados de simulação apresentaram valores compatíveis com a medição de campo, no sentido de serem considerados potencialmente iguais, levando em consideração a incerteza da medição de campo prevista na metodologia de avaliação constante na norma, na ordem de  $\pm 2$ dB. Retirando dados discrepantes, devido às limitações do programa, esse percentual chega a 69%. Em relação aos 228 dados de SVH, dos quais 116 foram em relação ao ruído aéreo – SVH-RA e 102 em relação ao ruído de impacto – SVH-RI, o estudo comparativo apresentou 38% de aceitabilidade entre medição e simulação para SVH-RA e 46% para SVH-RI. Essa aceitabilidade remete aos valores dentro da faixa de  $\pm 2$ dB da incerteza citada. Os dados mostraram ainda variação entre SC e MC, ora apresentando SC maior, ora MC maior. A expectativa era da convergência dos resultados, porém onde ocorreu situações de valores de MC maiores que SC, conclui-se que desfrutar-se-á em campo de melhor desempenho que o mínimo da norma projetado. O contrário confirmou que fatores imprevistas de campo, falhas construtivas, de vedações etc comprometem o desempenho esperado. Verificou-se ainda, através de variação dos dados de entrada, que a fidelidade à especificação técnica dos sistemas projetados reproduz valores confiáveis, e o contrário resulta na fragilidade e discrepância dos dados. De modo geral, os resultados da análise comparativa apontam como positiva a utilização da simulação computacional, pois parte do percentual fora da aceitabilidade nesse estudo representa incertezas nas medições, sendo, portanto, a simulação um instrumento eficaz de previsão e útil na busca da qualidade acústica das edificações residenciais.

Palavras chave: acústica, desempenho, desempenho acústico, simulação computacional, qualidade acústica.

---

REZENDE, Emanuela Carvalho Lobo. **Comparative analysis of computer simulations and field measurements of acoustic performance criteria on internal vertical seals and horizontal seals.** Recife, 2019. 273p. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade Católica de Pernambuco, 2019

## ABSTRACT

In urban areas and large cities, numerous pollution problems have negative impacts on the environment and human health. Noise pollution is one of the problems that are potentially being treated by society due to the impact caused both in terms of comfort and the health hazards they cause. To promote better use and occupation of housing buildings, the acoustic quality of the environments has been sought through modifications to consolidated building systems and improvements in building technology. In this context, the NBR 15575, named as the performance standard, emerges, linking the performance of housing buildings to the aspects of comfort, safety and durability. The standard presents criteria to be met and the manner in which such parameters should be measured. Since acoustic performance is one of the requirements of the standard, the aim is to attenuate sound between environments, whose objective has involved not only builders, but also designers, material suppliers and users. Acoustic forecasting models from computational simulation (SC) has been the tool used to evaluate the acoustic behavior of the property, even before the work is done, thus enabling the reduction of post-adaptation costs. This research aims to evaluate the reliability of computational simulation by analyzing data from simulations and field measurements (MC) of 14 case studies, in relation to internal vertical sealing systems (SVVI) and horizontal sealing systems (SVH). Comparative analysis of 75 SVVI SC and MC data showed that more than 50% of the simulation data showed values compatible with the field measurement, in the sense that they were considered potentially equal, taking into account the uncertainty of the predicted field measurement in the evaluation methodology contained in the standard, in the order of  $\pm 2$ dB. Removing discrepant data, due to the limitations of the program, this percentage reaches 69%. For the 228 SVH data, of which 116 were for SVH-RA and 102 for SVH-RI, the comparative study showed a 38% acceptability between SVH-RA measurement and simulation and 46% for SVH-RI. This acceptability refers to the values within the  $\pm 2$ dB range of the afore mentioned uncertainty. The data also showed variation between SC and MC, sometimes presenting a larger SC, sometimes a larger MC. The expectation was that the results would converge, but where situations of MC values greater than SC occurred, it is concluded that the field will enjoy better performance than the minimum of the projected standard. The contrary confirmed that unforeseen factors in the field, construction failures, seals etc. compromise the expected performance. It was also verified, through variation of the input data, that the fidelity to the technical specification of the projected systems reproduces reliable values, and the opposite results in the fragility and discrepancy of the data. In general, the results of the comparative analysis point out as positive the use of computer simulation, since part of the percentage out of the acceptability in this study represents uncertainty in the measurements, being, therefore, the simulation an effective instrument of forecast and useful in the search for acoustic quality residential buildings.

Keywords: acoustics, performance, acoustic performance, computer simulation, acoustic quality.



## Lista de Figuras

Figura 1 - Diferença entre som e ruído (Definição física quanto a periodicidade) .....	31
Figura 2 - Diferença entre som e ruído (Definição subjetiva em função do ouvinte) .....	32
Figura 3 - Vibrações sonoras.....	35
Figura 4 - Som e meio vibrante (pelo ar e pelo elemento construtivo) .....	36
Figura 5 - Vibração de uma partícula e das partículas vizinhas .....	37
Figura 6 - Onda sonora.....	37
Figura 7 - Representação de ondas sonoras relacionando Pressão x Tempo .....	38
Figura 8 - Pressão X Tempo.....	39
Figura 9 - Descrição física dos elementos da onda sonora: comprimento/amplitude .....	39
Figura 10 - Altura som .....	41
Figura 11 - Faixa de variação de pressão audível .....	42
Figura 12 - Gama de frequências audíveis para o indivíduo padrão .....	43
Figura 13 - Área audível e curvas limites de audição e de dor .....	45
Figura 14 – Correlação pressão sonora ( $\mu\text{Pa}$ ) e nível de pressão sonora (dB).....	46
Figura 15 - Propagação uniforme esférica .....	47
Figura 16 - Comportamento da onda sonora frente a obstáculos .....	48
Figura 17 - Comportamento do som direto e suas reflexões em um ambiente .....	48
Figura 18 – Reflexões e absorção do som em ambientes.....	49
Figura 19 - Eco e Reverberação .....	50
Figura 20 – Ilustração do conceito de Tempo de reverberação.....	51
Figura 21 - Som: parcela transmitida .....	53
Figura 22 - Formas de transmissão sonora.....	54
Figura 23 - Transmissão sonora pela falta de vedação.....	55
Figura 24 - Ilustração de atenuação acústica devido ao isolamento.....	56
Figura 25 - Diferença entre sons de condução aérea e sons de condução sólida ao nível da geração e propagação do ruído .....	59
Figura 26 (a,b)- Transmissão de ruídos de impacto e vibrações .....	60
Figura 27 - Exemplos de sons de condução aérea e de percussão com origem no exterior dos edifícios .....	61
Figura 28 - Trecho de carta acústica Fortaleza.....	65
Figura 29 - Notícias Briga entre vizinhos - Portal G1 SP 24.05.13 e G1 Bauru e Marília 18.06.19.....	67
Figura 30 - Notícia R7 Cidade Alerta 31.07.16-Briga entre vizinhos em Minas Gerais.....	67
Figura 31 - Notícia R7 Cidade Alerta 09.04.16-Briga entre vizinhos em São Paulo.....	67
Figura 32 - Peculiaridade da questão do incômodo acústico-Contraste de percepções .....	68
Figura 33 - Curvas de avaliação de ruído (NC) da NBR 10152 (versão gráfica :1987 /versão tabelada:2017) .....	74

---

Figura 34 - Esquema histórico de estudos, elaboração e publicação definitiva da NBR 15575 .....	81
Figura 35 - Resumo esquemático da estruturação da norma (adaptado).....	83
Figura 36 - Organização dos requisitos da Norma, conforme pilares de Segurança, Habitabilidade, Sustentabilidade .....	84
Figura 37 - Matriz de organização da Norma de Desempenho.....	86
Figura 38 - Desempenho ao longo do tempo – NBR 15575-1.....	87
Figura 39 - Requisito de Desempenho Acústico dentro da Matriz de requisitos da NBR 15575 .....	89
Figura 40 – Fontes de ruído.....	90
Figura 41 - Fluxograma esquemático de projeto nos países europeus .....	91
Figura 42 - Sonômetros.....	104
Figura 43 - Fonte emissora de ruído.....	105
Figura 44 - Equipamento de produção de .....	105
Figura 45 - Proposição de Fluxograma ideal de proposta de atendimento ao desempenho acústico antes da execução da obra .....	113
Figura 46 - Fluxograma das etapas da análise comparativa - Metodologia .....	115
Figura 47 - Esquemas de realização das medições dos ensaios de campo.....	120
Figura 48 - Projeto de arquitetura I-10: Planta baixa pavt° tipo .....	121
Figura 49 - Planta limpa I-10 exportada em formato DXF .....	122
Figura 50 - Planta limpa I-9 exportada em formato DXF.....	122
Figura 51 - Planta limpa I-8 exportada em formato DXF.....	122
Figura 52 - Tela de configuração dos cálculos normatizados no Software Insul.....	123
Figura 53 - Tela de edição ou criação de novo material .....	124
Figura 54 - Composição de parede interna – Imóvel I-08 (parede de bloco cerâmico de vedação de 14,0 cm e revestimento de base cimentícia de 3,0 cm em cada lado).....	126
Figura 55 - Composição de parede de vedação interna - Imóvel I-03 (parede de bloco cerâmico de vedação de 14,0 cm e revestimento de passa de gesso de 2,0 cm em cada lado).....	127
Figura 56 - Croqui de detalhamento da laje nervurada (piso/teto) – I-9 .....	128
Figura 57 - Simplificação utilizada na modelagem das lajes/pisos – exemplo caso de estudo I-9 .....	128
Figura 58 - Modelagem de composição de laje nervurada – I-9 .....	129
Figura 59 - Índice de redução sonora $R_w$ da laje de piso/teto calculado pelo Insul – I-9.....	130
Figura 60 - Nível de pressão sonora de impacto padrão de piso/teto calculado pelo Insul – I-9 .....	131
Figura 61 – Tela inicial do SONarchitect ISO .....	133
Figura 62 - Carregamento dos limites mínimos - níveis mínimos da NBR 15575 .....	134
Figura 63 - Importação das plantas de eixo em DXF e definição de pavimentos e repetições .....	135
Figura 64 - Redesenho das plantas usando ferramentas de desenho do Sonar – I-9 .....	136
Figura 65 - Identificação dos ambientes – tipos e unidades residenciais – I-9 .....	137
Figura 66 - Dados após modelagem de laje de piso através do Insul – imóvel I-10.....	138
Figura 67 - Atribuição de materiais em sistema de piso no SONarchitect - valores importados do Insul – imóvel I-10.....	139

---

Figura 68 - Atribuição dos materiais em sistemas de vedações (paredes) – imóvel I-9.....	139
Figura 69 - Atribuição dos materiais em sistemas de piso/laje – imóvel I-9 .....	140
Figura 70 - Exemplo do projeto modelado em 3D – I-9 .....	141
Figura 71 - Plotagem do comportamento acústico do projeto I-9.....	141
Figura 72 – Plotagem por pavimento com indicação de área de não .....	142
Figura 73 - Plotagem dos recintos não conformes em todo o prédio – I-9 .....	142
Figura 74 - Análise de ruído de condução aérea em paredes de geminação – I-9.....	143
Figura 75 - Análise de ruído de impacto – I-9 .....	144
Figura 76 – Estatísticas e Histograma pelo programa de conformidade a Norma – I-9.....	144
Figura 77 - Índices levantados, simulados e comparados na pesquisa.....	145
Figura 78 - Classificação de avaliação adotada.....	147
Figura 79 - Planta baixa tipo do imóvel I-1: vedação vertical avaliada .....	150
Figura 80 - Esboço dos sistemas construtivos das vedações do imóvel I-1 .....	151
Figura 81 - Planta padrão tipo do imóvel I-2: detalhe dos locais de realização dos ensaios.....	152
Figura 82 - Esboço dos sistemas construtivos das vedações do imóvel I-2 .....	153
Figura 83 - Planta padrão tipo do imóvel I-3: detalhe dos locais de realização dos ensaios.....	154
Figura 84 - Esboço dos sistemas construtivos das vedações do imóvel I-3 .....	155
Figura 85 - Planta padrão tipo do imóvel I-4: detalhe dos locais de realização dos ensaios.....	156
Figura 86 - Esboço dos sistemas construtivos das vedações do imóvel I-4 .....	157
Figura 87 - Planta padrão tipo do imóvel I-5: detalhe dos locais de realização dos ensaios.....	158
Figura 88 - Esboço dos sistemas construtivos das vedações do imóvel I-5 .....	159
Figura 89 - Planta padrão tipo do imóvel I-6: detalhe dos locais de realização dos ensaios.....	160
Figura 90 - Esboço dos sistemas construtivos das vedações do imóvel I-6 .....	161
Figura 91 - Planta padrão tipo e cobertura do imóvel I-7: detalhe dos locais de realização dos ensaios .....	162
Figura 92 - Esboço dos sistemas construtivos das vedações do imóvel I-7 .....	163
Figura 93 - Planta padrão tipo do imóvel I-8: detalhe dos locais de realização dos ensaios.....	164
Figura 94 - Esboço dos sistemas construtivos das vedações do imóvel I-8 .....	165
Figura 95 - Planta padrão tipo do imóvel I-9: detalhe dos locais de realização dos ensaios.....	166
Figura 96 - Esboço dos sistemas construtivos das vedações do imóvel I-9 .....	167
Figura 97 - Planta padrão tipo do imóvel I-10: detalhe dos locais de realização dos ensaios.....	168
Figura 98 - Esboço dos sistemas construtivos das vedações do imóvel I-10 .....	169
Figura 99 - Planta padrão tipo do imóvel I-11: detalhe dos locais de realização dos ensaios.....	170
Figura 100 - Esboço dos sistemas construtivos das vedações do imóvel I-11 .....	171
Figura 101 - Planta padrão tipo do imóvel I-12: detalhe dos locais de realização dos ensaios.....	172
Figura 102 - Esboço dos sistemas construtivos das vedações do imóvel I-12 .....	173
Figura 103 - Planta padrão tipo do imóvel I-13: detalhe dos locais de realização dos ensaios.....	174
Figura 104 - Esboço dos sistemas construtivos das vedações do imóvel I-13 .....	175

---

Figura 105 - Planta padrão tipo do imóvel I-14: detalhe dos locais de realização dos ensaios.....	176
Figura 106 - Esboço dos sistemas construtivos das vedações do imóvel I-14 .....	177
Figura 107 - Gráfico de dispersão dos resultados (DnT,w) medidos em campo e simulados - SVVI	179
Figura 108 - Gráfico de dispersão das diferenças (SC-MC) em dB (medição x simulação) em ordem crescente - SVVI geral.....	179
Figura 109 - Histograma de frequência relativa da diferença SC x MC para ensaios de SVVI geral.	181
Figura 110 - Comparativo dos resultados SC x MC - SVVI.....	182
Figura 111 - Gráfico de dispersão dos resultados (DnT,w) medidos em campo e simulados - SVVI em geminação sem dormitório .....	186
Figura 112 - Gráfico de dispersão das diferenças (SC-MC) em dB (medição x simulação) - SVVI em geminação sem dormitório .....	186
Figura 113 - Histograma de frequência relativa da diferença SC x MC para ensaios de SVVI em geminação sem dormitório .....	187
Figura 114 - Comparativo dos resultados SC x MC - SVVI em geminação sem dormitório .....	189
Figura 115 - Gráfico de dispersão dos resultados (DnT,w) medidos em campo e simulados - SVVI em geminação com dormitório .....	191
Figura 116 - Gráfico de dispersão das diferenças (SC-MC) em dB (medição x simulação) - SVVI em geminação com dormitório .....	191
Figura 117 - Histograma de frequência relativa da diferença SC x MC para ensaios de SVVI em geminação com dormitório .....	192
Figura 118 - Comparativo dos resultados SC x MC - SVVI em geminação com dormitório.....	193
Figura 119 - Gráfico de dispersão dos resultados (DnT,w) medidos em campo e simulados - SVVI em parede cega de dormitório e área comum de trânsito eventual.....	196
Figura 120 - Gráfico de dispersão dos resultados (DnT,w) medidos em campo e simulados - SVVI em parede cega de salas ou cozinhas e área comum de trânsito eventual .....	196
Figura 121 - Gráfico de dispersão das diferenças (SC-MC) em dB (medição x simulação) - SVVI em parede cega de dormitório (condição III) e parede cega de salas e cozinhas (condição IV) e áreas de trânsito eventual .....	197
Figura 122 - Ambiente Hall nos estudos de caso: hall confinado no estudo de caso I-3 (sit.A, em azul), escada compartilhada com hall social ou hall de serviço nos demais estudos (sit. B, em amarelo).....	198
Figura 123 - Exemplo de ensaio acústico em SVVI onde a emissão sonora ocorre em escada ou hall conectado à escada, onde ocorre dissipação de som entrepisos.....	199
Figura 124 - Histograma de frequência relativa da diferença SC x MC para ensaios de SVVI em parede cega de dormitório e sala/cozinha com escadas/halls .....	200
Figura 125 - Comparativo dos resultados SC x MC - SVVI em parede cega de dormitório e sala/cozinha com área de trânsito eventual (escadas e halls).....	201
Figura 126 - Histograma de frequência relativa da diferença SC x MC para ensaios de SVVI geral sem discrepâncias.....	202
Figura 127 - Gráfico de dispersão dos resultados (DnT,w) medidos em campo e simulados - SVH-RA .....	204
Figura 128 - Gráfico de dispersão das diferenças (SC-MC) em dB (medição x simulação) em ordem crescente - SVH-RA .....	204

---

Figura 129 - Histograma de frequência relativa da diferença SC x MC para ensaios de SVH-RA geral .....	205
Figura 130 - Comparativo dos resultados SC x MC - SVH-RA .....	206
Figura 131 - Gráfico de dispersão dos resultados (DnT,w) medidos em campo e simulados - SVH-RA (Condição I - sistemas de piso entre dormitórios) .....	210
Figura 132 - Gráfico de dispersão das diferenças (SC-MC) em dB (medição x simulação) em ordem crescente - SVH-RA (Condição I - sistemas entrepisos entre dormitórios) .....	210
Figura 133 - Histograma de frequência relativa da diferença SC x MC para ensaios de SVH-RA (Condição I - entrepisos com dormitório).....	211
Figura 134 - Comparativo dos resultados SC x MC - SVH-RA (Condição I - entrepisos com dormitórios) .....	212
Figura 135 - Gráfico de dispersão dos resultados (DnT,w) medidos em campo e simulados - SVH-RA (Condição II - entrepisos sem dormitório).....	215
Figura 136 - Gráfico de dispersão das diferenças (SC-MC) em dB (medição x simulação) em ordem crescente - SVH-RA (Condição II - sistemas entrepisos sem dormitórios).....	215
Figura 137 - Histograma de frequência relativa da diferença SC x MC para ensaios de SVH-RA (Condição II - entrepisos sem dormitório).....	216
Figura 138 - Comparativo dos resultados SC x MC - SVH-RA (Condição II - entrepisos sem dormitórios) .....	217
Figura 139 - Gráfico de dispersão dos resultados (L'nT,w) medidos em campo e simulados - SVH-RI .....	221
Figura 140 - Gráfico de dispersão das diferenças (SC-MC) em dB (medição x simulação) em ordem crescente - SVH-RI geral.....	222
Figura 141 - Histograma de frequência relativa da diferença SC x MC para ensaios de SVH-RI geral .....	223
Figura 142 - Comparativo dos resultados SC x MC SVH-RI .....	224
Figura 143 - Caso de estudo I-12 com detalhe de junta de dilatação entre torres (Planta da lâmina e detalhe da junta entre torres).....	228
Figura 144 - Variação de simulação de SVVI em torres geminadas.....	229
Figura 145 - Caso particular - junta de dilatação entre torres - SVVI para I-12, I-13 e I-14 .....	230
Figura 146 - Registro fotográfico do imóvel I-13 nas fases de execução da obra e entrega.....	231
Figura 147 - Gráfico de dispersão dos resultados (DnT,w) medidos em campo e simulados - SVVI (Paredes em concreto maciço) .....	232
Figura 148 - Comparativo dos resultados SC x MC - SVVI (Paredes em concreto) .....	234
Figura 149 - Caso particular - Ajuste no amortecimento do concreto - SVH-RI para I-10, I-11, I-12, I-13 e I-14.....	236
Figura 150 - Comparativo dos resultados SC x MC - SVH-RI (Lajes em concreto maciço) .....	237

---

## Lista de Quadros

Quadro 1 - Sistema Construtivo das vedações do imóvel I-1 .....	151
Quadro 2 - Sistema Construtivo das vedações do imóvel I-2 .....	153
Quadro 3 - Sistema Construtivo das vedações do imóvel I-3 .....	155
Quadro 4 - Sistema Construtivo das vedações do imóvel I-4 .....	157
Quadro 5 - Sistema Construtivo das vedações do imóvel I-5 .....	159
Quadro 6 - Sistema Construtivo das vedações do imóvel I-6 .....	161
Quadro 7 - Sistema Construtivo das vedações do imóvel I-7 .....	163
Quadro 8 - Sistema Construtivo das vedações do imóvel I-8 .....	165
Quadro 9 - Sistema Construtivo das vedações do imóvel I-9 .....	167
Quadro 10 - Sistema Construtivo das vedações do imóvel I-10 .....	169
Quadro 11 - Sistema Construtivo das vedações do imóvel I-11 .....	171
Quadro 12 - Sistema Construtivo das vedações do imóvel I-12 .....	173
Quadro 13 - Sistema Construtivo das vedações do imóvel I-13 .....	175
Quadro 14 - Sistema Construtivo das vedações do imóvel I-14 .....	177
Quadro 15 - Resumo de classificação - SVVI geral.....	182
Quadro 16 - Resumo de classificação - SVVI em geminação sem dormitório .....	188
Quadro 17 - Resumo de classificação - SVVI em geminação com dormitório.....	193
Quadro 18 - Resumo de classificação - SVVI em parede cega de dormitório e sala/cozinha com escadarias ou halls .....	200
Quadro 19 - Resumo de classificação - SVVI geral excluídos os valores discrepantes.....	202
Quadro 19 - Resumo de classificação – SVH-RA geral .....	206
Quadro 20 - Resumo de classificação – SVH-RA .....	212
Quadro 21 - Resumo de classificação – SVH-RA .....	217
Quadro 22 - Resumo de classificação – SVH-RI geral .....	224

## Lista de Tabelas

Tabela 1 - Pressão, Intensidade e Nível de Pressão sonora de algumas fontes de ruídos .....	45
Tabela 2 - Índice de isolamento acústico (IA) de materiais/sistemas construtivos .....	69
Tabela 3 - Nível de critério de avaliação NCA para ambientes externos, em dB (A).....	72
Tabela 4 - Valores de referência para ambientes internos de uma edificação da versão 2017 da NBR 10152 .....	75
Tabela 5 - Influência da isolação acústica - $D_{nT,w}$ sobre a inteligibilidade da fala para ruído no ambiente interno em torno de 35 dB a 40 dB .....	92
Tabela 6 - Diferença padronizada de nível ponderada entre ambientes, $D_{nT,w}$ para ensaio de campo - Método de engenharia .....	97
Tabela 7 - Índice de redução sonora ponderado, $R_w$ , de componentes construtivos utilizados nas vedações entre ambientes .....	98
Tabela 8 - Valores indicativos do índice de redução sonora ponderado para alguns sistemas de paredes, baseados em estudos do IPT, Unicamp, SOBRAC, Universidade de Coimbra.....	99
Tabela 9 - Valores mínimos e limites intermediário e superior de diferença padronizada de nível ponderada promovida pela vedação externa de dormitório, por classes de ruído .....	100
Tabela 10 - Índice de redução sonora, $R_w$ , para as vedações externas .....	101
Tabela 11 - Diferença padronizada de nível ponderada do entrepiso, $D_{nT,w}$ para ensaios de campo .....	102
Tabela 12 - Nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado, $L'_{nT,w}$ .....	102
Tabela 13 - Valores máximos do nível de pressão sonora contínuo equivalente, $L_{Aeq,nT}$ , medido em dormitórios.....	103
Tabela 14 - Valores máximos do nível de pressão sonora máximo, $L_{ASmax,nT}$ , medido em dormitórios .....	103
Tabela 15 - Total de amostras dos casos de estudo .....	116
Tabela 16 - Equipamentos utilizados nos ensaios de campo.....	118
Tabela 17 - Resumo da Amostra, tipo de sistema construtivo e ensaios acústicos .....	119
Tabela 18 - Caracterização dos materiais simulados.....	125
Tabela 8 (parcial)- Valores indicativos do índice de redução sonora ponderado para alguns sistemas de paredes, baseados em estudos do IPT, Unicamp, SOBRAC, Universidade de Coimbra .....	131
Tabela 19 - Síntese dos resultados estimados de redução sonora pelo INSUL, comparadas com valores indicativos da Tabela 8.....	132
Tabela 20 - Modelo utilizado para tabular e calcular a diferença entre valores de campo e valores simulados .....	146
Tabela 21 - Sistemas construtivos simulados dos estudos de caso.....	148
Tabela 22 - Identificação dos materiais e sistemas construtivos simulados .....	149
Tabela 23 - Quantidade de ensaios de SVVI realizados.....	178

---

Tabela 24 – Quantidade de ensaios analisados para o SVVI conforme tipos de elementos da Tabela F.10 da norma de desempenho NBR 15575-4 – Limites para o Método de engenharia .....	183
Tabela 25 - Ensaio de SVVI em parede entre unidades habitacionais autônomas (paredes de geminação), nas situações onde não há ambiente dormitório .....	184
Tabela 26 - Ensaio de SVVI em parede entre unidades habitacionais autônomas (paredes de geminação), nas situações em que há ambiente dormitório .....	190
Tabela 27 - Ensaio de SVVI em parede cega de dormitórios entre unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual .....	194
Tabela 28 - Ensaio de SVVI em parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e área comuns de trânsito eventual .....	195
Tabela 29 - Quantidade de ensaios de SVH realizados .....	203
Tabela 30 - Quantidade de ensaios analisados para o SVH-RA conforme tipos de elementos da Tabela E.2 da norma de desempenho NBR 15575-3 – Limites para o Método de engenharia.....	207
Tabela 31 - Ensaio de SVH-RA em sistemas de piso entre unidades habitacionais autônomas, nas situações onde há ambiente dormitório .....	208
Tabela 32 - Ensaio de SVH-RA em sistemas de piso entre unidades habitacionais autônomas, nas situações onde não há ambiente dormitório .....	213
Tabela 33 - Ensaio de SVH-RI em sistemas de piso entre unidades habitacionais autônomas .....	218
Tabela 34 - Resumo de classificação dos sistemas estudados.....	226
Tabela 35 - Resumo comparativo (distância SC x MC).....	227
Tabela 36 - Ensaio de SVVI entre torres geminadas, variando o tipo de elemento parede ..	230
Tabela 37 - Resultados SVVI para os casos de estudo de paredes de concreto .....	233
Tabela 38 - Resultados de SVH-RI para os casos de estudo de lajes de concreto (casos particulares de ajuste de dados no software– ajuste no amortecimento - <i>damping</i> ) .....	235



---

## Lista de Abreviatura ou Siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASBEA	Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i> (Sociedade Americana de Testes e Materiais)
B	Bel
BNH	Banco Nacional de Habitação
CAU	Conselho de Arquitetura e Urbanismo
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
CIB	<i>Council International for Building</i> (Conselho Internacional para Edificação)
dB(A)	Decibél A – ponderado
dB	Decibél
$D_{nT}$	Diferença padronizada de nível de pressão sonora
$D_{nT,w}$	Diferença padronizada de nível de pressão sonora ponderada
$D_{2m,nT,w}$	Diferença padronizada de nível ponderada a 2m da fachada
DXF	<i>Drawing Exchange Format</i> (Formato de troca de desenho : extensão de arquivo do programa AutoCAD)
Hz	Hertz
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
IA	Nível de isolamento acústico
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
$L_{nT}$	Nível de pressão sonora de impacto padronizado
$L'_{nT,w}$	Nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado
NBR	Norma Brasileira
NC	Nível de conforto
NCA	Nível de critério de avaliação
NIS	Nível da intensidade sonora
NPS	Nível da pressão sonora
N/m <sup>2</sup>	Newton por metro quadrado
OMS	Organização Mundial de Saúde
Pa	Pascal

---

$\mu\text{Pa}$	Micro Pascal
PeBBu	<i>Performande Based Building</i> , (Construção Baseada no Desempenho)
ProAcústica	Associação Brasileira para a Qualidade Acústica
RBC	Rede Brasileira de Calibração
RILEM	International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures (União Internacional de Laboratórios e Especialistas em Materiais, Sistemas e Estruturas de Construção)
$R_w$	Índice de redução sonora ponderado
SINAENCO	Sindicato Nacional das Empresas de Arquitetura e Engenharia Consultiva
SOBRAC	Sociedade Brasileira de Acústica
SVH	Sistema de Vedação Horizontal
SVH-RA	Sistema de Vedação Horizontal – avaliação quanto ao ruído aéreo
SVH-RI	Sistema de Vedação Horizontal – avaliação quanto ao ruído de impacto
SVVE	Sistema de Vedação Vertical Externa
SVVI	Sistema de Vedação Vertical Interna
TR	Tempo de reverberação
VUP	Vida útil de projeto
$\text{W/m}^2$	Watts por metro quadrado

## Sumário

<b>1. Introdução .....</b>	<b>21</b>
1.1. JUSTIFICATIVA .....	25
1.2. OBJETIVOS .....	25
1.2.1. OBJETIVO GERAL .....	25
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	26
1.3. METODOLOGIA E LIMITAÇÕES DA PESQUISA .....	26
1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO.....	27
<b>2. Fundamentação Teórica .....</b>	<b>29</b>
2.1. DIFERENCIANDO SOM E RUÍDO .....	30
2.2. CONCEITOS FÍSICOS DA ACÚSTICA .....	33
2.2.1. SOM – ASPECTOS FÍSICOS E PERCEPÇÃO SONORA.....	34
2.2.2. PROPAGAÇÃO DO SOM.....	46
2.2.3. ECO E REVERBERAÇÃO .....	49
2.2.4. TRANSMISSÃO ACÚSTICA.....	53
2.2.5. ISOLAMENTO ACÚSTICO .....	56
2.2.5.1. SONS DE CONDUÇÃO AÉREA e SONS DE IMPACTO .....	58
2.2.6. RUÍDO AMBIENTAL.....	62
2.3. CONFORTO ACÚSTICO.....	65
2.3.1. REFERÊNCIAS NORMATIVAS QUANTO AO CONFORTO – NBR 10151 e NBR 10152 .....	71
2.4. DESEMPENHO DAS EDIFICAÇÕES.....	76
2.4.1. HISTÓRICO DO CONCEITO – DESEMPENHO DAS EDIFICAÇÕES .....	76
2.4.2. NORMATIZAÇÃO – DESEMPENHO DAS EDIFICAÇÕES.....	79
2.4.3. DESEMPENHO DE EDIFICAÇÕES HABITACIONAIS - NBR 15575:2013 – “NORMA DE DESEMPENHO” .....	81
2.4.3.1. DESEMPENHO ACÚSTICO .....	89
2.4.3.2. MÉTODOS DE ENSAIOS PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO ACÚSTICO E CRITÉRIOS NORMATIVOS .....	92
2.4.3.2.1. EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO EM CAMPO .....	103
2.4.3.3. MÉTODO DE PREDIÇÃO DE DESEMPENHO ACÚSTICO - SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL.....	105
2.4.3.4. DIFICULDADES DE IMPLANTAÇÃO DA NBR 15575 .....	111
<b>3. Metodologia - Avaliação comparativa.....</b>	<b>114</b>
3.1. ASPECTOS GERAIS .....	114

---

3.2.	DETALHAMENTO DAS ETAPAS .....	116
3.2.1.	SELEÇÃO DOS CASOS DE ESTUDO .....	116
3.2.2.	PREPARAÇÃO DOS PROJETOS .....	120
3.2.3.	MODELAGEM DOS COMPONENTES E ELEMENTOS .....	123
3.2.4.	MODELAGEM DO IMÓVEL E CÁLCULO DO DESEMPENHO ACÚSTICO .....	132
3.2.5.	TABULAÇÃO DOS VALORES PARA ANÁLISE COMPARATIVA .....	145
3.3.	CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS.....	147
<b>4.</b>	<b>Descrição dos Estudos de Casos .....</b>	<b>148</b>
4.1.	IMÓVEL I-1.....	150
4.2.	IMÓVEL I-2.....	152
4.3.	IMÓVEL I-3.....	154
4.4.	IMÓVEL I-4.....	156
4.5.	IMÓVEL I-5.....	158
4.6.	IMÓVEL I-6.....	160
4.7.	IMÓVEL I-7.....	162
4.8.	IMÓVEL I-8.....	164
4.9.	IMÓVEL I-9.....	166
4.10.	IMÓVEL I-10.....	168
4.11.	IMÓVEL I-11.....	170
4.12.	IMÓVEL I-12.....	172
4.13.	IMÓVEL I-13.....	174
4.14.	IMÓVEL I-14.....	176
<b>5.</b>	<b>Resultados e Discussões .....</b>	<b>178</b>
5.1.	Sistemas de Vedações Verticais Internas - SVVI .....	178
5.1.1.	Condição I - SVVI em paredes entre unidades habitacionais autônomas (paredes de geminção), nas situações onde não há dormitório.....	184
5.1.2.	Condição II - SVVI em paredes entre unidades habitacionais autônomas (paredes de geminção), nas situações onde há dormitório.....	189
5.1.3.	Condição III e IV - SVVI em parede cega de dormitórios entre unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual / SVVI em parede cega de salas ou cozinhas entre unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual .....	194
5.1.4.	SVVI geral sem discrepâncias.....	201
5.2.	Sistemas de Vedações Horizontais - SVH .....	203
5.2.1.	Sistemas de Vedações Horizontais – Isolamento ao Ruído Aéreo - SVH-RA .....	204

---

5.2.1.1..... Condição I – SVH-RA em sistemas de piso entre unidades habitacionais autônomas em que um dos recintos é um dormitório .....	207
5.2.1.2..... Condição II – SVH-RA em sistemas de piso entre unidades habitacionais autônomas em que um dos recintos não é um dormitório .....	213
5.2.2. Sistemas de Vedações Horizontais – Isolação ao Ruído de Impacto - SVH-RI .....	218
5.3. Resumo dos resultados apresentados .....	226
5.4. Situações específicas – Discussões das particularidades .....	228
5.4.1. SVVI – Espaço de ar (junta de dilatação) entre torres geminadas.....	228
5.4.2. SVVI e SVH nos casos de Paredes e Lajes maciças de concreto – Ajuste dos dados ...	232
<b>6. Conclusões e considerações Finais .....</b>	<b>238</b>
<b>Referências .....</b>	<b>243</b>
<b>Apêndice A – Definições previstas na NBR 15575.....</b>	<b>252</b>
<b>Apêndice B – Cálculo da incerteza da medição de campo, conforme modelo da NBR ISO 16283 (2018).....</b>	<b>255</b>
<b>Apêndice C – Tabelas comparativas de cada estudo de caso (Dados completos de medição de campo versus simulação computacional).....</b>	<b>258</b>
C-1 Tabela comparativa completa (medição <i>versus</i> simulação) – Estudo de caso I-01 .....	259
C-2 Tabela comparativa completa (medição <i>versus</i> simulação) – Estudo de caso I-02 .....	260
C-3 Tabela comparativa completa (medição <i>versus</i> simulação) – Estudo de caso I-03 .....	261
C-4 Tabela comparativa completa (medição <i>versus</i> simulação) – Estudo de caso I-04 .....	262
C-5 Tabela comparativa completa (medição <i>versus</i> simulação) – Estudo de caso I-05 .....	263
C-6 Tabela comparativa completa (medição <i>versus</i> simulação) – Estudo de caso I-06 .....	264
C-7 Tabela comparativa completa (medição <i>versus</i> simulação) – Estudo de caso I-07 .....	266
C-8 Tabela comparativa completa (medição <i>versus</i> simulação) – Estudo de caso I-08 .....	267
C-9 Tabela comparativa completa (medição <i>versus</i> simulação) – Estudo de caso I-09 .....	268
C-10 Tabela comparativa completa (medição <i>versus</i> simulação) – Estudo de caso I-10 .....	269
C-11 Tabela comparativa completa (medição <i>versus</i> simulação) – Estudo de caso I-11 .....	270
C-12 Tabela comparativa completa (medição <i>versus</i> simulação) – Estudo de caso I-12 .....	271
C-13 Tabela comparativa completa (medição <i>versus</i> simulação) – Estudo de caso I-13 .....	272
C-14 Tabela comparativa completa (medição <i>versus</i> simulação) – Estudo de caso I-14 .....	273

---

## 1. Introdução

Nas áreas urbanas e nas grandes cidades, inúmeros problemas de poluição trazem impactos negativos, tanto ao meio ambiente quanto à saúde das pessoas. A poluição sonora é um dos problemas que vêm sendo tratados com maior preocupação pela sociedade, em função de já se ter comprovado, inclusive pela Organização das Nações Unidas, o quanto a questão da acústica ambiental pode prejudicar o bem estar e conforto da população, e o quanto o excesso de exposição a níveis sonoros excessivos trazem de malefícios à saúde.

Nesse sentido já se consolidou, entre o meio científico, o meio técnico e, inclusive, o meio empresarial, que a qualidade acústica de um ambiente é fator determinante para se promover melhor uso e ocupação dos ambientes.

No Brasil, primeiro se pensou na normatização visando o conforto acústico da população, onde se abordou a questão do ruído, das condições de medição e de atendimento aos níveis aceitáveis nas comunidades, conforme o tipo de área habitada e a atividade realizada em cada ambiente, por meio, respectivamente, das normas NBR 10151 (ABNT, 2019) e NBR 10152 (ABNT, 2017), surgidas em 1987, recentemente atualizadas.

O desenvolvimento do setor de construção civil evidenciou, no entanto, a necessidade de uma normatização no que diz respeito ao desempenho das edificações habitacionais (TUTIKIAN, 2017). Desempenho este que visa melhorar as condições de uso das edificações, conferindo-lhe uma determinada qualidade que pode ser mensurada.

Nesse contexto, surgiu a NBR 15575 (ABNT, 2013), que começou a ser estudada em 2007, mas somente em 2013 entrou em vigor, com a finalidade de estabelecer requisitos qualitativos e quantitativos para o desempenho da edificação como um todo, vislumbrando desde a questão de segurança estrutural até os cuidados de uso e operação do imóvel para garantir seu adequado funcionamento.

Dentre esses requisitos, o desempenho acústico representa a obtenção da atenuação da transmissão da energia sonora entre os ambientes. Assim, para o alcance do bom desempenho, o isolamento sonoro entre os ambientes, tanto em relação ao ruído aéreo como ao ruído de impacto, surge como condição de extrema importância para o uso da edificação, uma vez que essa exigência relaciona a qualidade ao conforto e privacidade requeridos pelos usuários.

---

No entanto, conforto e desempenho, embora sejam conceitos diferentes, se complementam. Conforto visa o alcance do nível sonoro harmonioso, dentro do limite do tolerável, que envolve definições objetivas e subjetivas; desempenho visa o isolamento sonoro, ou seja, a redução significativa de passagem do som de um ambiente ao outro, que garante a expectativa de qualidade do habitar.

Neto (2009) demonstra que a avaliação de conforto complementa a avaliação de desempenho, principalmente por conta da diferença entre os dois conceitos, muito embora um dependa do outro. E conclui, em sua pesquisa, que o conforto acústico em edificações está intimamente relacionado à inteligibilidade da fala e não apenas ao isolamento da partição.

É fato que a comunicação oral/verbal é reconhecida como requisito fundamental em qualquer sociedade humana, e explorar o isolamento sonoro apresenta-se como um artifício para preservar essa comunicação no interior dos ambientes, garantindo uma menor inteligibilidade da fala entre os ambientes.

A interferência na comunicação oral não apenas prejudica o convívio na sociedade, como também perturba as atividades profissionais, educacionais e inclusive as atividades domésticas. Em relação ao incômodo causado pelo excesso de sons desagradáveis, esse vai da simples irritabilidade, às reações fisiológicas simples e a longo prazo acarreta danos mais sérios à saúde.

Para compreender os limites das reações fisiológicas correlacionadas aos níveis de ruído presentes no ambiente, Pimentel-Souza (2000) classifica esses ruídos em três categorias, as quais ele denomina como ambientes acústicos salubres, dentro dos quais está o limite da qualidade do sono e do conforto acústico (entre 30dB e 50dB), ambientes acústicos toleráveis, onde se inicia o chamado estresse leve (55 dB), que são aqueles em que o nível de ruído está na transição da fala civilizada e educada (55dB e 65dB), e por fim ambientes acústicos insalubres, classificação essa que engloba os níveis de ruído que começam a acarretar danos auditivos (70dB).

Essa compreensão dos níveis de ruído e a discussão dos prejuízos que a falta de qualidade acústica na edificação causam aos usuários, faz levantar a necessidade cada vez maior de um controle e limitação de exposição ao ruído ambiental, fazendo com que o bom isolamento acústico se estabeleça como a principal ferramenta de melhoria dessa qualidade, contribuindo para a diminuição da poluição sonora e remodelando, portanto, o planejamento das decisões construtivas.

---

Nesse cenário, a NBR 15575 (ABNT, 2013) chamada simplesmente de norma de desempenho, chega para, objetivamente, definir os níveis máximos de ruído e os limites de classificação quanto ao comportamento esperado da edificação habitacional, não com a finalidade de garantir o conforto acústico, mas vislumbrando a minimização de transmissão do ruído externo ao interior dos ambientes, possibilitando o mínimo necessário de qualidade da comunicação oral, sossego e privacidade, requisitos solicitados pelo usuário em seu habitar.

Entretanto, aplicar a norma de desempenho não tem sido uma tarefa fácil para todos os envolvidos no processo construtivo. A mudança de processos construtivos implementados e já consolidados envolve remodelagem tecnológica, readaptações e ajustes em sistemas construtivos usados a anos, novas decisões de projetos e melhoria dos materiais empregados, buscando em conjunto o desempenho previamente definido.

A norma traz ainda a metodologia aplicada para mensurar em campo esse desempenho, porém antes mesmo da execução da obra, os construtores, projetistas e fabricantes têm buscado remodelagens de seus processos para garantir a execução da qualidade que a norma requer.

Nesse sentido, o uso da tecnologia de simulação computacional favorece um ambiente pré obra de avaliação dos sistemas construtivos e decisões projetuais adotadas para a edificação, permitindo adaptações e mudanças com a finalidade de avaliação do potencial acústico antes mesmo da execução da obra propriamente.

Pesquisas de várias instituições científicas, tais como as realizadas pela UNB (Análise do desempenho acústico de fachadas ventiladas de porcelanato à luz da norma de desempenho: estudo de caso em um edifício habitacional em Brasília – DF. SANTOS FILHO et al, 2017), UNICAMP (Desempenho acústico de edificações: ferramenta computacional para avaliação. TAKAHASI, 2016), IFGO (Simulações semi-empíricas em acústica: Inovação tecnológica na predição de níveis de pressão sonora no interior de edificações. COSTA e OLIVEIRA, 2016), USP (Ruído de impacto em lajes: Análise comparativa entre desempenho de modelos computacionais e ensaios de campo. CARVALHO, 2015), UFSCar (Análise de modelagem de previsão acústica e mapeamento sonoro para a cidade de São Carlos – SP. GIUNTA, 2013), UFSM (Caracterização acústica de salas para prática e ensino musical. MARROS, 2011; Determinação experimental e numérica da redução sonora aérea em paredes de alvenaria utilizadas em habitações. PINTO 2011), UFPR (Determinação de coeficientes de isolamento acústico: medições in situ e simulação computacional. FERREIRA e ZANNIN, 2007; Avaliação acústica de residências: resultados medidos e simulados. FERREIRA, 2004) e UNISINOS (Análise do desempenho acústico de pisos flutuantes: uso de camada resiliente à



---

base de pneus reciclados. SIQUEIRA, 2018) têm buscado comprovar que programas de simulação computacional são ferramentas importantes para o cálculo de modelos de predição de desempenho acústico, por meio das quais os projetistas têm a possibilidade de readaptar o dimensionamento dos sistemas, a escolha dos materiais e as soluções durante a fase da concepção.

A diferença entre cada uma das pesquisas está na particularidade do programa utilizado, na base de dados considerada, na função de uso do ambiente estudado etc, mas o fundamento de todas as pesquisas é encontrar correlação entre valores medidos em campo e valores simulados na fase conceitual, para comprovar a eficiência das simulações.

E se, a hipótese de que a simulação computacional dos índices acústicos de um empreendimento é compatível com a medição de campo, esse processo na fase de pré-obra possibilita, sobretudo, a redução dos custos de adaptações no pós-obra, uma vez que, na fase de projeto consegue-se ajustar as soluções para assegurar os níveis mínimos requeridos na norma, evitando retrabalho e custos mais elevados que acontecem nas adaptações do pós-obra, quando o desempenho medido não é o esperado.

Nesse trabalho, buscaremos avaliar comparativamente os valores de isolamento sonoro ao ruído aéreo em Sistemas de Vedações Verticais Internos (SVVI) e isolamento ao ruído aéreo e ruído de impacto em Sistemas de Vedações Horizontais (SVH), medidos em campo conforme metodologia determinada na norma de desempenho e descrita na NBR 16283 (ABNT, 2018), de 14 estudos de casos, com os valores de isolamento sonoro resultantes da simulação computacional dos mesmos empreendimentos, através da modelagem tridimensional dos empreendimentos em dois programas utilizados em conjunto, o Insul e o SONarchitect, permitindo uma avaliação do comportamento acústico de acordo com a geometria do ambiente e do sistema construtivo adotado pelas obras, e comprovar a eficiência da simulação computacional que tem sido utilizada pelo mercado local. Paralelamente, será estudado se a simulação apresentará sempre valores maiores que as medições de campo, uma vez que na simulação entende-se que o cálculo acústico é realizado num modelo perfeito, conforme destacado por Carvalho (2015), ou seja em ambiente livre de imperfeições, falhas construtivas ou influências de campo, ou do contrário, se há alguma variação ou tendência oposta à essa hipótese.

## **1.1. JUSTIFICATIVA**

Diante do cenário de busca crescente de qualidade das edificações, atender à norma de desempenho tem sido um desafio por parte dos envolvidos nesse processo. Os prejuízos e, conseqüentemente, os custos de adaptações na fase de pós-obra ou de pós ocupação são infinitamente maiores que adaptações que possam ser implementadas durante a fase de concepção.

O uso de simulação computacional tem sido o meio pelo qual pretende-se prever o comportamento acústico que será medido em obra, que assegure a qualidade normatizada e buscada pelo usuário que adquire uma edificação residencial a partir de 2013.

Por isso, comprovar que o uso de simulações computacionais é uma ferramenta eficiente permitirá encontrar o caminho que desmistificará o atendimento da qualidade que a norma de desempenho requer das edificações habitacionais, demonstrando, por um lado, a viabilidade dessa ferramenta e, por outro, as interferências que podem incorrer, que podem levar a resultados controversos e ou ilegítimos, especialmente quando são encontradas algumas limitações ou incertezas nos projetos ou processos de simulações.

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1. OBJETIVO GERAL**

Este trabalho tem como objetivo geral analisar a eficiência das simulações computacionais de desempenho acústico do edifício e seus sistemas, por meio do uso dos programas INSUL e SONarchitect ISO, utilizadas atualmente na fase de projeto de empreendimentos habitacionais.

---

### 1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Como objetivos específicos deste trabalho estão:

- estudar o tema relacionado com a pesquisa, ou seja, conceitos básicos de som, ruído, conforto, desempenho, desempenho acústico e as determinações da norma de desempenho – ABNT NBR 15575:2013;
- investigar trabalhos e pesquisas preexistentes sobre o uso de ferramentas de simulação computacional em cálculos de predição de desempenho acústico;
- comparar os valores de desempenho acústico em sistemas de vedações verticais internas (SVVI) e sistemas de vedações horizontais (SVH), obtidos através de ensaios de medição de campo (MC), com os obtidos através de simulação computacional (SC) de 14 empreendimentos habitacionais reais, estudos de caso;
- fazer a análise do comparativo dos resultados encontrados, quais sejam, valores medidos (MC) *versus* valores simulados (SC), avaliando a eficiência dos programas Insul e SONarchitect ISO para a previsão do comportamento acústico na fase projetual;
- analisar a influência dos procedimentos de modelagem computacional, como variação nos dados de entrada e as limitações dos programas utilizados na pesquisa.

### 1.3. METODOLOGIA E LIMITAÇÕES DA PESQUISA

A metodologia adotada nessa pesquisa partiu do levantamento dos dados das medições de campo de 14 estudos de caso, realizadas através da metodologia de avaliação de desempenho prevista na norma NBR 15575 (ABNT, 2013) e NBR 16283 (ABNT, 2018), e prosseguiu com a simulação computacional do comportamento acústico de tais empreendimentos. Prosseguiu-se com o comparativo dos dados da simulação e medição de campo e as discussões das variações encontradas.

As limitações encontradas no decorrer desse trabalho foram com relação a incerteza de cumprimento de execução em obra de detalhes construtivos em alguns dos estudos de caso, a impossibilidade de confirmação de algumas medições pelo fato dos imóveis já estarem ocupados e a pequena quantidade da amostra para cada tipo de elemento previsto na norma.

---

Os dados de entrada da simulação que deviam reproduzir fielmente o sistema executivo utilizado, geraram algumas dúvidas em alguns empreendimentos que não apresentaram de forma clara detalhes construtivos em suas fichas de especificações, o que dificultou uma avaliação mais precisa e detalhada de todo o conjunto da amostra, pois dados imprecisos resultariam certamente em valores discrepantes na simulação, razão pela qual alguns resultados foram desconsiderados na análise final geral.

Embora tenham sido feitas avaliações comparativas em 293 dados, alguns estudos não contemplavam todos os tipos de elementos de separação citados na norma. Fora isso, as medições de campo tinham sido realizadas em 2017 e 2018, na fase de entrega das referidas obras, portanto, não tinha como voltar nos empreendimentos e confirmar algumas medições, cujos valores apresentaram certa dúvida pela discrepância com outros de situações semelhantes, sugerindo erro de medição.

#### **1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO**

Este trabalho de dissertação está dividido em seis capítulos, divididos em dois momentos distintos: inicialmente consta esta parte introdutória da relevância e motivações da pesquisa e a revisão da literatura que, utilizando o conhecimento científico e teórico da literatura disponível e de pesquisas anteriores, conceituam a discussão e subsidiam a escolha do tema, e em seguida o momento de discussão do trabalho com a parte de detalhamento da metodologia aplicada, os estudos de caso utilizados, as análises fundamentadas e as considerações finais.

Nesse primeiro capítulo consta a introdução onde estão apontadas a justificativa do tema, sua contextualização e delimitação, bem como os objetivos propostos e a estruturação do trabalho.

No segundo capítulo, da fundamentação teórica, são apresentadas as definições da acústica clássica, conceituando os temas som e ruído, compreendendo seus aspectos e propriedades físicas e sua relação com a acústica ambiental, além do tema conforto acústico, norma de desempenho, desempenho acústico e as implicações na implantação dos requisitos normativos da NBR 15575, breve histórico acerca da referida norma e ainda uma pesquisa de alguns estudos e trabalhos realizados na área de conforto, desempenho acústico e simulação computacional na temática da acústica das edificações.

No terceiro capítulo está indicada e detalhada a metodologia da avaliação comparativa aplicada, o detalhamento dos softwares utilizados para as simulações, bem como os critérios adotados para a avaliação comparativa.

No capítulo quarto estão descritos os casos de estudo considerados.

No quinto capítulo estão apontados os resultados das simulações realizadas nos estudos de caso divididos para cada sistema avaliado (SVVI e SVH), bem como as análises e discussões dos resultados comparativos.

Por fim, no sexto capítulo, estão apresentadas as conclusões encontradas e as considerações finais.

---

## 2. Fundamentação Teórica

*“Acústica é a ciência e tecnologia que lida com som em torno de edifícios. Ela estuda os fenômenos da reflexão sonora, absorção e isolamento, e aplica este conhecimento no controle de ruído e na criação de espaços com características acústicas, como salas de concerto e teatros (NZCMA, 2013).”*

A acústica é a ciência que estuda o som e os fenômenos ondulatórios relacionados à sua propagação. Classificada como ciência, significa que é um conjunto de observações, explicações e comprovações sistematizadas.

Almeida et al (2006) e Prado Filho (2019) definem acústica como o ramo de conhecimento da física no qual se estudam os fenômenos de emissão, propagação e percepção de ondas sonoras, área muito presente no dia a dia das pessoas, desde a apreciação das músicas até os momentos de conversa entre amigos.

Souza et al (2013) explicam a acústica como o conhecimento técnico do som, fenômeno físico capaz de se propagar e, assim, qualificar um ambiente favorável ou desfavoravelmente quanto ao conforto acústico.

Na arquitetura, o estudo acústico é uma ferramenta utilizada para que se alcance a qualidade dos ambientes. Alguns espaços primam pela qualidade sonora, de modo que as características arquitetônicas destes ambientes influenciam diretamente o desempenho acústico requerido, como pontuam Takahashi e Bertoli (2012) ao relacionarem os atributos acústicos às características arquitetônicas em salas de concerto, onde se busca que o som se propague de forma uniforme em todo o ambiente, mantendo características e forma originais.

Além disso, com o estudo da acústica pretende-se salvaguardar a qualidade ambiental da sociedade ao nível do componente ruído [...] e contribuir para a preservação das condições de sossego necessárias ao usufruto do espaço habitado, com um nível de conforto compatível com o tipo de atividade desenvolvida (ALMEIDA et al, 2006).

Segundo Souza et al (2013), desde a antiguidade se identifica o valor projetual dado à acústica. Os autores observam que, mesmo sendo os efeitos visuais o foco da concepção dos teatros gregos, romanos e renascentistas, o efeito acústico foi alcançado, embora não se comprove que tenha sido intencional. No campo científico, o valor da acústica dos ambientes só foi mais

---

valorizado no século XX, quando estudos passaram a tratar dos problemas acústicos, especificamente do volume, materiais e tempo de reverberação dos ambientes, de modo a garantir que a função “ouvir” fosse contemplada, alcançando o que os autores chamam de “conforto acústico”. Takahashi e Bertoli (2012) complementam que, em cada período da história, as peças musicais eram criadas para refletir o desejo dos compositores de obtenção de uma magnitude sonora de suas obras, desde o período barroco, gótico, clássico, popular e contemporâneo, cada qual executada em tipos de espaços de características específicas, tanto para a qualidade sonora quanto para o controle de ruído.

Estudar a acústica no âmbito das construções não significa apenas uma questão de condicionamento acústico do ambiente, porém a possibilidade de promover melhoria na qualidade ambiental, redução ou controle de ruído e conseqüentemente promoção do desempenho das edificações.

## **2.1. DIFERENCIANDO SOM E RUÍDO**

Antes de definir o som quanto à sua origem e caracterização no campo da física, importa distinguir som e ruído, uma vez que ambos têm relação direta com a percepção sonora no domínio sensorial.

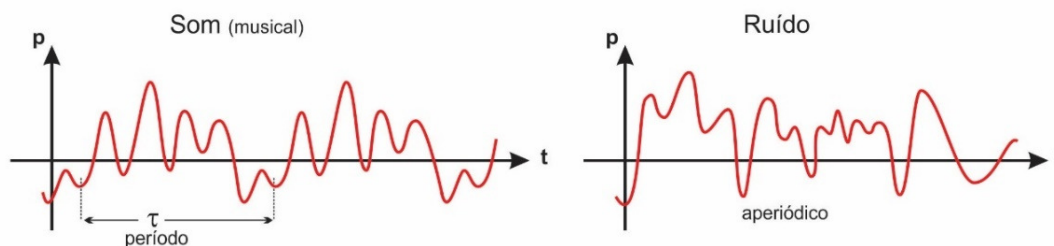
Conceituado som como uma onda mecânica que pode vibrar através de vários meios, nem todo som produz sensações agradáveis e essa teoria coincide com a defendida por Méndez (1994) de que o “som” seria os sinais acústicos que produzem sensações agradáveis ao receptor e “ruído” os que provocam sensações desagradáveis, ou seja, desconfortantes. O mesmo conceito definido também por Bistafa (2011) que relaciona o som a uma vibração com certa conotação positiva e ruído como o som sem harmonia, com certa carga negativa.

Logo, som e ruído não são sinônimos.

Embora os dois estejam relacionados a estrutura física de uma onda e a sensação sonora ou percepção humana, que pode ser abstrata, o conceito de ruído está associado a produção de som desagradável e indesejável, ou fisicamente a um sinal acústico aperiódico, defendido por Oliveira (2006), Fernandes (2005) e outros autores.

Sob o ponto de vista de Fernandes (2005), o conceito de ruído, como um som indesejável, é um tanto ambíguo, pois o ruído é apresentado ora como uma definição subjetiva, em que está relacionado à sensação auditiva desagradável, ora como uma definição física mensurável onde se caracteriza como todo fenômeno acústico não periódico, ausente de componentes harmônicos definidos. A Figura 1 ilustra essa questão de periodicidade das ondas sonoras, o que demonstra a diferença som *versus* ruído.

**Figura 1 - Diferença entre som e ruído (Definição física quanto a periodicidade)**



Fonte: REZENDE (2019)

O conceito do som como a sensação produzida no sistema auditivo, através da vibração de partículas do ar, trazido por Bistafa<sup>1</sup> (2011), aparece como base do estudo acústico de vários autores. No entanto, o autor esclarece que nem toda estrutura que vibra produz som, ainda porque a vibração das ondas sonoras pode ou não ser detectável pelo ouvido humano. As vibrações sonoras perceptíveis serão apresentadas na conceituação dos elementos físicos do som, tais como pressão e frequência sonora, a seguir no subitem 2.2.1. O autor pondera, ainda, sobre as sensações produzidas pelos sons, destacando que alguns destes podem ser qualificados como ruído, devido a serem considerados desagradáveis, embora transmitam informações úteis, como por exemplo os produzidos pelos bipes de indicação de velocidade de um veículo ou os que indicam o funcionamento de um equipamento eletrônico ou ainda os cliques de um disco rígido executando uma tarefa, ou os bipes indicativos de um aparelho de monitoramento cardíaco, entre outros.

Prado Filho (2019) complementa destacando que os sons podem ainda ser classificados como sons musicais, e a esta classificação está inclusa a voz humana, ou como ruídos. Ele explica que o som musical é o resultado da superposição de onda sonoras periódicas ou aproximadamente periódicas, enquanto o ruído é o resultado da superposição de movimentos

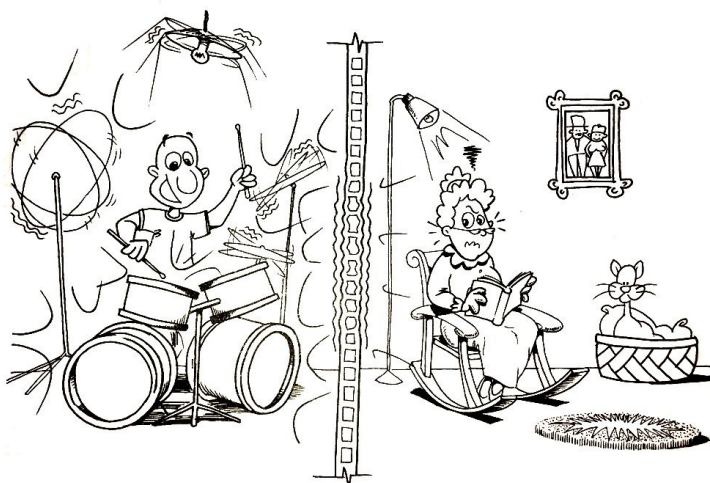
<sup>1</sup> Bistafa (2011), traz o conceito do som como a sensação produzida no sistema auditivo através das partículas de ar que, ao vibrarem, se propagam a partir de estruturas vibrantes.



vibratórios aleatórios de diferentes frequências, que não estabelecem relação entre si, não periódicos, breves e que podem apresentar mudanças físicas ríspidas em sua caracterização.

Sensação sonora de conteúdo estético ou informativo para o ouvinte é a definição de som, e o contrário disto é designado como ruído por Almeida et al (2006). Na prática, essa conceituação relativiza a sensação sonora, pois uma mesma situação pode ser considerada som ou ruído em função do ouvinte, como ilustrado na Figura 2.

**Figura 2 - Diferença entre som e ruído (Definição subjetiva em função do ouvinte)**



Fonte: SOUZA et al (2013)

Conclui-se, pois, que a questão da diferença entre som e ruído, embora seja fisicamente definida em função da periodicidade das ondas, pode ser relativa, devido à diferença fisiológica entre as pessoas e revela assim o grau de subjetividade quando se fala em conforto acústico.

Por essa razão, o grau de incômodo não pode ser mensurado cientificamente, embora os níveis mínimos de conforto possam ser definidos e medidos, inclusive normalizados, conforme critérios constantes nas NBR 10151 e 10152, tratadas no item 2.3.1. Assim, as medições sonoras permitem detectar quando os sons causam danos às pessoas, se estabelecendo, portanto, como uma poderosa ferramenta de diagnóstico em programas de controle de ruído e, conseqüentemente, de melhoria de qualidade de vida das pessoas.

---

## 2.2. CONCEITOS FÍSICOS DA ACÚSTICA

*Ouvir é um dos cinco sentidos humanos e para que uma pessoa escute, uma gama considerável de eventos precisam acontecer: um som audível deve ser produzido, precisa haver um meio para que esse som se propague e atinja o aparelho auditivo, este deve funcionar e transmitir as informações do som (frequência, amplitude, timbre, localização da fonte sonora) para o nervo auditivo, e este deve conduzir tais informações, [...] para o encéfalo que interpretará o som. (RUI; STEFFANI, 2007)*

A BRUEL e KJAER<sup>2</sup> (1984) relata que o som é algo tão comum na vida das pessoas que raramente se percebe todas as suas funções e particularidades, senão quando este passa a ser um problema de conflito por ocasião de sua propagação e percepção que possam interferir na qualidade e conforto dos ambientes. No entanto, nem todas os sons são agradáveis. Os desagradáveis ou indesejáveis, que nem sempre significa que sejam sons altos, são chamados de ruídos; e a estes pode-se associar o som de um assoalho rangendo, de um avião decolando, de uma torneira pingando, de um equipamento eletrônico funcionando, de um risco em um metal, de um equipamento doméstico vibrando, de um vizinho caminhando ou uma criança brincando num apartamento em andar superior etc.

Medir o som traz inúmeros benefícios, uma vez que é através desses dados que se busca melhoria da acústica dos ambientes, permitindo analisar precisa e cientificamente os sons inconvenientes, ou seja, os ruídos.

Como relata Bezerra (2016), a simples leitura bruta de valores medidos em ensaios acústicos não revela a complexidade que há nas interações das ondas sonoras, desde a emissão à transmissão, além do que ocorre no encontro dessas ondas com os elementos e com as pessoas nos ambientes.

A compreensão dos conceitos fundamentais acerca da natureza do som, os aspectos físicos, propriedades da onda sonora e diferenciação dos conceitos de som e ruído, conforto e

---

<sup>2</sup> BRUEL e KJAER é uma empresa que atua mundialmente desde 1942 com tecnologia avançada para medição e controle de ruído e vibração, elaborando além de produtos de alta qualidade, publicações que auxiliam no entendimento da importância da medição do ruído e vibração.

---

desempenho acústico, servem de subsídios para o entendimento dos parâmetros de isolamento acústicos solicitados pela Norma de desempenho de que trata a essência deste trabalho.

### 2.2.1. SOM – ASPECTOS FÍSICOS E PERCEPÇÃO SONORA

O estudo do som pressupõe conceitos físicos, biológicos e psíquicos, visto que a relação do tema com as pessoas envolve caracterização e elementos mensuráveis, além das sensações fisiológicas e psíquicas no campo sensorial que envolvem definições subjetivas de conforto.

O conceito de conforto acústico, que pressupõe certo grau de subjetividade à percepção sonora, uma vez que tem estreita relação com a questão de incômodo, será abordado mais adiante no subitem 2.3. Neste subitem serão abordados, genericamente, os aspectos físicos relacionados à natureza de constituição do som, à propagação e transmissão, discorrendo sobre as principais características do que constitui a acústica clássica de pureza do som.

Assim, para entender melhor a caracterização do que é som, Souza (2016), respaldado pelo estudo de Everest et al (2009), sintetiza o som como sendo um processo que apresenta aspectos físicos, relacionados ao comportamento das ondas; e aspectos fisiológicos, relacionados às características de audibilidade e inteligibilidade<sup>3</sup> do receptor, no caso, o ser humano.

Já dizia Rougeran (1977) apud Souza (2016) que o som tem causa e efeito:

- a vibração, relacionada aos aspectos físicos das ondas sonoras, como perturbações em um meio constituído de elasticidade e inércia;
- e a percepção ou sensação fisiológica ou psicofísica, que é resultado do estímulo por impulsos nervosos ao cérebro.

Do campo científico, **o som é caracterizado como resultado das vibrações dos corpos elásticos, vibrações estas verificadas em limites definidos de frequência, que se propagam como ondas mecânicas<sup>4</sup> através de um meio fluido ou sólido.**

Diversos autores e pesquisadores conceituam o som em seus trabalhos, relacionando-o às suas características físicas e à percepção sensitiva humana.

---

<sup>3</sup> Audibilidade como conceito relacionado à intensidade com que o som chega ao receptor e inteligibilidade relacionado à compreensão da palavra falada (SANTANA, 2016).

<sup>4</sup> Definidas como ondas mecânicas, pois não se deslocam no vácuo, precisam de um meio físico para ocorrer tal deslocamento (PRADO FILHO, 2019; NZCMA, 2013).

Cornacchia (2009) e Santana (2016), baseados nos conceitos de Bistafa (2011), definem o som como a **sensação percebida** pelo ouvido humano, **resultado da variação da pressão** estática causada por um meio em vibração, gerando ondas sonoras, ressaltando que apenas uma faixa de flutuações dessa variação de pressão é perceptível pelo ouvido humano, logo, limitando o som a uma faixa de valores que os autores destacam como “audíveis”.

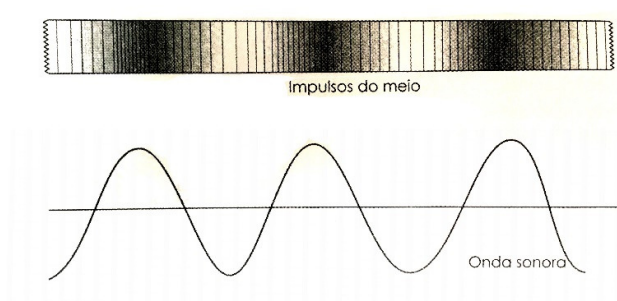
Ribas (2013) destaca que o som é gerado pela variação de pressão ou velocidade das moléculas em um meio compressível que resulta em transmissão de energia em forma de ondas, e destaca que a percepção em sons agradáveis ou não é um fator subjetivo que varia de uma pessoa a outra.

Souza et al (2013) destacam que as vibrações sonoras são originadas da vibração de um objeto, que provoca a vibração de partículas do meio.

Prado Filho (2019) complementa que as fontes sonoras produzem vibrações que causam ondas de pressão que se propagam e atinge o ouvido humano, fazendo com que o tímpano vibre e envie impulsos ao cérebro, resultando no que se entende por sensação sonora.

Mesmo variando alguns detalhes, a definição comum entre os autores é de que o som, portanto, é resultado de vibrações que se propagam por meio de impulsos, ocasionados ao meio, em torno do corpo sonoro; impulsos que provocam deformações transitórias que se movimentam longitudinalmente de acordo com a pressão criada (COSTA, 2003). A Figura 3 ilustra essa relação dos impulsos do meio e a propagação das ondas sonoras.

**Figura 3 - Vibrações sonoras**



Fonte: COSTA (2003)

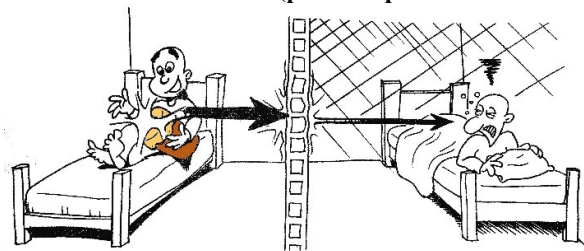
A vibração das cordas vocais que produz a voz humana e o toque de uma nota num instrumento musical fazem com que as partículas do ar oscilem através do espaço aberto até serem

alcançados pelo ouvido humano, porém é muito comum restringir, equivocadamente, o meio pelo qual ocorre essa vibração apenas ao meio aéreo.

Neste sentido, Souza et al (2013) esclarecem que as ondas sonoras ultrapassam barreiras físicas, vibrando suas partículas, até serem percebidas logo após tais barreiras. Isso posto, comprova que a propagação das ondas sonoras não é exclusivamente pela vibração no ar, pois o som pode ser percebido entre ambientes que contam com algum obstáculo de separação, como exemplo uma parede ou uma laje.

O movimento de vibração de uma partícula provoca a oscilação das partículas vizinhas, uma a uma, e por menor que seja essa vibração, fazem com que o som seja alcançado de um ambiente a outro. A intensidade com que a onda sonora chegará ao outro ambiente dependerá da composição do elemento separador, ou seja, dos materiais adotados neste elemento, e da forma e volume do ambiente. Neste caso, ao transpor barreiras, considera-se a partição como meio vibrante, ilustrado na Figura 4.

**Figura 4 - Som e meio vibrante (pelo ar e pelo elemento construtivo)**



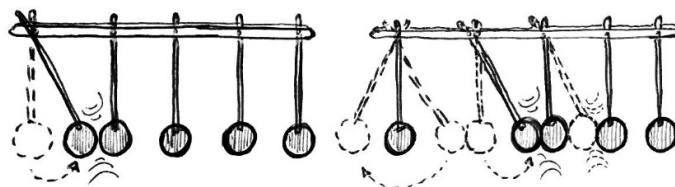
Fonte: SOUZA et al (2013) adaptado

Assim, conclui-se que o som pode ser entendido como resultado de qualquer variação de pressão no ar, na água ou em outro meio, exceto no vácuo, através dos quais as ondas se propagam até percepção pelo ouvido humano, como destaca também Prado Filho (2019).

Em outros termos, a onda sonora resulta de uma perturbação vibratória num meio que esteja em equilíbrio, seja fluido ou sólido, que se propaga mecanicamente ao longo deste. As ondas sonoras têm propagação paralela à vibração pela qual foram geradas e as partículas sofrem repetidamente compressão e distensão, em ciclos onde a vibração de uma partícula provoca a vibração da partícula vizinha e assim, sucessivamente. A Figura 5 traz uma ilustração didática de como essa vibração sonora se propaga, assim como numa sequência de pêndulos em que a

vibração inicial provoca sucessivas vibrações, sem que haja transporte de material ponto a ponto, apenas há transferência da energia.

**Figura 5 - Vibração de uma partícula e das partículas vizinhas**

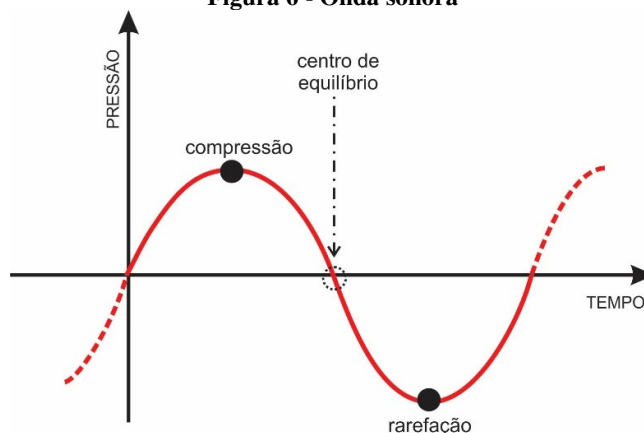


Fonte: REZENDE (2019)

Durante o movimento ondulatório não se transfere matéria, apenas energia, pois as partículas mantêm-se em equilíbrio nas zonas de compressão e rarefação/distensão de deslocamento da onda (ALMEIDA et al, 2006).

Na Figura 6 está esboçado o esquema simplificado do movimento ondulatório do som, indicando os pontos máximos de compressão e distensão de um ciclo ondulatório, e o momento de transição onde a pressão é nula. Percebe-se, claramente, que as partículas de pressão sonora não se deslocam, porém vibram em torno de um eixo ou centro de equilíbrio, transmitindo, assim, a energia sonora.

**Figura 6 - Onda sonora**



Fonte: REZENDE (2019)

A **onda sonora** transporta uma perturbação vibratória ao longo do espaço que pode ser **caracterizada como uma variação de pressão** (SILVA JÚNIOR, 2012).

Essa perturbação do equilíbrio pode ser originada de variadas formas, seja pela diferença da densidade, da velocidade ou da temperatura, resultando assim na variação da pressão no meio de propagação da onda como descrevem Almeida et al (2006) e Silva Junior (2012). Essa variação de pressão pode ser entendida pela Equação 1.

$$P(t) = \rho(t) + \rho_0 \quad (\text{Equação 1 – Variação de pressão})$$

Onde:

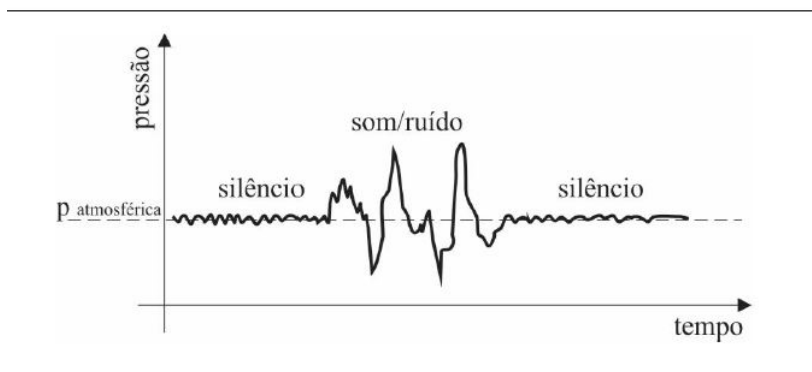
$P(t)$  – pressão total;

$\rho(t)$  – pressão sonora;

$\rho_0$  – pressão atmosférica.

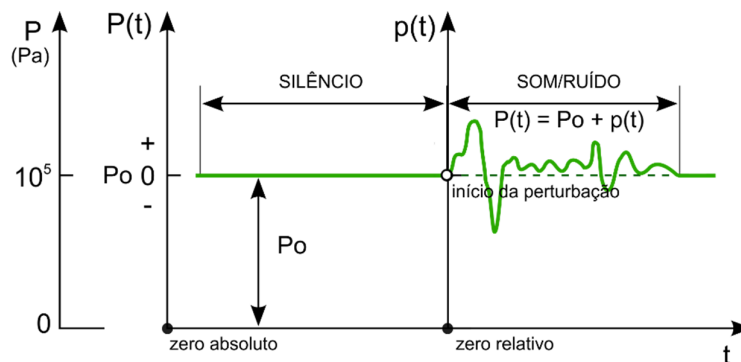
A **pressão sonora  $p(t)$**  corresponde à diferença, para um dado instante de tempo, entre a pressão total e a pressão do meio em equilíbrio, no caso a pressão atmosférica (ALMEIDA et al, 2006). As Figuras 7 e 8 exemplificam a representação das ondas sonoras relacionando a pressão ao tempo, adaptado de Bistafa (2011) e Silva Junior (2012), respectivamente, onde se ilustra o momento onde a pressão atmosférica sofre perturbação, ou seja, onde o silêncio é quebrado e inicia-se os sons ou ruídos.

**Figura 7 - Representação de ondas sonoras relacionando Pressão x Tempo**



Fonte: BISTAFA (2011) adaptado

**Figura 8 - Pressão X Tempo**

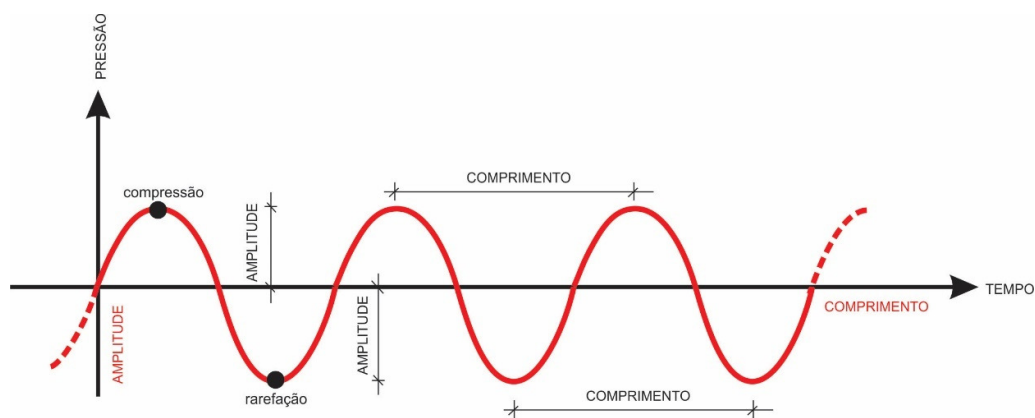


Fonte: SILVA JÚNIOR (2012) adaptado

A pressão zero relativo nesta representação da Figura 8 está atrelada à pressão atmosférica de  $10^5$  Pa, o que indica, neste ponto, o meio de equilíbrio.

A grandeza da pressão exercida sobre a atmosfera determina o máximo deslocamento da partícula em relação ao seu centro de equilíbrio, chamado de **amplitude** (SOUZA et al, 2013). A amplitude da onda é exatamente a distância máxima entre a pressão de equilíbrio e a crista ou vale de uma onda, ilustrado esquematicamente na Figura 9.

**Figura 9 - Descrição física dos elementos da onda sonora: comprimento/amplitude**



Fonte: REZENDE (2019)

A distância entre duas vibrações sucessivas, ou seja, a distância que o som está percorrendo em cada ciclo de vibração, permite caracterizar o comportamento do som perante as superfícies, revelando se a superfície tem dimensões adequadas à distribuição sonora desejada (SOUZA et al, 2013).



---

Dá-se o nome de **comprimento** da onda à distância percorrida entre cada ciclo completo de vibração, ou seja, a distância física entre um pico e outro ou entre estados equivalentes de pressão, como por exemplo em dois estados consecutivos de compressão ou dois estados de rarefação, como representado na Figura 9.

A definição do comprimento, a partir do cálculo de suas variáveis, representa a relação entre a velocidade<sup>5</sup> e a frequência sonora, conforme observado na Equação 2.

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (\text{Equação 2 – Comprimento de onda})$$

Onde:

$\lambda$  – comprimento de onda;

$c$  – velocidade de propagação do som;

$f$  – frequência.

Com o comprimento da onda e a velocidade de propagação, pode-se calcular o tempo em que cada onda percorre uma distância equivalente ao comprimento da onda. Essa grandeza é denominada de **período** (T), cujo inverso é o número de vezes que um ciclo completo de vibração ocorre por unidade de tempo, designado por **frequência** (f).

Ou seja, dá-se o nome de frequência do som ao número de variações da pressão, ou vibrações completas executadas por uma onda sonora em um segundo, cuja medida é ciclos por segundo ou Hertz - Hz (COSTA, 2003).

A correlação entre essas duas variáveis, comprimento e frequência de onda, é inversamente proporcional, de modo que de pronto se verifica que quanto maior a frequência, menor o comprimento da onda.

Souza et al (2013) e Fernandes (2005) conceituam frequência como o número de oscilações do movimento vibratório do som para um determinado referencial, ou seja, o número de vezes que uma partícula completa um ciclo de compressão e rarefação em um dado intervalo de tempo, ao redor do seu centro de equilíbrio.

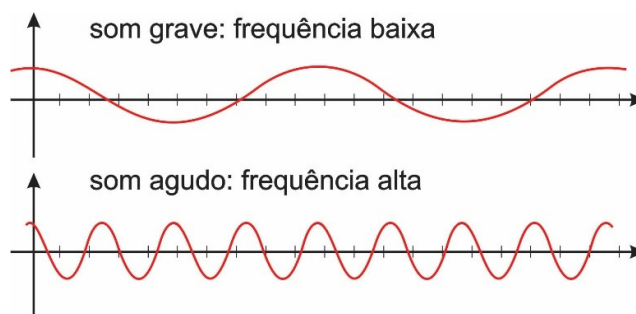
Outros elementos da onda sonora, como altura, timbre e intensidade são qualidades que a caracterizam fisicamente.

---

<sup>5</sup> A velocidade do som, em condições normais de pressão ( $P=1,014 \times 10^5$  Pa) e temperatura ( $T=0^\circ\text{C}$ ) é dada por 331 metros por segundo. Para  $T=20^\circ\text{C}$  a velocidade do som no ar é considerada na literatura entre 340 m/s a 344m/s (Fernandes, 2005; NZCMA, 2013; Prado Filho, 2019).

A **altura** do som se relaciona com a sequência das vibrações sonoras, com o número de oscilações, ou seja, com a frequência (COSTA, 2003). A altura do som se refere ao som grave ou som agudo, de acordo com o comportamento das ondas sonoras quanto à sua frequência. Sons graves são aqueles cuja frequência é menor, quer dizer, quando as oscilações das ondas ocorrem de forma lenta, são os sons baixos; e sons agudos, chamados de altos, são aqueles cujas vibrações são rápidas, que apresentam maior frequência. Essa conceituação da altura do som também está relacionada ao comprimento da onda, pois as frequências lentas são as que apresentam menores oscilações por unidade de tempo e, logo, maior comprimento. A Figura 10 ilustra essa característica física: altura do som.

**Figura 10 - Altura som**



Fonte: REZENDE (2019)

O **timbre** está relacionado à composição harmônica da onda sonora (COSTA, 2003), à forma como as frequências se combinam. Essa característica da onda permite identificar a procedência do som, ou seja, possibilita o ouvido humano distinguir sons de mesma frequência e amplitude, porém emitidos por fontes distintas, como o som emitido pelas pessoas ou pelos instrumentos musicais.

A **intensidade** do som está relacionada à amplitude da onda sonora, que caracteriza a variação de pressão do meio em que se dá sua propagação (COSTA, 2003), ou à quantidade de energia contida no movimento vibratório (FERNANDES, 2005). A medição da intensidade sonora ou intensidade energética é realizada por meio da potência sonora, propagada por unidade de superfície, expressa por  $W/m^2$  (watts por metro quadrado). Considerando apenas o som direto, sem barreiras ou interferências, e que a onda se propaga esfericamente, portanto, a intensidade do som cai à medida que se afasta da fonte, razão do aumento da área de distribuição da energia sonora.

Isto posto, diferenciado os conceitos de altura e intensidade sonora, fica claro entender que quando se fala em aumentar um som, ou o volume de um som, pretende-se aumentar sua intensidade e não a sua altura.

No entanto, para que uma pessoa possa ouvir um som, não é suficiente apenas que as vibrações sonoras estejam dentro da faixa de frequências audíveis, explicadas adiante. As pessoas têm uma sensibilidade diferente para as diversas frequências, mas dentro da faixa audível existe um limiar que é dado pela variação da pressão da onda sonora (PRADO FILHO, 2019).

Souza et al (2013) esclarecem que a potência necessária para produção de um som é muito pequena, e que a percepção mínima do ouvido humano, para pessoas saudáveis, é na ordem de  $10^{-12}$  W, por isso a variação de pressão do ar necessária para a audibilidade também é muito pequena, na ordem de  $2 \times 10^{-5}$  N/m<sup>2</sup> ou  $2 \times 10^{-5}$  Pa, equivalente a 0,00002 Pa.

Porém, nem todas as vibrações sonoras são audíveis pelo homem. Por tal razão, o limiar da audição humana está relacionado à menor intensidade do som distinguível, e o limite superior correspondente à pressão a partir da qual a intensidade sonora causa dor, chamado limite da dor. Assim, a faixa de pressão que provoca sensação auditiva, esboçada na Figura 11, vai de 0,00002N/m<sup>2</sup> a 200N/m<sup>2</sup> (PRADO FILHO, 2019; SALIBA, 2018).

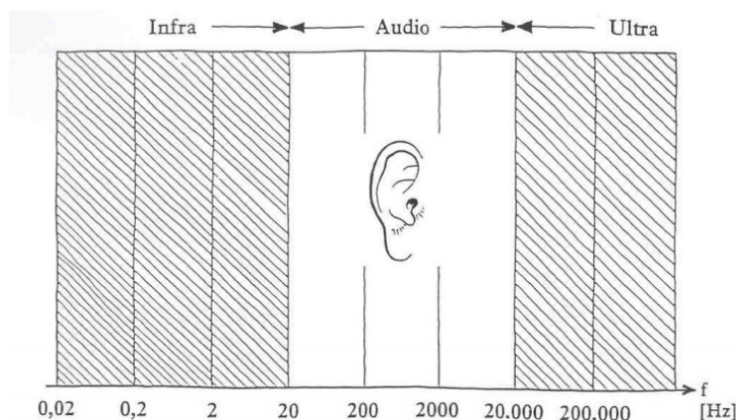
**Figura 11 - Faixa de variação de pressão audível**



Fonte: REZENDE (2019)

Em relação às frequências, a linha de raciocínio é a mesma, sendo perceptíveis pela audição humana, em condições normais, os sons cujas frequências estejam no intervalo de 20 Hz a 20.000 Hz (GERGES, 2000; CARVALHO, 2004; ALMEIDA et al, 2006; BISTAFSA, 2011; SALIBA, 2018), caracterizada como a gama audível de frequências, abaixo das quais se designam as infra frequências ou infrassons e acima dos 20.000 Hz as ultra frequências ou ultrassons, conforme ilustrado na Figura 12.

**Figura 12 - Gama de frequências audíveis para o indivíduo padrão**



Fonte: CARVALHO (2004); ALMEIDA et al (2006)

Citando algumas frequências audíveis para tomar como referência: a nota de um piano varia de uma frequência de 27,5 Hz, relativo à nota mais baixa, à frequência de 4.186 Hz, na nota mais alta.

A intensidade mínima percebida pelo ouvido humano, na unidade de pressão adotada pelo Sistema Internacional – SI, o pascoal (Pa), corresponde a 20  $\mu\text{Pa}$ , e o limite superior, chamado de limiar da dor, corresponde a intensidade de 100 Pa.

Para facilitar os estudos acústicos, foi criada a escala de unidade Bel (B) e posteriormente o Decibel (dB), para identificar o nível de intensidade sonora (NIS) e o nível de pressão sonora (NPS), este último, o parâmetro mais comum de medição de um sinal sonoro (OLIVEIRA, 2006).

Essa escala foi criada tomando como base um valor de referência internacional de  $10^{-12} \text{ W/m}^2$ , que se aproxima da intensidade mínima audível a 1.000 Hz, transformando esse valor de referência em ponto de partida da nova escala, ou seja, 0 dB (zero decibéis) (SOUZA et al, 2013).

A escala decibel foi criada por conta da complexidade da medição em Pascal (Pa). O ouvido humano, em condições normais, consegue distinguir variações de pressão a partir de um valor mínimo na faixa de 20 milionésimos de um pascoal, que é um fator 5 bilhões de vezes menor que a pressão atmosférica normal de 1  $\text{Kg/cm}^2$ . Essa variação de 20  $\mu\text{Pa}$  é tão pequena que a

escala decibel foi criada a partir desse limite da audição humana para ser o ponto de partida ou pressão de referência, ou seja, 20  $\mu$ Pa equivalente a 0 dB.

Essa transformação, tanto do nível da intensidade sonora (NIS), como do nível da pressão sonora (NPS), foi definida como uma relação logarítmica entre os valores medidos e os de referência considerados, conforme Equações 3 e 4, com o fim de se ter valores inteiros na escala decibel.

$$NIS (dB) = 10 \log \frac{I}{I_0} \quad (\text{Equação 3 – Nível de Intensidade Sonora})$$

Onde:

$NIS$  – nível de intensidade sonora;

$I$  – intensidade sonora em  $W/m^2$ ;

$I_0$  – intensidade sonora de referência =  $10^{-12}$   $W/m^2$ .

$$NPS (dB) = 20 \log \frac{P}{P_0} \quad (\text{Equação 4 – Nível de Pressão Sonora})$$

Onde:

$NPS$  – nível de pressão sonora;

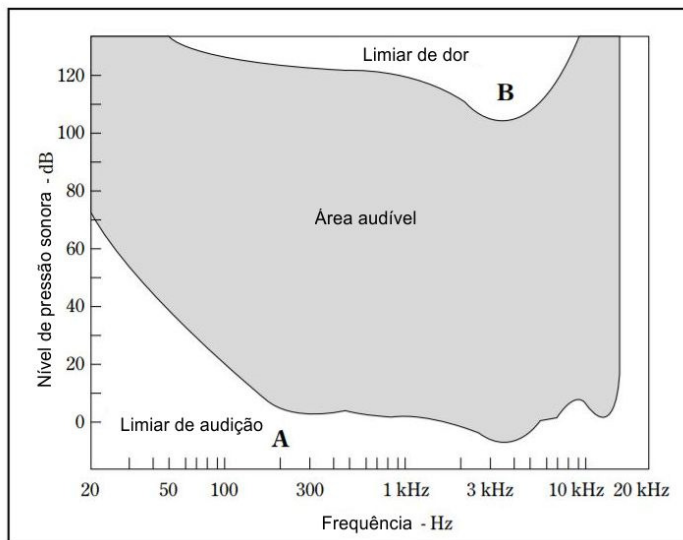
$P$  – pressão sonora em Pa;

$P_0$  – pressão sonora de referência =  $2 \times 10^{-5}$  Pa.

Vários autores fizeram considerações acerca da zona audível e dos limites de dor, como Everest (2001), Costa (2003), Fernandes (2005), Oliveira (2006), Cornacchia (2009), Souza et al (2013), Santana (2016) e outros, relacionando a sensação auditiva à percepção do som dentro de uma amplitude da flutuação da variação de pressão sonora e frequência compatíveis com os limites de audibilidade do órgão auditivo humano.

Em seus estudos, Everest (2001) representa a área audível do ouvido humano entre duas curvas limites que ele nomeia como A e B, sendo “A” o limite de audição que delinea os sons de nível mais baixo que o ouvido pode detectar, e “B” a área de limiar de dor no extremo superior, registrando que todas as nossas experiências auditivas ocorrem dentro desta área audível, ou seja, entre as curvas, conforme reproduzido na Figura 13.

**Figura 13 - Área audível e curvas limites de audição e de dor**



Fonte: EVEREST (2001), adaptado

A Tabela 1 apresenta algumas correspondências de valores de pressão, intensidade e nível de pressão sonora de algumas fontes de ruídos e a Figura 14 apresenta a correlação entre a escala de pressão sonora em  $\mu\text{Pa}^6$  e a escala decibel dB, com variações entre 20 e 200.000.000  $\mu\text{Pa}$ , que correspondem à faixa de 0dB à aproximadamente 140dB, destacando que o limiar da dor na pressão de 100 Pa corresponde ao nível de pressão sonora de 134dB.

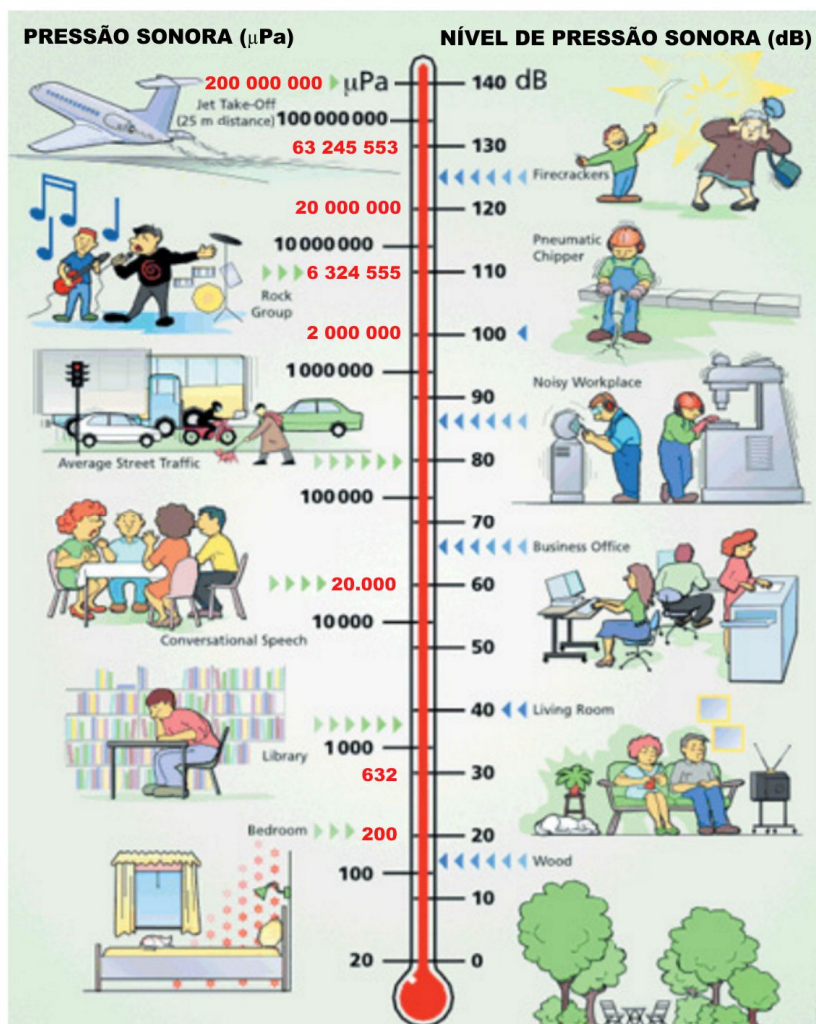
**Tabela 1 - Pressão, Intensidade e Nível de Pressão sonora de algumas fontes de ruídos**

Pressão Sonora (Pa)	Intensidade sonora ( $\text{W}/\text{m}^2$ )	Nível de Pressão sonora (dB)	Fontes de ruídos
200	100	140	Disparo de arma de fogo
100	25,1	134	Limiar da dor
63,2	10	130	Jato decolando Fogos de artifício
20	1	120	Buzina de carro
6,32	0,1	110	Conj.de rock amplificado Bate-estacas
2,0	0,01	100	Britadeira
0,02	0,000001	60	Conversa em voz normal
0,0006	0,000000001	30	Violino baixo
0,0002	0,0000000001	20	Zona rural Ambiente silencioso
0,00002	0,000000000001	0	Limiar da audição

Fonte: REZENDE (2019), adaptado de PRADO FILHO (2019); ALMEIDA et al (2006); OLIVEIRA (2006)

<sup>6</sup>  $1 \mu\text{Pa} = 10^{-6} \text{ Pa} = 0.000001 \text{ Pa}$  ;  $1 \text{ Pa} = 10^6 \mu\text{Pa}$

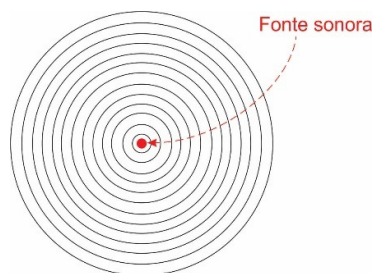
Figura 14 – Correlação pressão sonora ( $\mu\text{Pa}$ ) e nível de pressão sonora (dB)



Fonte: Adaptado de ALMEIDA et al (2006)

### 2.2.2. PROPAGAÇÃO DO SOM

A propagação do som no ar é semelhante às ondas na água, cuja oscilação transmitida partícula a partícula, fazem com que as ondas se espalhem uniformemente de forma esférica em todas as direções, diminuindo em amplitude conforme distanciam-se da fonte, como citado na caracterização física da onda sonora e ilustrado didaticamente na Figura 15.

**Figura 15 - Propagação uniforme esférica**

Fonte: REZENDE (2019), adaptado de BRUEL e KJAER (1984)

Souza et al (2013) e a publicação da BRUEL e KJAER (1984), destacam que a propagação do som no ar, quando a distância é dobrada, faz com que a amplitude diminua proporcionalmente pela metade, na razão de 6 dB, logo se a distância à fonte sonora passar de 1m para 2m, o nível de pressão sonora reduzirá em 6 dB. Essa situação só ocorre na condição de campo livre, onde a propagação é esférica e livre de barreiras, que seria a chamada situação ideal, quando não há objetos que reflitam ou bloqueiem essa propagação.

No entanto, o que se tem em campo são situações onde obstáculos/barreiras delimitam ambientes em que existem fontes sonoras propagando ondas.

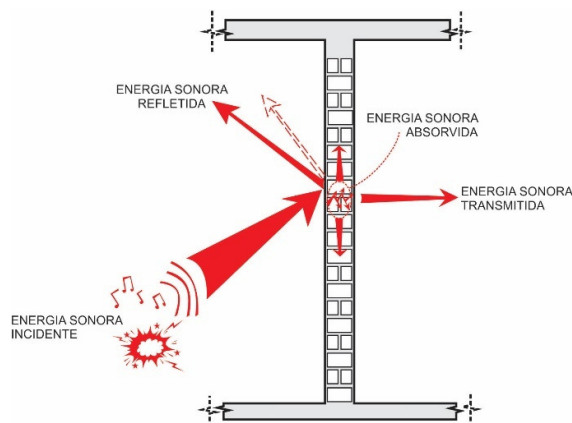
Neto (2006) esclarece que a propagação do som se dá de forma esférica a partir de uma fonte geradora, mas que essas ondas podem ser refletidas, absorvidas parcialmente através dos paramentos encontrados no ambiente e ainda transmitidas. Quando esse som é percebido entre ambientes separados por alguma superfície, ou seja, quando o som atravessa um obstáculo, o elemento de separação funciona como meio vibrante.

Sendo assim, quando a onda sonora encontra um obstáculo, a energia sonora incidente tem a propriedade de ser dividida em três partes, uma parte refletida, outra parte absorvida pelo obstáculo, degradando-se em forma de calor como pontuam Ribas (2013) e da Costa (2003), e ainda uma terceira parte que é transmitida através do obstáculo para o ambiente vizinho, com menor potência sonora, devido a atenuação que sofre pelo paramento ou elemento divisor.

Para efeito de representação, a Figura 16 apresenta as propriedades da energia sonora, denominado também como comportamento do som frente a obstáculos.



**Figura 16 - Comportamento da onda sonora frente a obstáculos**

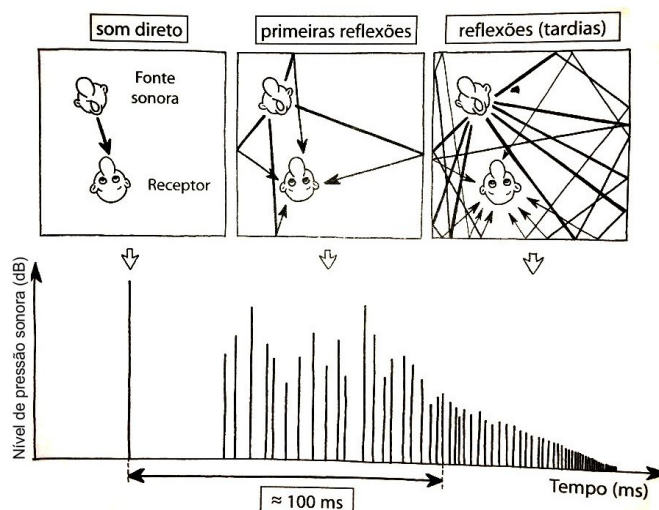


Fonte: REZENDE (2019)

A partir dessas propriedades, especialmente a de reflexão da energia incidente numa superfície, diz-se que o comportamento do som se assemelha ao comportamento da luz, pois é possível se perceber a energia sonora incidente de forma direta em conjunto com a energia sonora resultante das reflexões que ocorrem pelas superfícies.

Assim, justifica-se que o som que ouvimos não está limitado apenas ao som direto vindo da fonte sonora, mas à composição deste com a sequência de reflexões sofridas pela onda sonora no ambiente, efeito conhecido como reverberação, melhor discutido no item 2.2.3. A Figura 17 ilustra esse comportamento sonoro semelhante ao da luz, cujas reflexões complementam a energia direta.

**Figura 17 - Comportamento do som direto e suas reflexões em um ambiente**

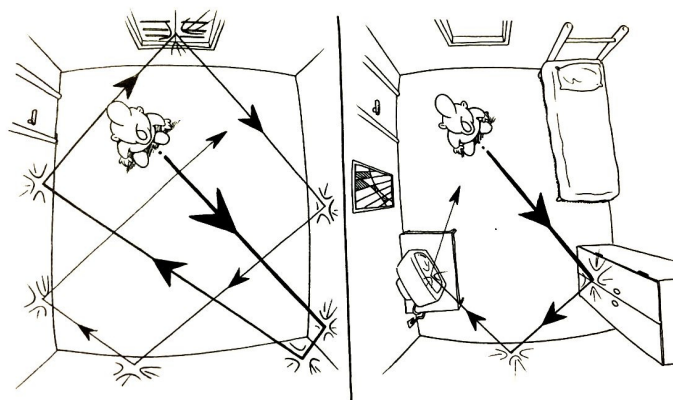


Fonte: SOUZA et al (2013)

Gerges (2000) ainda esclarece que a propriedade **de reflexão sonora** está relacionada à capacidade que corpos sólidos têm em devolver a onda sonora em outra direção ao meio; e que **a absorção da energia sonora** está relacionada à dissipação em energia térmica, inerente à superfície porosa e/ou fibrosa dos elementos, resultando assim em coeficientes de absorção sonora específicos para cada tipo de material que compõe o elemento de separação dos ambientes.

A Figura 18 ilustra a propriedade da reflexão e absorção do som no ambiente, reforçando entre as duas imagens que em um ambiente vazio ocorrem múltiplas reflexões, enquanto no ambiente ocupado, as reflexões se tornam menores em função da absorção ocorrida pelos mobiliários, além da absorvida pelas paredes em si.

**Figura 18 – Reflexões e absorção do som em ambientes**



Fonte: SOUZA et al (2013)

### **2.2.3. ECO E REVERBERAÇÃO**

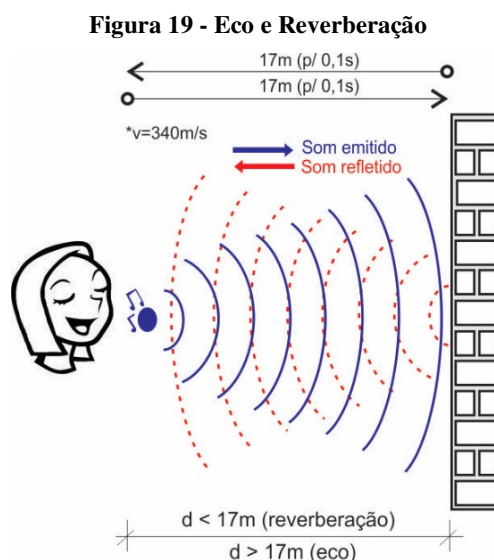
Dentro do estudo da reflexão sonora, convém entender os conceitos de eco e reverberação. Borges (2009) traz, didaticamente, um exemplo comum do cotidiano das sensações humanas: a sensação de dor após uma alfinetada, onde após retirado o estímulo, ou seja, retirado o alfinete, a dor não cessa instantaneamente, e relaciona esse entendimento como ponto chave na compreensão dos conceitos de eco e reverberação.

A autora, explicando fisicamente tais conceitos, admite que uma vibração auditiva, por mais curta que seja, traduz uma sensação auditiva de um décimo de segundo (0,1s), intervalo de

tempo conhecido como remanescência. Assim, quando o receptor recebe um primeiro som direto da fonte sonora e recebe um segundo som, resultado da reflexão, antes que termine o tempo de remanescência do primeiro, acontece uma superposição dos sons. A sensação é única e mais prolongada, a que se chama reverberação do som.

O eco ocorre quando o som refletido chega ao receptor com um atraso maior que o tempo de remanescência, ou seja, após um décimo de segundo (0,1s), e a sensação é de repetição do som, e não de continuidade.

Sabendo que a velocidade de propagação do som no ar é na ordem de  $340\text{m/s}^7$ , a distância em que a pessoa deve estar de um obstáculo para que possa ouvir o eco é a partir de 17m, ilustrado na Figura 19.



Fonte: REZENDE (2019)

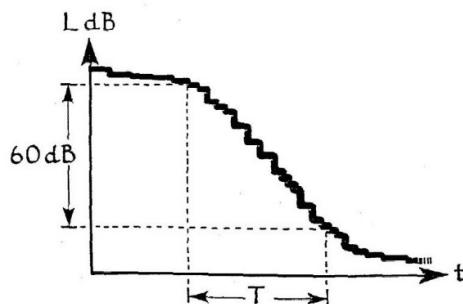
Almeida et al (2006) explicam que quando uma fonte sonora interrompe sua emissão no interior de um espaço fechado, o componente do campo sonoro relativo ao som direto cessa praticamente no mesmo instante, porém a componente relativa às múltiplas reflexões diminui gradativamente em função do grau de absorção e do volume do espaço. Essa percepção sonora no interior do ambiente se traduz num prolongamento da sensação sonora, por vezes confundido com o eco, mas que se trata da reverberação.

O tempo de reverberação, denominado por  $T_{60}$ ,  $T_2$  ou simplesmente TR é o intervalo de tempo em que o som leva para decair o nível de pressão sonora em 60 dB após cessada a emissão

<sup>7</sup> Velocidade do som considerada em média  $340\text{m/s}$  conforme citações na literatura explicadas na nota 5, pag.40

através da fonte sonora, porém o som não cessa logo após ser produzido, pois continua sendo percebido durante alguns instantes devido ao decaimento gradativo que é função do material absorvente no ambiente e das múltiplas reflexões, conforme pontuado por Cornachhia (2009), Almeida et al (2006), Silva Junior (2012) etc, ilustrado na Figura 20.

**Figura 20 – Ilustração do conceito de Tempo de reverberação**



Fonte: ALMEIDA et al (2006)

O decaimento sonoro será tanto mais rápido quanto mais absorventes forem as superfícies da envolvente do espaço (ALMEIDA et al, 2006).

O TR pode ser obtido através de equações matemáticas e de medições com instrumentação adequada (ZANNIN et al, 2005).

A equação matemática mais disseminada para o cálculo do TR foi desenvolvida pelo físico norte-americano Wallace Clement Sabine, cientista considerado o pai da acústica moderna (SILVA JUNIOR, 2012), a quem se deve o conceito de tempo de reverberação de um espaço. Sabine obteve a relação entre tempo de reverberação e os parâmetros geométricos de um ambiente. A equação de Sabine (Equação 5), como ficou conhecida, permite calcular o tempo de reverberação em função do volume interior livre do ambiente, da área das superfícies e do coeficiente de absorção sonora do material constituinte dessas superfícies, a quem alguns autores resume em área de absorção sonora equivalente (OLIVEIRA, 2006; ALMEIDA et al, 2006; SILVA JÚNIOR, 2012; ZANNIN et al, 2005).

$$TR = \frac{0,16 V}{\sum \alpha_n \times S_n} \quad (\text{Equação 5 – Tempo de reverberação})$$

$$TR = \frac{0,16 V}{A}$$

---

Onde:

$TR$  – tempo de reverberação;

$V$  – volume do ambiente;

$\alpha_n$  – coeficiente de absorção sonora dos materiais;

$S_n$  – área das superfícies;

$A = \sum \alpha_n \times S_n$  – absorção total do ambiente.

A medição do tempo de reverberação é feita seguindo uma metodologia determinada, em que se gera um sinal sonoro, amplificado até preencher toda a sala e, em seguida, o sinal é interrompido e é realizada a medição do tempo em que o som leva para cair 60 dB.

O tempo de reverberação é o parâmetro mais utilizado para avaliação da qualidade acústica interior, pois é possível para cada tipo de ambiente definir valores recomendados de reverberação em função da utilização do ambiente.

Uma reverberação em excesso provoca confusão e falta de inteligibilidade, e por outro lado, a escassez da reverberação torna o ambiente surdo, como pontua Costa (2003).

As condições acústicas ideais dependem das características do ambiente e das atividades desenvolvidas. Essa qualidade acústica é extremamente necessária em ambientes onde se busca maior pureza do som, com menor interferências, ou seja, onde a clareza e inteligibilidade garantam nitidez dos sons pronunciados, tais como nas salas de aula, salas de concerto, teatros, cinemas etc. Estudos feitos por Zannin et al (2005), Oliveira (2006), Takahashi e Bertoli (2012) comprovam que cada tipo de espaço deve alcançar um adequado tempo de reverberação relacionado à atividade desempenhada no espaço e assim garantir a requerida qualidade acústica.

Almeida et al (2006) destacam que a necessidade prática de limitar o tempo de reverberação para cada tipo de utilização a uma faixa de valores é resultado do tipo de alterações provocadas no campo sonoro interior por essa variação.

No entanto, conforme estudos mais recentes, mencionado por Prado Filho (2019), o tempo de reverberação não é o único indicador das propriedades acústicas dos ambientes, pois já se tem como consenso razoável de que outras medições, como as dos níveis de pressão sonora relativos, das razões entre a energia inicial e a energia tardia, dos níveis de pressão sonora residual, das frações de energia lateral e outros parâmetros, são novas grandezas necessárias

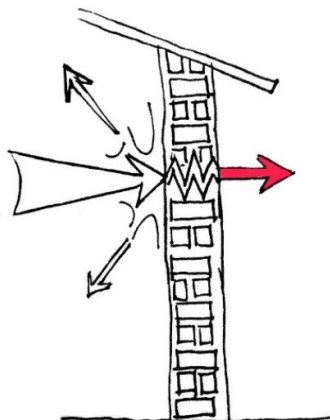
para uma avaliação mais completa da qualidade acústica dos ambientes, embora a reverberação continue sendo um indicador significativo.

#### 2.2.4. TRANSMISSÃO ACÚSTICA

Em relação à energia sonora que penetra na superfície, como esclarece Ribas (2013), parte desta energia absorvida se degrada em calor e outra parte é transmitida para o ambiente adjacente através da irradiação. Essa energia sonora chega ao ambiente adjacente com menor potência sonora devido a atenuação que ocorre pelo elemento divisor.

Gerges (2000) pontuava que a energia sonora transmitida é o resultado do que resta após o processo de incidência sonora sobre uma determinada superfície, ou seja, parcela que sobra após a reflexão e absorção do som incidente, como demonstrado na Figura 21.

Figura 21 - Som: parcela transmitida



Fonte: REZENDE (2019)

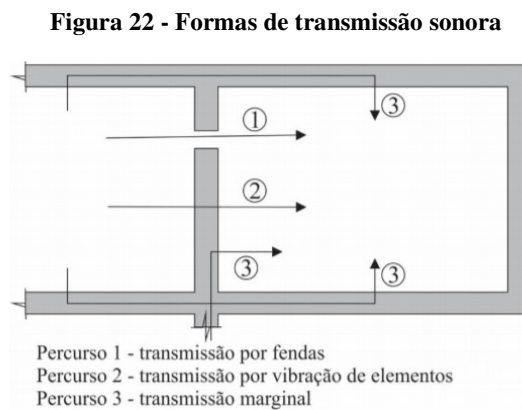
Rougeron (1977) e Costa (2003) explicam que esse processo de transmissão acústica pode se dar através de três caminhos que são:

- 1- pela via direta, ou seja, por meio do ar e pelas aberturas dos elementos de fechamento entre os ambientes, como portas, janelas, grades de ventilação, frestas das esquadrias;

- 2- de forma indireta, por meio dos elementos adjacentes, ou seja, através das superfícies limítrofes do ambiente fechado, no caso as paredes, pisos, esquadrias fechadas e outros tipos de fechamentos cujo isolamento próprio é insuficiente;
- 3- e por meio das tubulações e dutos das instalações diversas da construção que passam pelos recintos, onde as vibrações se transmitem e se somam às vibrações de utilização de tais instalações.

Assim, conclui-se que a parcela da **pressão sonora transmitida** de um ambiente para outro pode ocorrer através de formas distintas.

Esses tipos de transmissão são novamente descritos nos estudos de Souza (2016) e Ferreira (2004), onde são apresentados os caminhos da transmissão pela via direta, tanto por meio das fendas nos elementos divisórios, como por meio da vibração do elemento de separação entre os ambientes, e a transmissão indireta através dos elementos marginais, tanto paredes quanto lajes de piso, ilustrados na Figura 22.

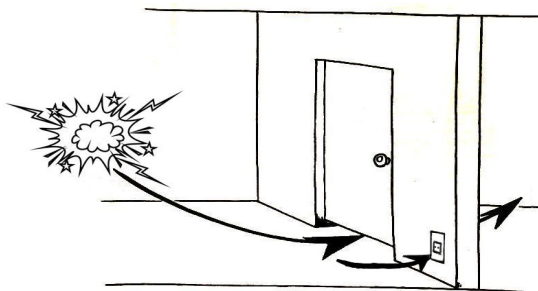


Fonte: SOUZA (2016)

Além desses meios de transmissão citados, alguns outros estudos vêm sendo feitos para comprovar que as falhas construtivas na construção civil contribuem para a transmissão sonora, e conseqüentemente o déficit do isolamento acústico. Rougeron (1977), Arizmendi (1980), Costa (2003), Souza (2016) e outros pesquisadores relatam que grande parte da energia acústica transmitida através do paramento de separação entre os ambientes ocorre exatamente por meio das imperfeições construtivas, seja das juntas, das canalizações, das frestas das esquadrias, das caixas de tomadas, dos encunhamentos parciais etc.

A ineficiência das vedações, que compromete a estanqueidade do ambiente, ilustrada na Figura 23 é, em geral, provocada pela falha ou ineficiência construtiva que torna-se o caminho mais fácil para a transmissão da energia acústica entre ambientes.

**Figura 23 - Transmissão sonora pela falta de vedação**



Fonte: REZENDE (2019)

Reforçando que a transmissão por vibração é a principal causa do fenômeno de transmissão acústica, Costa (2003) lembra que a transmissão é um fenômeno bastante complexo, pois ainda se dá por refração<sup>8</sup> da onda sonora, além da absorção da energia por meio dos poros do material constituinte das paredes, no entanto o autor destaca que a energia transmitida por irradiação por vibração da parede, na maioria das vezes é superior às ocasionadas pelas demais causas, razão pela qual os estudos acerca do isolamento acústico limitam as considerações acerca da transmissão por vibração.

Lievens (2013) investigou as fontes de sons irradiadas à estrutura das edificações, destacando que tipicamente todo tipo de fonte vibracional usada ou instalada nos prédios, transmitem energia sonora. Destaca-se aí que, além das vibrações de uso típico dos ocupantes, os equipamentos domésticos instalados, tanto nas paredes quanto nos pisos das edificações, são as fontes vibracionais que mais impactam na propagação do ruído.

A criação de um ambiente acusticamente agradável é um tema que tem sido muito buscado e debatido em todo o mundo, como relata Seddeq (2009). Para alcançar, dentro de um ambiente, uma intensidade de som compatível com as atividades humanas e, particularmente, uma intensidade que não seja prejudicial ao ouvido humano, o autor esclarece que o controle da transmissão do som com o emprego de diferentes técnicas de absorção sonora são as estratégias

---

<sup>8</sup> Fenômeno de refração do som acontece quando a onda sonora passa de um meio para outro, o que provoca a variação da velocidade de propagação e a variação do comprimento de onda, porém a frequência e fase da onda permanecem inalteradas (BORGES, 2009).



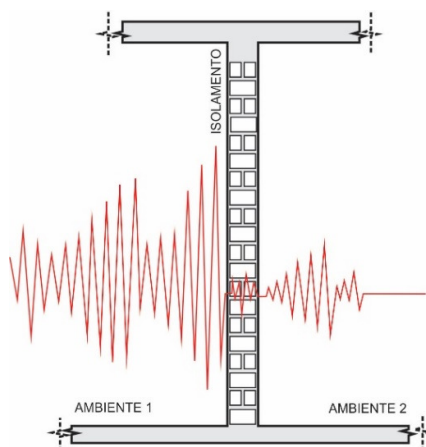
difundidas para obter o efeito de atenuação acústica, dito também isolamento acústico, visando conseguir o requerido ambiente agradável acusticamente.

### 2.2.5. ISOLAMENTO ACÚSTICO

Sharland e Lord (1979) definem isolamento, seja térmico, elétrico ou sonoro, como a maneira de prover uma barreira para um fluxo de energia. Tal barreira, especificamente a energia sonora, impõe determinada atenuação à transmissão da energia ao longo do caminho da propagação, que genericamente denomina-se isolamento sonoro.

O isolamento é uma maneira de diminuir a transmissão de energia sonora de um ambiente para outro e, como resume Oliveira (2006), o isolamento acústico consiste em impedir, ou pelo menos atenuar, a intensidade de propagação do som entre os ambientes (Figura 24).

Figura 24 - Ilustração de perda de transmissão devido ao isolamento



Fonte: REZENDE (2019)

MÉNDEZ et al. (1990) defendiam que o isolamento de uma parede depende da relação entre a energia incidente e a energia transmitida, definindo assim um coeficiente de transmissão sonora ( $\tau$ ) para cada tipo elemento, expresso pela Equação 6.

$$\tau = \frac{E_t}{E_i} \quad (\text{Equação 6 – Nível de Pressão Sonora})$$

---

Onde:

$\mathcal{T}$  – coeficiente de transmissão sonora;

$E_t$  – energia transmitida;

$E_i$  – energia incidente.

Baring (1988) apud Ferreira (2004) esclarece que o termo “isolamento acústico” está relacionado ao nível de perda de transmissão sonora do conjunto dos elementos construtivos da edificação, como paredes, lajes, janelas e portas, enquanto o termo “isolação sonora” refere-se ao valor da perda de transmissão de um elemento isolado. Porém Souza et al (2013) relacionam esses termos isolamento e isolação, respectivamente ao tratamento dos ruídos aéreos e ruídos de vibração/impacto.

Sendo isolação ou isolamento sonoro, o conceito implica a existência de dois espaços, um sendo o espaço emissor, que pode ser um ambiente fechado ou o meio exterior, e um espaço receptor, no qual o “som” é percebido como “ruído” (adaptado ALMEIDA et al, 2006).

Por conseguinte, Almeida et al (2006) estabelecem duas classificações na análise de um problema de isolamento acústico. A primeira classificação leva em consideração a localização do espaço emissor, ou melhor, a proveniência da fonte do ruído. Assim, destacam:

- Isolamento sonoro a sons provenientes do exterior (ou ruído ambiental);
- Isolamento sonoro a sons provenientes de um espaço interior ao edifício (ou ruído de vizinhança).

A segunda classificação é estabelecida através do modo pelo qual se processa a emissão e propagação do ruído no espaço emissor, uma vez que a transmissão se dá por vibração dos elementos construtivos do edifício. Para esta classificação quanto ao modo da geração e propagação do ruído, o isolamento sonoro é designado em:

- Isolamento sonoro a sons de condução aérea;
- Isolamento sonoro a sons de condução sólida ou a sons de percussão.

Essas classificações, citadas por Almeida et al (2006), foram levadas para a norma de desempenho como conceitos trabalhados para os requisitos de desempenho acústico, tema discutido no item 2.4.3.1.

O isolamento promovido por uma superfície, enquanto barreira acústica, depende da massa de sua estrutura (SOUZA et al, 2013), além de sua estanqueidade à propagação sonora e da

---

capacidade de amortecimento das ondas sonoras pelo material constituinte do elemento. Essa estanqueidade se traduz na eliminação de quaisquer aberturas que sirvam de fuga de energia sonora, tais como as das falhas construtivas, ilustrada anteriormente na Figura 23.

A variação de pressão sonora pela qual os elementos construtivos são submetidos, faz com que eles vibrem e essa vibração é controlada principalmente pela massa de superfície. Souza et al (2013) destacam que a massa do material influencia na eficiência do isolamento acústico dos elementos, no entanto, a importância da massa depende da frequência sonora, visto que para sons de baixa frequência, o aumento de massa é menos eficiente que para sons de alta frequência. Nesse sentido pode-se dizer que o estudo de isolamento sonoro tem estreita relação com a lei das massas.

Além disso, pesquisadores também relacionam o isolamento acústico com a capacidade de absorção dos elementos constituintes do ambiente.

Almeida et al (2006) estudaram a acústica em edifícios e concluíram que, além da diminuição do nível de ruído de fundo, a absorção sonora é o fenômeno de maior influência para a análise da acústica interior de espaços adjacentes. Os autores salientam que a capacidade de absorção sonora, comum a todos os materiais e elementos construtivos, porém com índices particulares para cada tipo de elemento, deve ser considerada nas soluções de atenuação acústica como regra de boa prática a ser especificada nos paramentos divisórios dos ambientes.

Souza et al (2013) também destacam que, enquanto um material isolante promove a redução do nível sonoro transmitido de um ambiente ao outro, o material absorvente regula a quantidade de absorção do som dentro do próprio ambiente, contribuindo assim no estudo da atenuação acústica entre ambientes.

#### **2.2.5.1. SONS DE CONDUÇÃO AÉREA e SONS DE IMPACTO**

Conceitualmente, os sons de condução aérea incluem aqueles originados no ar e continuamente nele propagados, além dos gerados no ar, mas que provocam a vibração de uma superfície, que por sua vez provoca novamente a vibração do ar adjacente à sua face oposta (SOUZA et al, 2013).

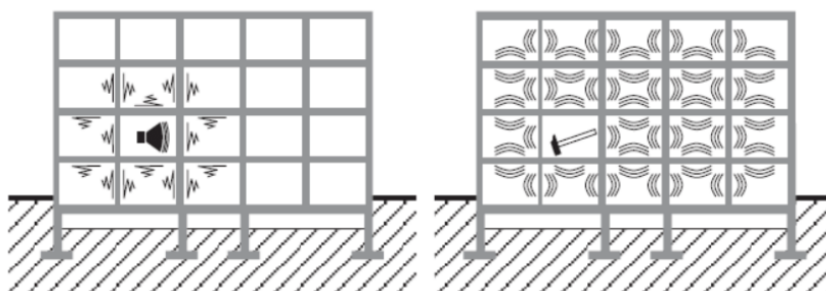
Assim, quando a emissão e propagação do som se processa através da vibração do ar contido no espaço emissor, por solicitação de uma determinada fonte, como no caso de um aparelho de televisão, ou outra fonte de produção sonora, neste caso fala-se de sons de condução aérea.

Quando os sons são resultantes da vibração de elementos sólidos pela ação direta da fonte sonora, produzidos por uma excitação mecânica aplicada em um curto período de tempo direto na estrutura (FERREIRA, 2004), fala-se em sons de condução sólida ou sons de impacto ou percussão, como por exemplo o arrastar de móveis sobre o piso, os passos sobre uma laje, a queda de objetos, o uso de martelo ou de furadeira na fixação de móveis (ALMEIDA et al, 2006). Lievens (2013) ainda destaca que à vibração dos sons de impacto são somadas as vibrações dos equipamentos de serviço instalados nas edificações, tipicamente os equipamentos domésticos nas edificações habitacionais.

As vibrações de sólidos e os impactos são transmitidas diretamente sobre uma estrutura e se propagam através desta, vibrando e irradiando energia no ambiente receptor (FERREIRA, 2004), provocando posteriormente a vibração do ar. Essa vibração é percebida enquanto o movimento ou fricção estiver atuando (SOUZA et al, 2013).

Almeida et al (2006) explicam que a condução aérea dos sons e ruídos são típicos das condições acústicas dos espaços adjacentes ao local da emissão do som; enquanto os sons de percussão podem ser provenientes de espaços mais distantes, devido a propagação das ondas sonoras pelos elementos marginais, cuja vibração vai caminhando por toda a conexão entre os elementos construtivos (Figura 25).

**Figura 25 - Diferença entre sons de condução aérea e sons de condução sólida ao nível da geração e propagação do ruído**

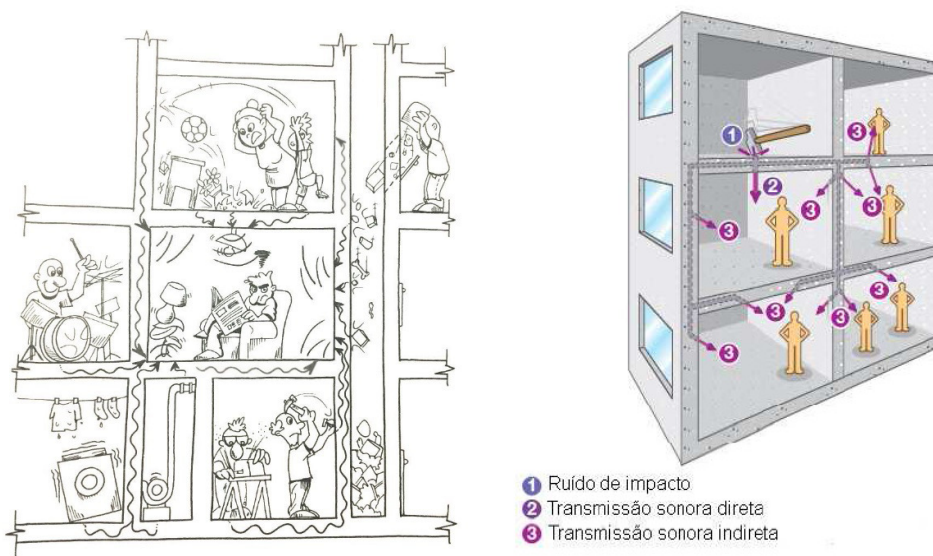


Fonte: PATRICIO (2005)

Essas ligações rígidas dos elementos construtivos fazem com que a vibração gerada pela excitação do impacto num cômodo seja transferida ao longo da estrutura, propagando-se com grande facilidade através de toda malha que define os espaços de utilização, estabelecendo campos sonoros eventualmente intensos em compartimentos razoavelmente distantes do local de origem da vibração [...] sendo difícil, muitas vezes, a detecção do local de emissão (PATRICIO, 2005 e 2010; HEISLER et al, 2017). Por essa razão, esse tipo de som pode apresentar maior potencial de incomodo que os sons de condução aérea.

A Figura 26 (a,b) ilustra como ocorre a transmissão da vibração dos sons e ruídos de impacto. Assim, além da forma direta, essas vibrações podem percorrer longos caminhos, distantes da fonte de produção sonora, através das ligações rígidas da estrutura, sendo, portanto, transmitidas de forma indireta a diversos pavimentos.

**Figura 26 (a,b)- Transmissão de ruídos de impacto e vibrações**



Fonte: a) SOUZA et al (2013); b) CORNACCHIA, 2009

A irradiação da energia sonora gerada por vibrações, em geral é proporcional à dimensão da estrutura, no entanto a lei de massa não é uma medida satisfatória para esses casos de sons de impacto. Este tipo de som pode ser minimizado pelo desacoplamento dos elementos da construção, ou seja, pela utilização de materiais resilientes, lajes-flutuantes ou outras soluções que favoreçam a descontinuidade das estruturas. Diversos estudos tem sido feitos para buscar melhores métodos de isolar o ruído de impacto do piso, e o uso de pisos flutuantes tem sido os

mais eficazes nesse quesito (STEWART; CRAIK, 2000; SIPARI, 2002; BISTAFA, 2011; TUTIKIAN et al, 2017; SCHIAVI, 2018; SIQUEIRA, 2018; NA et al, 2019).

Na prática, importa destacar que os sons, seja os transmitidos por via aérea seja os transmitidos por via sólida, requerem soluções de isolamento sonoro como um fator determinante na melhoria das condições que favoreçam as relações diárias entre as pessoas, considerando desta forma, a minimização dos incômodos causados por tal transmissão.

Embora os sons de condução aérea e de percussão possam vir do exterior do edifício, como ilustrado na Figura 27, o foco deste trabalho é o isolamento dos sons transmitidos pelos paramentos internos que delimitam os espaços, isto é, pelas vedações verticais internas e vedações horizontais das edificações residenciais, denominadas por alguns autores como elementos construtivos de contorno ou de transmissão marginal.

**Figura 27 - Exemplos de sons de condução aérea e de percussão com origem no exterior dos edifícios**



Fonte: SOUZA et al (2013)

Porém, tanto para os sons de origem externa, tanto quanto para os originados internamente nas edificações, a análise das ondas sonoras envolve o comportamento delas em relação ao meio em que ocorre a propagação (PRADO FILHO, 2019). Diversos fenômenos complexos envolvem essa interação das ondas sonoras com o meio, e estas interações acústicas interferem no conforto e desempenho dos elementos e recintos. Destacam-se a absorção sonora, a difusão, a difração, a refração, a ressonância, a reflexão e batimento, além da reverberação, porém a norma de desempenho não trata desses fenômenos, pois se detém exclusivamente na atenuação acústica, ou seja, no isolamento à transmissão dos sons e ruídos aéreos e de impacto

---

transmitidos, razão pela qual não foram explorados todos estes conceitos neste trabalho, sendo conceituado apenas o conceito de reverberação, anteriormente no item 2.2.3, pelo fato de que, nas medições de campo de desempenho acústico esse fenômeno é considerado como informação relevante de avaliação.

### **2.2.6. RUÍDO AMBIENTAL**

O ruído é uma questão ambiental importante, particularmente em áreas urbanas, afetando um grande número de pessoas. Até o momento, a maior parte das avaliações do problema do ruído ambiental baseou-se no incômodo que causa aos seres humanos ou na medida em que perturba várias atividades humanas (WHO, 2011).

O ruído urbano, caracterizador da poluição sonora urbana, é considerado um ruído complexo por ser composto de vários ruídos secundários, provenientes de fontes de atividades diversas. A poluição sonora está mesclada à vida urbana das cidades e possui influência sobre o meio ambiente e sobre a qualidade de vida dos seres humanos (ARNDT et al, 2010).

Há uma preocupação importante [...] com o nível de ruído ambiente, especialmente porque o excesso de barulho ou de exposição pode causar danos irreversíveis ao aparelho auditivo, além de outros danos que envolvem a própria saúde mental (PRADO FILHO, 2019).

A urbanização, o crescimento econômico e o transporte motorizado são algumas das forças motrizes para a exposição ao ruído ambiental e os efeitos na saúde. A OMS (WHO, 2011) define ruído ambiental como o “ruído emitido de todas as fontes, exceto os locais de trabalho industriais”. A União Europeia, na Diretiva 2002/49/EC já definia ruído ambiental como “som externo indesejado ou prejudicial criado por atividades humanas, incluindo ruído de estradas, ferrovias, aeroportos e de instalações industriais”. As definições se complementam, visto que o ruído caracteriza som indesejável.

Esses ruídos externos adentram nas edificações e muitas vezes prejudicam e até impossibilitam algumas atividades humanas, sejam de trabalho, de estudo ou mesmo de descanso.

Com a expansão e o crescimento desordenado das cidades, acompanhado do adensamento, ou seja, o aumento da densidade populacional, e conseqüentemente o crescimento do fluxo de veículos, o excesso de ruído passou a afetar cada vez mais a sociedade (DACOL, 2013; RADAVEL; PAUL, 2015; PARK; LEE, 2017).

---

Segundo Souza et al (2013), os ruídos externos, além de causar problemas acústicos no ambiente urbano, ainda são responsáveis pelos incômodos nos ambientes internos das edificações, pois estes ruídos são capazes de se propagar para o interior por meio da absorção e irradiação através dos materiais que compõem as fachadas dos imóveis.

Segundo Ferreira (2004), a exposição prolongada aos ruídos, especialmente aos ruídos ambientais de alta potência e duração, pode causar graves problemas à saúde das pessoas, tais como aumento da pressão arterial, dor de cabeça, insônia, estresse, irritabilidade e outros transtornos. Prado Filho (2019) ainda complementa dizendo que as consequências psíquicas e somáticas incluem nervosismo, taquicardia e outros, além de lesões e degenerações irreversíveis às células e fibras nervosas do aparelho auditivo.

Segundo publicação do escritório regional da Europa da Organização Mundial de Saúde – OMS (WHO, 2011), os impactos do ruído ambiental na saúde são uma preocupação crescente entre o público em geral da União Europeia, que vem repercutindo sistematicamente nas decisões de políticas públicas, respaldados por vários estudos que sintetizam as evidências sobre o relacionamento entre o ruído ambiental e os efeitos específicos para a saúde, desde o aparecimento de doenças, quanto o comprometimento cognitivo, distúrbios do sono, zumbido e aborrecimento da população, este último como consequência negativa ao bem-estar físico, mental e social das pessoas. Nessa publicação, a OMS aplica essa relação exposição-resposta e calcula a carga da doença em termos de anos de vida perdidos, ou seja, estado de baixa saúde ou incapacidades, indicando que, pelo menos, um milhão de anos de vida saudável são perdidos todos os anos devido ao ruído ambiental.

Assim, a poluição sonora é considerada não apenas um incômodo ambiental, mas também uma ameaça à saúde pública (WHO, 2011). A poluição sonora é tratada como um problema que beira o intolerável como destacam Costa e Oliveira (2016), uma vez que os danos à saúde e ao meio ambiente extrapolam as questões pessoais trazendo sérios prejuízos às atividades sociais, educacionais e profissionais. Problema debatido pela OMS desde 2003, quando já se debatia que a poluição sonora configurava o tipo de poluição que atingia maior número de pessoas no mundo, perdendo apenas para a poluição do ar e da água (FERREIRA, 2004).

A poluição sonora ambiental tem elevado os níveis de ruído urbano a índices que tem comprometido o ambiente e a qualidade de vida (GUEDES, 2005 apud FERREIRA, 2009), mostrando que os sistemas construtivos que compõem as fachadas das edificações devem permitir desempenho acústico tal para minimizar esse impacto.



---

Segundo Sales et al (2018), a principal fonte de ruído das grandes cidades é o tráfego de veículos, sejam aéreos, ferroviários ou rodoviários, e em seu estudo é proposto um método para mapeamento sonoro, utilizando medições do tráfego local, de modo a auxiliar o planejamento da cidade e, portanto, servir de objeto de consulta a projetistas na definição da isolação sonora necessária à minimização da transmissão dos ruídos incidentes que adentram no interior dos imóveis. Nardi (2008), Guedes e Bertoli (2014) e outros estudos relatam essa problemática do ruído do tráfego veicular como o principal agente de poluição sonora em áreas urbanas.

O método de mapeamento sonoro se apresenta como ferramenta fundamental para o estudo, diagnóstico e gestão do ambiente sonoro, simulando os níveis de ruído externo às edificações, não apenas para cumprir legislações em projetos, mas especialmente para permitir aos construtores oferecer produtos com qualidade aos usuários, conforme defende Dacol (2013).

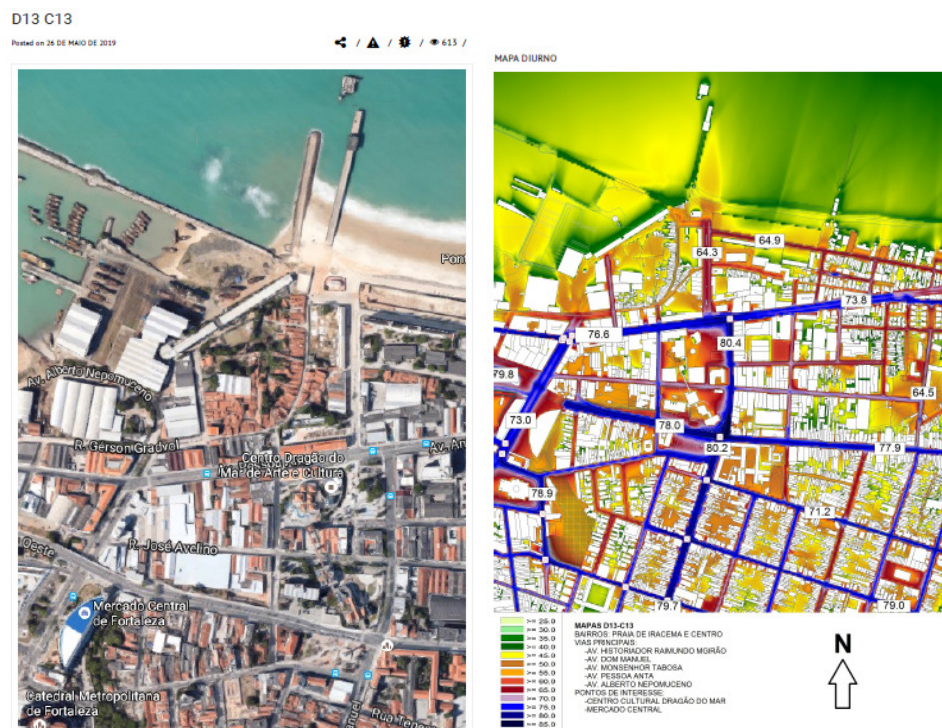
O mapa acústico (ou mapa de ruído) tem como principal objetivo a criação de representações visuais do ruído ambiental de uma área geográfica, sendo os níveis de ruído representados de maneira semelhante às curvas topográficas (GUEDES; BERTOLI, 2014), com cores variando a cada 5dB conforme recomendações da ISO 1996-2 (ISO, 2007), dando condições ao público em geral, aos técnicos de ordenamento e planejamento urbano e aos decisores das políticas públicas de entender a qualidade acústica local e implementar legislações, zoneamento e planos de redução de ruídos (NARDI, 2008).

Mapear o ruído urbano ainda está iniciando no Brasil, pois tal mapeamento não tem sido realizado de forma sistemática no âmbito das cidades, como esclarece Guedes e Bertoli (2014). Apenas exemplos pontuais como São Paulo, Fortaleza (ilustrado na Figura 28) e Recife possuem iniciativas de mapas acústicos, embora esse tema venha ganhando espaço contínuo nos trabalhos acadêmicos. Essa realidade do Brasil vai na contramão do que se vê na Europa, que tem a cartografia sonora obrigatória para aglomerados urbanos com mais de 250 mil habitantes, desde a Diretiva Europeia<sup>9</sup> de 2002, e mesmo antes dessa obrigatoriedade, algumas cidades europeias já possuíam seus mapas acústicos, como Lisboa, cujo mapa de ruído foi publicado desde o ano 2000.

---

<sup>9</sup> Decisão do parlamento Europeu relativo à gestão da poluição sonora no meio ambiente, determinando entre outras medidas a elaboração de mapas de ruído para subsidiar os planos de ações dos Estados-Membros.

Figura 28 - Trecho de carta acústica Fortaleza



Fonte: <https://cartaacusticadefortaleza.com.br/>

As evidências contundentes/indiscutíveis da relação da exposição excessiva aos ruídos com os efeitos nocivos à saúde da população, respaldam a necessidade do controle sonoro nos ambientes, tanto interno quanto externamente, e no caso da poluição sonora resultado dos ruídos ambientais, especialmente para minimizar a transmissão de tais ruídos do exterior ao interior das edificações.

### 2.3.CONFORTO ACÚSTICO

O termo “confortável” tem suas origens na palavra latina *confortare*, que surgiu para designar ações de “fortalecimento” e “consolo” [...] noção de “apoio” que foi ampliada ao passar dos anos, passando a significar algo “tolerável” ou “suficiente”, adquirindo, apenas a partir do século 18, o sentido de “bem-estar físico” e “prazer” (MAHMOOD, 2017).

Embora a ideia de conforto tenha diversas perspectivas, o conceito abrange aspectos físicos-construtivos e psicológicos, podendo o conforto ser percebido, sentido, vivenciado e até mesmo medido, classificado e normatizado, conforme esclarece Freitas (2005).

---

Quando se fala em conforto acústico logo se associa ao controle da perturbação do sossego por conta de barulho. Barulho esse associado a sons desagradáveis, ou seja, aos ruídos.

Mas o que de fato seria conforto acústico?

O conceito de conforto acústico converge para o domínio sensorial de percepção sonora, pois sugere uma sensação de tranquilidade emocional, de privacidade no repouso e nas atividades pessoais, de satisfação em atividades de trabalho e de lazer. Muitas das vezes, a sensação de conforto não é claramente perceptível a priori, mas o inverso, ou seja, o incômodo causado pela sua falta, de pronto é manifesto.

Segundo Neto (2009), o conforto acústico pode ser um conceito subjetivo ou uma exigência objetiva, sendo que de uma forma ou de outra, ele tem sido cada vez mais exigido por proprietários ou usuários de edificações. A formalidade do conceito, por mais subjetivo que seja, pode não ser compreendido pela população, no entanto a ausência do conforto acústico cada vez mais é perceptível e a exigência objetiva de morar ou trabalhar em ambientes acusticamente confortáveis vem se tornando mais frequentes.

*A questão do conforto acústico em edificações pode não estar ligada somente ao valor do isolamento da partição entre ambientes. A percepção total, parcial ou nula da conversação da vizinhança adjacente proporciona níveis de conforto que vão do indesejável ao ideal. Essa percepção da palavra falada pode ser um indicativo do nível de conforto que o usuário anseia (NETO, 2009).*

Neto (2009) em seu estudo defende que a privacidade tem relação direta com o conforto acústico, de modo que em seu trabalho a autora investiga que nível de conforto seria o ideal para minimizar tais transtornos ao convívio familiar, seu repouso e as relações entre vizinhos.

*Dos valores de desempenho em campo, das paredes e parâmetros utilizados na avaliação da inteligibilidade da fala, obtém-se como proposta valores de nível de conforto para cada ambiente [...] (NETO, 2009).*

Problemas entre vizinhos por conta de barulho, por muitas vezes resultam em fins trágicos e constantemente são noticiados nos jornais, internet, mídias sociais ou outros meios de comunicação da atualidade, como os exemplificados nas Figuras 29 a 31.

**Figura 29 - Notícias Briga entre vizinhos - Portal G1 SP 24.05.13 e G1 Bauru e Marília 18.06.19**

24/05/2013 14h37 - Atualizado em 24/05/2013 18h31

## Vizinhos executados brigavam por barulho havia um ano, diz polícia

Empresário matou casal e se suicidou em Santana do Parnaíba. Delegado disse que barulho de salto alto teria motivado reação.

Tatiana Santiago  
Do G1 São Paulo

Fonte: SANTIAGO (G1 São Paulo, 2013)

## Briga de vizinhos por causa de barulho termina em morte em Bauru

Homem de 49 anos morreu esfaqueado. Vítima chegou a ser socorrida mas não resistiu a gravidade dos ferimentos. Caso foi registrado como lesão corporal seguida de morte.

Por G1 Bauru e Marília  
18/06/2019 14h26 - Atualizado há 3 meses



Fonte: G1 Bauru e Marília (2019)

**Figura 30 - Notícia R7 Cidade Alerta 31.07.16-Briga entre vizinhos em Minas Gerais**

## Briga entre vizinhos por causa de som alto termina em morte

MG NO AR  
31/07/2016 - 00h20

A- A+

Uma briga entre vizinhos por conta de festas e som alto terminou em morte. O suspeito do crime fugiu e ainda não foi localizado.

Tags: briga; vizinhos; som alto

Fonte: CIDADE ALERTA (2016)

**Figura 31 - Notícia R7 Cidade Alerta 09.04.16-Briga entre vizinhos em São Paulo**

## Briga de vizinhos termina em morte; mulher reclamava do excesso de barulho

CIDADE ALERTA  
09/04/2016 - 20h01 (Atualizado em 20/10/2018 - 17h57)

A- A+

Dande, de 42 anos, foi morto a facadas pela vizinha, Luciana. Desde que mudou para a casa da frente, a mulher reclamava do barulho. Dande, gostava de reunir os amigos para torcer pelo Corinthians e fazer uma roda de samba.

A acusada está foragida.

Tags: cidade alerta; marcelo rezende; briga vizinhos; homem morre vizinha; vizinha mata homem; vizinha briga barulho

Fonte: CIDADE ALERTA (2016)

A definição de conforto como conceito subjetivo já foi estudada por diversos pesquisadores. Rasmussen (2004) explica que o conforto acústico pode ser entendido pela ausência de som indesejado e por atividades que não provoquem incomodo às pessoas. Destaca ainda que, do mesmo modo que é desagradável a exposição ao ruído produzido pelos vizinhos, saber que suas atividades podem ser ouvidas caracteriza incômodo e desconforto acústico. Neto (2009) destaca que o conceito abrange vários fatores e relaciona-o com o sossego, a privacidade, o bem-estar e a qualidade de vida, definição essa similar à de outros autores, como Freitas (2005) que diz

que o conforto, de uma forma geral, está relacionado a questões psicológicas de identificação e satisfação com o local, assim como a condições físicas de temperatura, umidade, ventilação, iluminação e acústica.

Berrio e Castro (2012) esclarecem que conforto é uma função dinâmica multidimensional de várias variáveis independentes, afetada por percepções, pontos de vista e costumes subjetivos.

Assim, o conforto acústico não é um conceito meramente objetivo, visto que a particularidade do incômodo é uma variável entre as pessoas, conforme ilustrado na Figura 32.

**Figura 32 - Peculiaridade da questão do incômodo acústico-Contraste de percepções**



Fonte: SILVA JÚNIOR (2012)

Nota-se que o conforto acústico só é lembrado quando os incômodos começam a surgir, exemplo dado no caso da aquisição das residências estudado por Neto e Bertoli (2010), onde atualmente cada vez mais busca-se empreendimentos residenciais com vastas opções de lazer, com espaços internos bem divididos e espaçosos, como um verdadeiro clube de lazer privado; e a discussão acerca do conforto acústico só surge quando, após a ocupação, os moradores passam a escutar as conversas dos vizinhos, os passos em andares superiores, ou seja, quando o ruído começa a atrapalhar o tão cobiçado sossego. Jensen et al (2019) demonstram que o incômodo com o ruído da vizinhança está associado a vários fatores de comprometimento da saúde mental e física.

Muito raramente a questão do conforto acústico vinha sendo pensada na hora de projetar um empreendimento, e por conseguinte, as soluções no pós-obra se mostram sempre mais caras e menos eficientes. Contudo, a falta de prioridade na questão de acústica nos projetos não é culpa exclusiva dos profissionais, uma vez que regras e diretrizes de conforto acústico para ambientes internos e a preocupação com o bom isolamento acústico são temas relativamente recentes nas

normas brasileiras para edificações habitacionais, se comparadas à história da construção civil, como pontua Neto (2009).

Pesquisas demonstram que, além do método construtivo das edificações, os materiais empregados, os objetos de decoração e a ocupação humana, ou seja, todos os componentes da edificação contribuem para estimar o conforto global da edificação, como esclarece Silva Junior (2012), que complementa destacando que cada tipo de material e sistema construtivo apresenta uma característica acústica peculiar, reforçando que para avaliar o bom isolamento acústico dos sistemas da edificação e se o mesmo tem boa capacidade de absorver o som, o ideal é a aferição em laboratório do nível de isolamento acústico (IA), cujos alguns exemplos estão apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2 - Índice de isolamento acústico (IA) de materiais/sistemas construtivos**

<b>Materiais ou sistemas</b>	<b>IA (dB) 500Hz</b>
Parede de concreto 30cm, c/ agregado graúdo, rebocada	50
Parede de concreto 15cm, c/ agregado miúdo	40
Parede de tijolo maciço ou pedra 45cm	55
Parede de tijolo maciço 22,9cm, c/ reboco de 13mm	50
Parede de tijolo maciço 11,2cm, c/ reboco de 13mm	45
Parede de concreto celular siporex 15cm, densidade 450kg/m <sup>3</sup>	42
Parede de concreto celular siporex 7,5cm, densidade 450kg/m <sup>3</sup>	35

Fonte: SILVA JÚNIOR (2012)

Pelos valores dessa tabela, pode-se observar que a isolação sonora é tanto maior quanto a densidade do material do sistema construtivo adotado, o que comprova a relação do isolamento acústico com a lei das massas, citado no item 2.2.5 e defendido por Souza et al (2013). No entanto, Silva Junior (2012) explica que o índice de isolamento não dobra na mesma relação que dobra a densidade de um material, devido a função logarítmica que determina tal índice, concluindo que a atenuação acústica aumenta em 6dB quando ocorre a duplicação da densidade superficial. A Equação 7 demonstra tal relação.

$$IA = 20 \log(\delta S) \quad (\text{Equação 7 - Índice de isolamento acústico})$$

Onde:

---

$IA$  – índice de isolamento ou atenuação sonora;

$\delta S$  – densidade superficial.

Nesse sentido, buscar o conforto acústico pressupõe adotar soluções de isolamento e neste sentido, algumas normas foram criadas para serem norteadoras da avaliação da intensidade acústica.

No âmbito da fundamentação legal que tutela no Brasil quanto ao conforto acústico, as normas NBR 10151 e NBR 10152 foram criadas em 1987 como referência para avaliação de ruído, visando o conforto da população. Porém não são normas fiscalizadoras e sim normas de referência, com fins de dar condições de avaliar a adequação de um ambiente conforme seu uso quanto a questão do ruído aceitável.

A percepção do ruído de vizinhança é um importante indício desse desconforto acústico. Caracterizado pela transmissão sonora entre ambientes contíguos, o ruído de vizinhança contribui para a potencialização do incomodo acústico no interior das residências. A transmissão interna desses ruídos, seja através das paredes e lajes dos ambientes, seja pelo choque de um objeto em uma estrutura rígida (citado anteriormente como os sons de impacto), pressupõe a necessidade de isolamento sonoro com vistas a mitigar tal desconforto. Isolamento que é tratado na norma de desempenho NBR 15575 (ABNT, 2013), abordada a partir do item 2.4, como mecanismo que contribui para a melhoria do conforto acústico do ambiente e busca do bem-estar e qualidade de vida das pessoas, afinal conforto e desempenho são conceitos que se complementam.

Conforme valores de referência quanto ao conforto, a tabela 3 da NBR10152 (ABNT, 2017), reproduzida adiante no item 2.3.1, em uma residência, determina que o nível de pressão sonora global de um dormitório deverá ser menor ou igual ao índice médio ponderado de 35dB ( $RL_{Aeq}$ ), ou se a fonte sonora estiver dentro do ambiente o nível máximo pode chegar a 40B ( $RL_{ASmax}$ ), sendo considerado como o nível NC representativo do ambiente dormitório o valor de 30. Valores medidos ou projetados acima destas referências são considerados como não aceitáveis, ou seja, não confortáveis.

Já quanto ao desempenho, a NBR 15575 (ABNT, 2013) não apresenta valores representativos de conforto acústico do ambiente, mas valores balizadores do isolamento sonoro entre paredes e pisos, ou seja, valores de atenuação acústica. Para o mesmo exemplo utilizado de um ambiente dormitório, pela NBR 15575 o isolamento mínimo exigido entre paredes de unidades

---

autônomas, ou seja, entre dois apartamentos em que pelo menos um dos ambientes seja um dormitório, deverá ser de 45dB, exatamente com finalidade de minimizar o ruído transmitido e buscar o conforto acústico, pois como citado desempenho e conforto se complementam.

Trabalhos publicados por pesquisadores em todo o mundo, citados por Neto (2009) em sua pesquisa, como Laird e Coye em 1929, Bitter e Van Veeeren em 1955, Croome em 1977, Utley e Buller em 1988, Gibbs e Maluski em 2004, apontam diversas fontes causadoras dos ruídos, relacionando a audibilidade com a situação de desconforto. A pesquisadora aponta com esses estudos anteriores que os ruídos de vizinhança, provenientes de impacto de portas em batida, caminhamento ,crianças brincando ou impacto de objetos no piso, sons de rádio e TV em alta potência, latidos de cães, além da conversação entre as pessoas, são as razões que mais causam incômodo nas edificações residenciais. Por fim, revelam a tendência de o ruído de vizinhança, em alguns casos, vir a superar os ruídos de tráfego rodoviário, segundo um dos estudos de caso citados.

Assim, percebe-se que está se evoluindo na busca da melhor qualidade de vida e de conforto nas edificações, tanto pelos órgãos normalizadores quanto pelos profissionais envolvidos em pesquisas e em trabalhos sobre o tema, pois a questão de ruídos, seja os ruídos do exterior da edificação ou os provenientes das atividades internas, contribuem continuamente ao desconforto acústico dos ambientes, impactando inclusive na saúde física e mental dos indivíduos.

Concluindo, quando se fala de conforto, se fala em necessidade humana, pois a definição converge para o estado de bem-estar do indivíduo, necessário à garantia da qualidade de vida, já o conceito de desempenho se refere ao comportamento em uso de determinado elemento, sistema etc, melhor discutido a partir do item 2.4.

### **2.3.1. REFERÊNCIAS NORMATIVAS QUANTO AO CONFORTO – NBR 10151 e NBR 10152**

A NBR 10151 – Acústica: Avaliação do ruído em áreas habitadas, publicada inicialmente em 1987, revisada no ano de 2000 e, recentemente, em 2019, vem tratar dos níveis de avaliação para ambientes externos e internos, determinando critérios e métodos de medição e estabelece faixas de valores de ruído aceitáveis em função do período diurno ou noturno do dia.



A norma NBR 10151 fixa condições exigíveis para avaliação da aceitabilidade do ruído em comunidade, explicando um método para a medição do ruído (ARNDT et al, 2010).

Os Níveis de Critério de Avaliação (NCA) são os níveis de pressão sonora máximo admitidos no período diurno e noturno nas comunidades, variando de acordo com o tipo de área e o período de incidência do ruído. A norma traz para cada tipo de ambiente externo um NCA diferente para o período diurno e noturno, explicando que, para ambientes internos, esses valores de NCA são corrigidos em -10 dB(A) e -15 dB(A) para janelas abertas ou fechadas, respectivamente, ou seja, de acordo com as condições de uso do ambiente.

Com a nova atualização de 2019, a norma trouxe mais detalhes para medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas para aplicação de forma geral.

A Tabela 3 apresenta o NCA para ambientes externos, expressos em dB(A) que é a unidade de medida ponderada definida pela norma.

**Tabela 3 - Nível de critério de avaliação NCA para ambientes externos, em dB (A)**

Tipos de áreas	Diurno	Noturno
Áreas de sítios e fazendas	40	35
Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas	50	45
Área mista, predominantemente residencial	55	50
Área mista, com vocação comercial e administrativa	60	55
Área mista, com vocação recreacional	65	55
Área predominantemente industrial	70	60

Fonte: NBR 10151 (ABNT, 2000)

A NBR 10152 – Acústica: Níveis de ruído para conforto acústico, de 1987, que teve como origem o projeto NB-95/1986, fixa os níveis de ruído compatíveis com o conforto acústico em ambientes diversos, estabelecendo valores aceitáveis para tais ambientes, a partir dos quais se fala em desconforto, condicionando fortemente a produtividade e até a saúde das pessoas. No entanto, essa norma não trata dos riscos de danos à saúde em decorrência do ruído, assunto esse estudado em normas específicas, e sim dos valores de referência médios, máximos e representativos de pressão sonora admitidos para cada tipo de ambiente, respectivamente  $RL_{Aeq}$ ,  $RL_{ASmax}$  e NC.

---

De acordo com a NBR 10152 (ABNT, 1987), o limite aceitável de barulho depende de cada ambiente, uma vez que as exigências de um hospital não podem ser as mesmas de uma sala de reunião ou de um local de prática de esportes. Porém, como mencionado, a norma não é fiscalizadora de um som específico, e sim limitadora do som total para um determinado ambiente.

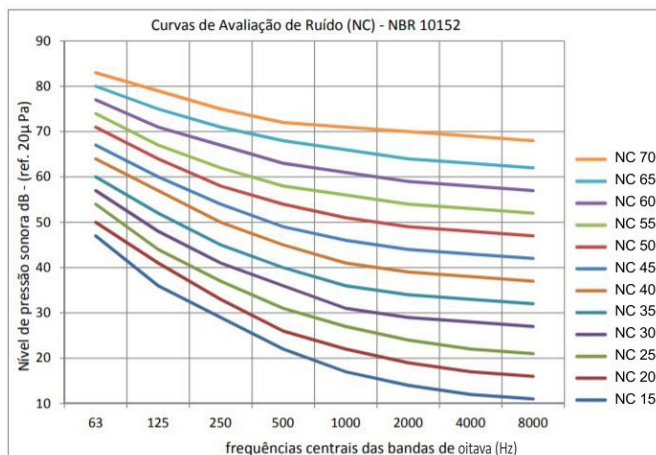
Atualizada após 30 anos de vigência da versão inicial, a NBR 10152 (ABNT, 2017) passou a ser denominada NBR 10152 – Acústica: níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações, ampliando a abordagem da versão anterior e trouxe, em 2017, especificações mais completas, com novos valores de referência para ambientes internos a edificações, e procedimentos para medição e avaliação dos níveis de pressão sonora com nova tabela de critérios dos ruídos internos e incorporação de ambientes anteriormente não mencionados, porém com o mesmo enfoque de garantir que as atividades sonoras permaneçam dentro de um padrão saudável de intensidade e volume, ou seja, permitir um padrão internacional aos ambientes onde a questão do conforto acústico é fundamental.

Além do nível de pressão sonora representativo, chamado de nível de conforto (NC), a norma apresenta orientação das medições em dois diferentes métodos, sendo um simplificado e um detalhado, e valores de referência  $RL_{Aeq}$  correlacionados com os valores de diferença padronizada de nível ponderada da norma de desempenho NBR 15575.

Na versão anterior da NBR 10152 (1987), o nível de conforto representativo de um ambiente interno de uma edificação (NC) era determinado graficamente a partir das curvas de avaliação de ruído, obtidas por meio da relação existente entre o nível de pressão sonora equivalente dB e as frequências centrais das bandas de oitava Hz, conforme explicado por Silva Junior (2012).

Na versão atualizada, 2017, a NBR 10152 trouxe esses valores da curva de ruído NC tabelados, para cada banda de 1/1 oitava, explicando que a determinação do nível representativo do ambiente  $L_{NC}$  se dá pelo maior valor NC identificado entre a comparação de todos os níveis representativos de pressão equivalente sonora  $L_{eq}$  (HZ) a cada banda, facilitando assim a leitura do valor representativo NC do ambiente. A Figura 33 traz o comparativo da apresentação da curva NC nas versão gráfica de 1987 e tabelada em 2017 da referida NBR 10152.

**Figura 33 - Curvas de avaliação de ruído (NC) da NBR 10152 (versão gráfica :1987 /versão tabelada:2017)**



Fonte: SILVA JÚNIOR (2012) adaptado da NBR 10152 (ABNT, 1987)

Curva NC	Frequências centrais das bandas de oitava									
	16 Hz	31,5 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
70	90	90	84	79	75	72	71	70	68	68
65	90	88	80	75	71	68	65	64	63	62
60	90	85	77	71	66	63	60	59	58	57
55	89	82	74	67	62	58	56	54	53	52
50	87	79	71	64	58	54	51	49	48	47
45	85	76	67	60	54	49	46	44	43	42
40	84	74	64	56	50	44	41	39	38	37
35	82	71	60	52	45	40	36	34	33	32
30	81	68	57	48	41	35	32	29	28	27
25	80	65	54	44	37	31	27	24	22	22
20	79	63	50	40	33	26	22	20	17	16
15	78	61	47	36	28	22	18	14	12	11

NOTA 1 Os valores apresentados nesta tabela correspondem aos valores da ANSI/ASA S12.2-2008, Tabela 1 (ver Bibliografia, [6]).

NOTA 2 Os níveis apresentados para as bandas de 16 Hz e 31,5 Hz são apenas de caráter informativo.

Fonte: NBR 10152 (ABNT, 2017)

A nova versão 2017 trouxe de forma complementar uma outra tabela com interpolação dessas curvas a cada 1dB, de modo a ampliar a utilização dos níveis NC.

A Tabela 4 é a reprodução da tabela da NBR 10152 (ABNT, 2017) onde constam os valores de referência médios, máximos e representativos de pressão sonora admitidos para cada tipo de ambiente revisados, utilizados para elaboração de estudos e projetos acústicos com vistas ao conforto acústico. Destaca-se que a NBR 10152 não se limita às edificações com fins residenciais como na NBR 15575, pois a norma de conforto abrange outros tipos de imóveis como os comerciais, de saúde, educacionais, de lazer, comerciais e outros tipos.

Tabela 4 - Valores de referência para ambientes internos de uma edificação da versão 2017 da NBR 10152

Finalidades de uso	Valores de referência		
	RL <sub>Aeq</sub> (dB)	RL <sub>ASmax</sub> (dB)	RL <sub>NC</sub>
Aeroportos, estações rodoviárias e ferroviárias			
Áreas de check-in, bilheterias	45	50	40
Salas de embarque e circulações	50	55	45
Centros comerciais (shopping centers)			
Circulações	50	55	45
Lojas	45	50	40
Praças de alimentação	50	55	45
Garagens	55	60	50
Clínicas e Hospitais			
Berçários	35	40	30
Centros cirúrgicos	35	40	30
Consultórios	35	40	30
Enfermarias	40	45	35
Laboratórios	45	50	40
Quartos coletivos	40	45	35
Quartos individuais	35	40	30
Salas de espera	45	50	40
Culturais e Lazer			
Salões de festa	40	45	35
Restaurantes	45	50	40
Cinemas	35	40	30
Salas de concertos	30	35	25
Teatros	30	35	25
Templos religiosos pequenos ( $\leq 600\text{m}^3$ )	40	45	35
Templos religiosos grandes ( $> 600\text{m}^3$ )	35	40	30
Bibliotecas	40	45	35
Museus (exposições)	40	45	35
Estúdios de gravação	25	30	20
Educacionais			
Circulações	50	55	45
Berçário	40	45	35
Salas de aula	35	40	30
Salas de música	35	40	30
Escritórios			
Centrais de Telefonia ( <i>call centers</i> )	50	55	45
Circulações	50	55	45
Escritórios privativos ( <i>gerência, diretoria etc</i> )	40	45	35
Escritórios coletivos ( <i>open plan</i> )	45	50	40
Recepções	45	50	40
Salas de espera	45	50	40
Salas de reunião	35	40	30
Salas de videoconferência	40	45	35
Esportes			
Ginásios de esportes e academias de ginástica	45	50	40
Hotéis			
Quartos individuais ou suítes	40	45	35
Salões de convenções	40	45	35
Áreas de serviço	50	55	45
Circulações	45	50	40
<b>Residências</b>			
<b>Dormitórios</b>	<b>35</b>	<b>40</b>	<b>30</b>
<b>Salas de estar</b>	<b>40</b>	<b>45</b>	<b>35</b>
<b>Salas de cinema em casa (<i>home theaters</i>)</b>	<b>40</b>	<b>45</b>	<b>35</b>
Outros			
Auditórios grandes ( $> 600\text{m}^3$ )	30	35	25
Auditórios pequenos ( $\leq 600\text{m}^3$ )	35	40	30
Cozinhas e lavanderias	50	55	45
Tribunais	40	45	35

Fonte: NBR 10152 (ABNT, 2017)

---

## **2.4. DESEMPENHO DAS EDIFICAÇÕES**

Desempenho é entendido como comportamento em uso, e tem relação direta com o que se espera de algo, com o rendimento esperado de acordo com a função para a qual se foi criado. Desempenho das edificações remonta ao conceito de vida útil e de durabilidade das construções, uma vez que ao ser projetado, espera-se que o empreendimento ofereça condições satisfatórias ao usuário, conforme calculado e desejado.

Em estudo que buscou abranger a evolução conceitual do tema desempenho das edificações no Brasil, Borges (2008) demonstra que o setor da construção civil parece entender superficialmente a importância do tema, uma vez que com a normatização, bastante recente, tem-se limitado ao cumprimento apenas de níveis mínimos. No entanto, ele demonstra que o tema no mundo focava em aspectos ligados à sustentabilidade desde a década de 70. Nessa abordagem, o autor destaca que a aplicação do conceito de desempenho caminha como uma tendência mundial, adequado ao tratamento dos aspectos ambientais e de atendimento aos usuários e que por si só exige ambiente favorável à inovação tecnológica, representando assim uma oportunidade de melhoria da qualidade das habitações brasileiras e otimização dos recursos.

### **2.4.1. HISTÓRICO DO CONCEITO – DESEMPENHO DAS EDIFICAÇÕES**

A palavra desempenho é utilizada de maneira coloquial pela sociedade associando a um nível de qualidade e comportamento desejados.

Grupo de pessoas, amantes de carros e equipamentos eletrônicos, comentaristas esportivos, líderes de equipes, especialistas em recursos humanos, analistas de negócios, entre outros, utilizam no seu cotidiano a palavra desempenho. O que é comum entre os grupos é que a definição do desempenho desejado é comparada ao resultado entregue (adaptado de BORGES, 2008).

A aplicação efetiva do conceito teve início ainda no período da Segunda Guerra Mundial, quando a fabricação dos produtos destinados à indústria bélica tinha de atender exigência de segurança estrutural (BORGES; SABBATINI, 2008).

---

Em relação ao desempenho de edificações, o conceito vem sendo estudado desde a década de 60, a partir de questões apresentadas no segundo congresso do *Council International for Building* – CIB (Conselho Internacional para Edificação), organização dedicada ao avanço da tecnologia da construção. A definição de desempenho de edificações foi associada ao comportamento dos mesmos quando em utilização, relacionado ao longo de sua vida útil [...] E o edifício, como produto que apresenta determinadas características que o capacitam a cumprir objetivos e funções específicas, é considerado como “bem-comportado” quando atende os requisitos para o qual foi projetado (BORGES, 2008).

O conceito de desempenho envolve necessidades humanas que devem ser satisfeitas pelo edifício a fim de que este cumpra sua função ao longo de sua vida útil. (KERN et al, 2014).

Discorrendo sobre a evolução do conceito, Borges (2008) cita o código Hammurabi da Babilônia entre 1955 e 1913 a.c., onde não se fala na técnica de como construir, no entanto se entende que há uma clara regulamentação de que a construção não pode entrar em colapso, caracterizando assim o desempenho desejado na construção naquela época.

*“Artigo 229: O construtor fez uma casa para um homem e o seu trabalho não foi forte, e se a casa cair e matar o dono da casa, então o construtor deve ser morto (Código HAMMURABI).”*

O tema desempenho passou a ser estudado por várias entidades importantes no mundo. Nos Estados Unidos, através do U. S. Department of Housing and Urban Development, na década de 70, através de um programa cujo objetivo era desenvolver critérios para projetos e avaliação de sistemas inovadores para a construção de casas, que resultou na publicação de um documento em 1977 com critérios de desempenho.

Paralelamente, em 1970, o CIB, criou comissões e grupos de trabalho focando em temas voltados ao meio ambiente e a temas de construção para a sociedade. A comissão CIB W60 – *The Performance Concept in Building* (O conceito de Desempenho na Edificação) tinha o objetivo de estabelecer uma estrutura conceitual e tecnológica sobre o desempenho dos edifícios que pudesse ser adotada no âmbito internacional (KERN et al, 2014)

A partir de então, o tema “desempenho para as construções” passou a ser valorizado e estudado de forma mais profunda, resultando no conceito dado por Gibson em 1982.

---

*“A abordagem de desempenho é, primeiramente e acima de tudo, a prática de se pensar em termos de fins e não de meios. A preocupação é com os requisitos que a construção deve atender e não com a prescrição de como esta desse ser construída (GIBSON, 1982).”*

Para consolidar o conceito, de 1972 a 1996, conferências internacionais foram realizadas em países como a Filadélfia, Finlândia, Portugal, Estados Unidos, Luxemburgo, Israel, patrocinadas pelo CIB, pela ASTM, RILEM e ISO; e a partir de 1996, seminários anuais em diversos países discutiram a aplicação prática do conceito de desempenho.

Na década de 90, países europeus como Dinamarca, Holanda, Irlanda e Espanha passaram a adotar medidas de desempenho dos edifícios atrelados à relação do desempenho no consumo de energia. [...] Em 2000, na União Europeia foi criada a Rede Temática PeBBu (*Performance Based Building*, ou Construção Baseada no Desempenho) com fins de consolidar os trabalhos sobre desempenho, sendo percussores de diretivas de padronização técnica (KERN et al, 2014).

O conceito de desempenho assim, atrelado ao atendimento a uma expectativa gerada, especialmente às necessidades humanas, demonstra relação direta com a vida útil das edificações, na medida em que envolve questões de durabilidade e sustentabilidade, temas de grande repercussão na indústria da construção civil, enquanto articulador dos anseios de habitabilidade e conforto da sociedade.

Quando as construções têm menor durabilidade, apresentando patologias e necessitando de reparos ou demolições, diz-se que o desempenho das edificações foi comprometido, potencializando assim o impacto ambiental gerado pela construção civil. Além disso, esses problemas e patologias em edifícios habitacionais podem resultar em obsolescência prematura dos edifícios e de seu entorno, como defendem Boselli e Dunowicz (2009), o que levam ao declínio da qualidade de vida, durabilidade dos imóveis e segurança dos moradores.

Assim, a relação entre desempenho e sustentabilidade é de suma importância no cenário atual, ainda mais tendo em vista que a indústria da construção civil se apresenta como a atividade humana com maior impacto sobre o meio ambiente, seja pelo alto consumo dos recursos naturais, pelas grandes modificações na paisagem e, ainda, pela alta geração de resíduos (AGOPYAN; JOHN, 2011).

---

## 2.4.2. NORMATIZAÇÃO – DESEMPENHO DAS EDIFICAÇÕES

A elaboração das normas internacionais ISO 6240 e 6241, nos anos de 1980 e 1984, respectivamente, representava o marco de aplicação do conceito de desempenho nos edifícios, pois trouxe princípios gerais para a preparação de padrões de desempenho na construção, assistindo os comitês e grupos de trabalhos de padrões preocupados com o desempenho de edifícios inteiros, de partes de edifícios e dos espaços externos, para satisfazer os requisitos específicos dos usuários e a expectativa da sociedade. O objetivo das normas, segundo BORGES (2008), era de servir de auxílio aos países que seguiam a ISO na elaboração de suas normas de desempenho próprias, servindo como guia para a escolha dos requisitos específicos de atendimento aos usuários, aplicados caso a caso.

A ISO 6241 considerava aspectos de estabilidade, de segurança contra incêndio, de segurança em uso, de vedação das partes contra intempéries, de controle de temperatura, ventilação e controle de ruídos, aspectos de luminosidade dos ambientes, além de propriedades táteis e dinâmicas dos componentes, de higiene, de manutenção das edificações e de durabilidade e vida útil; itens importantes que foram referência da Norma Brasileira NBR 15575 (ABNT, 2013) mas que já eram abordados 29 anos antes de sua publicação em 2013.

No Brasil, na década de 60, políticas públicas de incentivo à implantação de habitações de interesse social resultaram na criação do Banco Nacional de Habitação – o BNH, cujo objetivo inicial era o de orientar e controlar o Sistema Financeiro da Habitação, porém promoveu a construção e aquisição da casa própria, incentivando assim o desenvolvimento de novos sistemas construtivos.

A industrialização da construção e a racionalização, resultados do crescimento da economia e do incentivo aos investimentos no setor, potencializaram novas tecnologias e novos sistemas construtivos, no entanto não havia instrumentos de avaliação técnica nem critérios de análise de tais soluções e sua repercussão ao longo da vida útil esperada das edificações. (adaptado de BORGES, 2008)

No Brasil, o conceito de desempenho na construção é fortemente ligado à habitação. Uma das primeiras apresentações do conceito de desempenho no âmbito nacional ocorreu através do trabalho acadêmico do professor Teodoro Rosso, na década de 70, na Faculdade de Arquitetura da Universidade de São Paulo (ROSSO, 1980 apud BORGES, 2008). Mas a primeira publicação oficial ocorre por volta da década de 80, fruto de pesquisa do Instituto de Pesquisa



---

Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) em conjunto com o Banco Nacional de Habitação (BNH), com fins de elaborar critérios voltados à avaliação da qualidade de sistemas construtivos e novos produtos. Essa publicação, denominada “Critérios mínimos de Desempenho”, visa preencher a lacuna existente de normalização de avaliação de critérios de desempenho, devido à escassez de referências voltadas às necessidades específicas do Brasil, e consequente resultados desastrosos de aplicação de técnicas pouco consolidadas ou desconhecidas nacionalmente. (BORGES, 2008; KERN et al, 2014)

Nessa época toda a normalização brasileira era prescritiva e, em sua maioria, voltada à especificação de soluções construtivas sem determinar limites mínimos de aceitação que servissem de referência à avaliação de desempenho de tais soluções.

O desenvolvimento de estudos acerca do desempenho de edificações habitacionais adveio da necessidade de ratificar a eficácia dos sistemas construtivos em detrimento da baixa qualidade do produto final (SEBRAE, 2016).

Com a extinção do Banco Nacional da Habitação em 1986, seu substituto, a Caixa Econômica Federal retomou em 1997 os estudos em contrato com o IPT, em consonância com outros estudos que vinham sendo feitos por outras entidades conceituadas do meio técnico, como o Instituto Brasileiro de Tecnologia e Qualidade da Construção e outros. Assim, em 2000 essas várias referências foram harmonizadas pela pesquisa “Normas Técnicas para avaliação de sistemas construtivos inovadores para habitações”, com apoio da Financiadora de Estudos e Projetos - Finep, cujo objetivo foi a de criação de um método de avaliação dos sistemas construtivos inovadores, ou seja, o desenvolvimento de um conjunto de normas técnicas brasileiras para avaliação de edifícios habitacionais com base nos princípios do conceito de desempenho. Esse foi o pontapé da criação da Norma de Desempenho NBR 15575.

Baseado em revisão bibliográfica nacional e internacional, a pesquisa levantou questões de diferença entre classes de edifícios e conseqüentemente diferença de exigências dos usuários de acordo com a função dos edifícios, questões de avaliação do edifício como um todo e de forma isolada em seus sistemas, quais sejam, estruturais, hidráulicos e sanitários, de vedações e outros.

Em 2004, já com textos-base prontos, atores da cadeia produtiva da construção civil: construtores, incorporadores, projetistas, universidade, institutos de pesquisa, fabricantes de materiais e componentes; inclusive representantes do Governo com o Ministério das Cidades, a Caixa Econômica e a Câmara Brasileira da Indústria da Construção – CBIC, discutiram em

plenária pública na Escola Politécnica de São Paulo o que se publicou oficialmente como Norma de Desempenho em 12 de maio de 2008 (BORGES, 2008; KERN et al, 2014). No entanto, a aplicação da norma foi postergada para 2013, após republicação da edição de 2008, com vistas a desmistificar os impactos decorrentes das metas a serem atingidas com o cumprimento da referida norma.

O grande desafio na utilização da abordagem do desempenho na construção civil era traduzir as necessidades dos usuários em requisitos<sup>10</sup> e critérios<sup>11</sup> que pudessem ser mensurados de maneira objetiva (BORGES, 2008).

### 2.4.3. DESEMPENHO DE EDIFICAÇÕES HABITACIONAIS - NBR 15575:2013 - “NORMA DE DESEMPENHO”

Até entrar em vigor, a NBR 15575:2013 percorreu um longo caminho (SINAENCO, 2015), ilustrado esquematicamente na Figura 34. Uma década transcorreu desde os seus primeiros esboços até que representantes da cadeia produtiva da construção civil, o poder público, os agentes financeiros, as universidades, os institutos de tecnologia e demais interessados convergiram para a definição e conformação atual da norma (SINAENCO, 2015).

**Figura 34 - Esquema histórico de estudos, elaboração e publicação definitiva da NBR 15575**



Fonte: REZENDE (2019)

A primeira edição da NBR 15575 foi disponibilizada em 2007 para consulta pública para publicação e aplicação em 2008, no entanto, devido aos vários questionamentos e necessidade de correções e melhorias, a aplicação da norma foi adiada e finalmente publicada e aplicada em

<sup>10</sup> Requisitos: condições que expressam **qualitativamente** os atributos que o edifício habitacional e seus sistemas devem possuir, a fim de que possam satisfazer às exigências do usuário.

<sup>11</sup> Critérios: especificações **quantitativas** dos requisitos de desempenho, expressos em termos de quantidades mensuráveis, a fim de que possam ser objetivamente determinadas.

---

19 de julho de 2013, representando um marco para a sociedade e o mercado habitacional e da construção civil brasileira. Com atribuições impostas, de forma individualizada no que concerne à ação efetiva de cada interveniente, incluindo o usuário nesse cenário de responsabilidade para o pleno cumprimento dos requisitos, a norma representa um avanço dentro do ciclo construtivo das edificações (ASBEA,2015; PIFFER, 2013; SINAENCO, 2015).

Conforme definição da ABNT (2013), Norma de Desempenho é um conjunto de requisitos e critérios estabelecidos para uma edificação habitacional e seus sistemas, com base em requisitos do usuário, independentemente de sua forma ou dos materiais constituintes. Difere das normas prescritivas, cujos requisitos e critérios são estabelecidos com base na consagração do uso de determinado produto ou procedimento ao longo do tempo.

A NBR 15575 introduziu um novo paradigma no que se refere às normas para construção civil. Seu ponto de partida é a experiência do usuário e não a tecnologia construtiva utilizada. Ela define o resultado esperado pela perspectiva do consumidor e não pela ótica do mercado empregado (CARRARO; JUCÁ, 2014).

Ao contrário das normas tradicionais, que prescrevem características dos produtos com base na consagração do uso, atendendo às suas características; as normas de desempenho definem propriedades necessárias dos diferentes elementos da construção, independente do material constituinte, atendendo assim as necessidades da construção (CBIC, 2013).

Segundo a própria definição, a essência da Norma é o comportamento em uso dos elementos e sistemas do edifício focando no atendimento aos requisitos dos usuários e não na prescrição da forma de execução dos sistemas construtivos.

Por essa perspectiva, a NBR 15575 foi organizada tomando como referência as condições de implantação e exposição do edifício e as exigências dos usuários, fixando assim:

- critérios qualitativos a serem atendidos, os quais foram denominados “Requisitos”;
- grandezas quantitativas para se garantir tais qualidades, denominadas de “Critérios”, estabelecendo ainda níveis de atendimento mínimo, intermediário e superior;
- e formas de avaliação uniformizadas desses parâmetros, através de ensaios laboratoriais e de campo, simulações computacionais, protótipos e análises de projeto.

A Figura 35 resume esquematicamente a estruturação da Norma de Desempenho, conforme descreva a ASBEA (2015).

Figura 35 - Resumo esquemático da estruturação da norma (adaptado)



Fonte: REZENDE (2019), adaptado da ASBEA (2015)

Conforme estudos do CBIC, a norma de desempenho estabelece níveis de segurança, conforto e resistência em cada um dos sistemas que compõem uma edificação residencial, quais sejam os sistemas estruturais, pisos, vedações verticais internas e externas, coberturas e instalações hidrossanitárias. Busca ainda estabelecer parâmetros, objetivos e quantitativos, almejando o disciplinamento das relações entre os elos da cadeia econômica (rastreadibilidade), a diminuição das incertezas dos critérios subjetivos (perícias), a instrumentação do Código de Defesa do Consumidor, o estímulo à redução da concorrência predatória e um instrumento de diferenciação das empresas (CBIC, 2013).

Conforme ressalta o Sebrae (2016), uma NBR (Norma Brasileira) não é lei, porém por força de lei, a norma é obrigatória, de modo que ela tem finalidade de garantir as condições mínimas de qualidade que uma habitação deve ter.

A NBR 15575 é aplicada apenas a edificações do tipo habitacionais, com qualquer número de pavimentos, novas, ou seja, a partir da data de entrada em vigor da norma. Significa, então, que não se aplica a obras já concluídas, construções pré-existentes, obras em andamento, nem a projetos protocolados nos órgãos competentes até essa mesma data citada, obras de reformas ou *retrofit*<sup>12</sup> e a edificações provisórias.

<sup>12</sup> *Retrofit* é um termo relacionado ao processo de revitalização de edifícios, que envolve uma série de ações de modernização e readequação de instalações com objetivo de preservar o que há de bom na construção existente e adequá-la às exigências atuais, aumentando sua vida útil. (PINI, 2011)

Assim sendo, a obrigação de atendimento refere-se a tudo projetado e executado a partir de 19 de julho de 2013.

Para atender às exigências do usuário, a norma é organizada em torno de pilares de **segurança, habitabilidade e sustentabilidade**, estabelecendo, ao longo de treze disciplinas/fatores, os requisitos e consequentemente os critérios que a edificação deve atingir em uso.

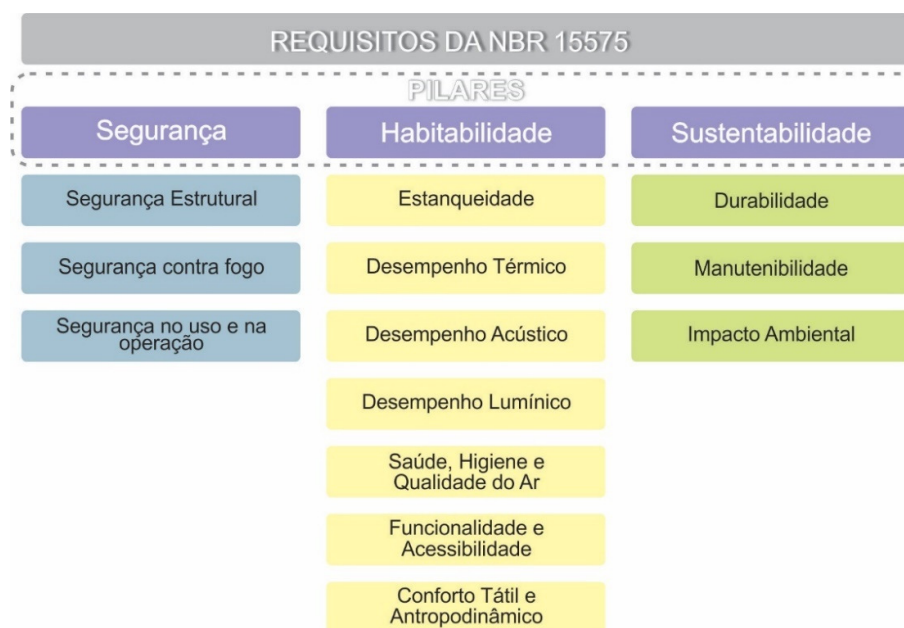
As exigências relativas à segurança são definidas pelos requisitos de segurança estrutural, segurança contra o fogo e segurança no uso e na operação.

Para as exigências de habitabilidade, os requisitos são de estanqueidade; desempenho térmico; desempenho acústico; desempenho lumínico; saúde, higiene e qualidade do ar; funcionalidade e acessibilidade, e por último, conforto tátil e antropodinâmico.

As exigências de sustentabilidade envolvem os fatores de durabilidade, manutenibilidade e impacto ambiental.

Esses requisitos estão ilustrados na Figura 36, conforme as diferentes exigências dos usuários.

**Figura 36 - Organização dos requisitos da Norma, conforme pilares de Segurança, Habitabilidade, Sustentabilidade**



Fonte: REZENDE (2019)

---

Algumas definições, não citados até o momento no presente trabalho, merecem ser apresentadas para melhor compreensão dos termos citados na Norma. Conforme Guia CBIC (2013) tem-se que:

*“COMPONENTE: Unidade integrada de determinado elemento da edificação, com forma definida e destinada cumprir funções específica (por exemplo, bloco de alvenaria, telha, folha de porta).*

*ELEMENTO: Parte de um sistema com funções específicas. Geralmente é composto por um conjunto de componentes (por exemplo, parede de vedação de alvenaria, painel de vedação pré-fabricado, estrutura de cobertura).*

*SISTEMA: A maior parte funcional do edifício. Conjunto de elementos e componentes destinados a cumprir com a macro função que o define (por exemplo, fundação, estrutura, pisos, vedações verticais, instalações hidrossanitárias, cobertura).”*

É importante destacar que a análise de desempenho realizada por meio da NBR 15575 é para os sistemas construtivos do edifício e não para os elementos ou componentes isoladamente, pois avaliar um tipo de material ou um elemento construtivo isoladamente não é suficiente para avaliar o desempenho global de um ambiente, uma vez que a interação entre os componentes e elementos é que permitem a definição das diferentes funções dos sistemas construtivos do edifício.

Dividida em seis partes, NBR 15575-1, NBR 15575-2, NBR 15575-3, NBR 15575-4, NBR 15575-5, a Norma de Desempenho aborda requisitos gerais da obra, sistema estrutural, sistema de pisos, sistema de cobertura, sistema de vedação e sistemas hidráulicos, conforme matriz de organização ilustrada pela Figura 37.

**Figura 37 - Matriz de organização da Norma de Desempenho**

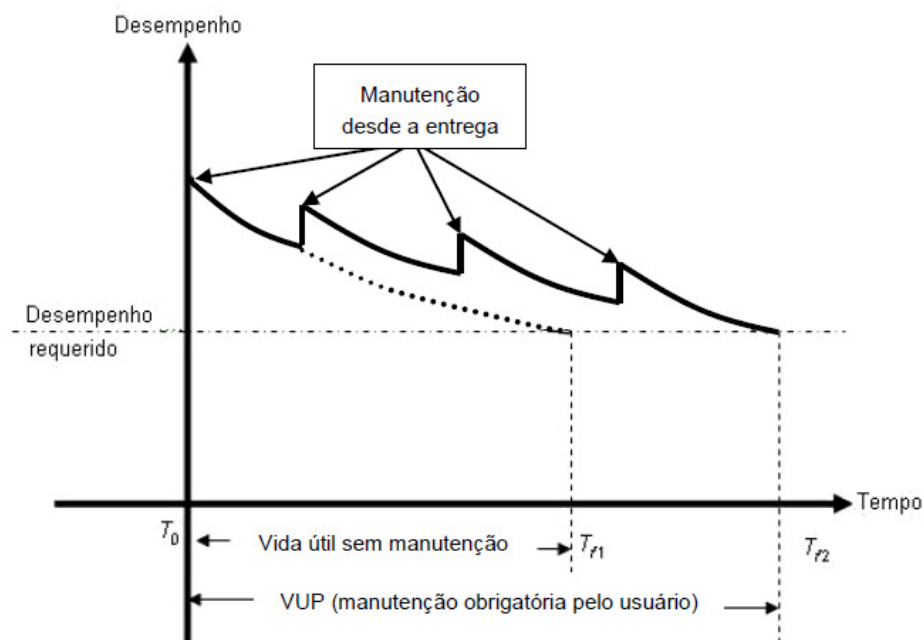
		Requisitos dos usuários												
		Segurança Estrutural	Segurança contra fogo	Segurança no uso e na operação	Estanqueidade	Desempenho Térmico	Desempenho Acústico	Desempenho Luminico	Saúde, Higiene e Qualidade do Ar	Funcionalidade e Acessibilidade	Conforto Tátil e Antropodinâmico	Durabilidade	Manutibilidade	Impacto Ambiental
PARTES DA NORMA	Parte 1: Requisitos gerais													
	Parte 2: Sistemas estruturais													
	Parte 3: Sistemas de pisos													
	Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas													
	Parte 5: Sistemas de coberturas													
	Parte 6: Sistemas hidrossanitários													

Fonte: ASBEA (2015)

A norma em si não aborda os padrões de soluções construtivas e de projeto, mas aborda diferentes níveis de atendimento aos requisitos de qualidade, em função das necessidades básicas de segurança, saúde, higiene e de economia. Assim, a norma estabelece três níveis de desempenho para os diferentes sistemas: nível mínimo, nível intermediário e nível superior; porém exige apenas o nível de desempenho mínimo como obrigatório.

Esse é um ponto controverso na norma: a obrigatoriedade de atendimento ao nível mínimo, pois o desempenho tem total relação com a durabilidade e vida útil da edificação e, ao relacionar o desempenho com o tempo, vê-se pelo gráfico desempenho *versus* tempo, ilustrado a seguir na Figura 38, que a tendência é de que o desempenho inicial decaia com o tempo, sendo reestabelecido a partir das manutenções realizadas. Por essa razão, dotar as edificações de desempenho em nível mínimo, que é o exigido, não garantirá que, com o passar do tempo, o desempenho estimado na fase de projeto mantenha as condições de exigências requeridas, ou seja, o desempenho requerido da edificação ao longo de sua vida útil.

Figura 38 - Desempenho ao longo do tempo – NBR 15575-1



Fonte: ABNT (2013)

Assim, quando se fala em desempenho de uma edificação se pensa no atendimento a vida útil estimada daquele empreendimento, logicamente, no mínimo o atendimento à vida útil de projeto, VUP. Como vida útil de projeto, se entende como o prazo de tempo durante o qual a edificação pode ser utilizada sob condições satisfatórias de segurança, saúde e higiene e não se encerrando no momento em que a edificação é alienada ao usuário. Por esse motivo, muito se fala também que a norma de desempenho vem reforçar a questão da durabilidade da edificação ao longo do tempo, à medida que se busca junto com as normas prescritivas, promover, ao longo da vida útil total da edificação, características de qualidade que possam ser mensuradas e atendidas. Ou seja, mesmo depois de entregue ao usuário, cada subsistema da edificação terá um horizonte a ser cumprido mantendo seu desempenho, desde que observadas as prescrições de uso, operação e manutenção. Isso reforça a discussão de manutenibilidade presente na norma e sugere novas discussões quanto ao nível mínimo de qualidade requerido para alguns dos requisitos da norma.

Conforme Crusius (2015), os principais agentes responsáveis pela implementação da norma de desempenho na indústria da construção civil são as construtoras, incorporadoras e os projetistas de arquitetura, porém dada a complexidade dos temas, essa implantação tem sido um desafio a esses agentes, especialmente os projetistas.



---

A implantação das diretivas da norma de desempenho se trata de um processo altamente complexo e desafiante. Kern et al (2014) reforçam essa complexidade ao comparar o processo de implantação das normas de desempenho na Espanha (Código Técnico da Edificação) e no Brasil (NBR 15575), buscando identificar estratégias utilizadas no país europeu que viabilizaram e facilitaram a utilização das regras por profissionais, fornecedores e atores da construção civil. Concluíram que, ao contrário do que foi estabelecido no Brasil, onde se pede a implantação de toda a norma, na Espanha a implantação se deu de forma gradual, num ambiente interativo com ampla comunicação entre os profissionais e a equipe do Código Técnico, o que permitiu ajustes, melhorias e troca de experiências, além da isenção de custo na aquisição da referida norma, um grande empecilho atual no caso brasileiro.

No Brasil, em razão de tamanha extensão da norma, e da complexidade/variabilidade de tantos aspectos, várias entidades têm publicado manuais explicativos da norma com objetivo de auxiliar o cumprimento e adequação dos projetos e obras, como exemplo a CBIC, a AsBEA, o CAU, o SINAENCO, a ProAcústica etc.

A NBR 15575 gerará um impacto positivo não apenas no segmento de edificações habitacionais, uma vez que os requisitos por ela definidos passaram a ser observados e valorizados pelos usuários dos demais tipos de edificações (SINAENCO, 2015).

Assim, pesquisadores apontam como tendência a abordagem do tema de desempenho e das premissas da norma a outros tipos de edificações. Embora aborde exclusivamente edifícios habitacionais, existe a expectativa de que ela sirva de referencial às construções de outros tipos de prédios e estimule a elaboração de normas específicas (PIFFER, 2013), uma vez que o desempenho ao longo do tempo de uma edificação é conceito atrelado ao tema durabilidade, e esta não é uma preocupação exclusiva das edificações do tipo habitacionais, mas de toda a cadeia da construção civil.

### 2.4.3.1. DESEMPENHO ACÚSTICO

Restringindo o objeto deste trabalho ao requisito de desempenho acústico, conforme delimitação desenhada na matriz de requisitos da Figura 39, o tema é abordado na parte 3 e 4 da referida norma (NBR 15575-3 e NBR 15575-4). Neste tópico, portanto, serão apresentados os principais parâmetros dessa disciplina.

**Figura 39 - Requisito de Desempenho Acústico dentro da Matriz de requisitos da NBR 15575**

		Requisitos dos usuários												
		Segurança Estrutural	Segurança contra fogo	Segurança no uso e na operação	Estanqueidade	Desempenho Térmico	Desempenho Acústico	Desempenho Luminoso	Saúde, Higiene e Qualidade do Ar	Funcionalidade e Acessibilidade	Conforto Tátil e Antropodinâmico	Durabilidade	Manutenibilidade	Impacto Ambiental
PARTES DA NORMA	Parte 1: Requisitos gerais													
	Parte 2: Sistemas estruturais													
	Parte 3: Sistemas de pisos													
	Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas													
	Parte 5: Sistemas de coberturas													
	Parte 6: Sistemas hidrossanitários													

Fonte: REZENDE (2019)

Sabendo que as ondas sonoras podem se reproduzir por diferentes meios, e que fenômenos acústicos de difração, reverberação, ressonância e absorção interferem no desempenho acústico dos ambientes, a norma não se prende em estudar esses fenômenos, mas se restringe ao estudo da atenuação da propagação desses sons, conforme publicado pelo CBIC (2013).

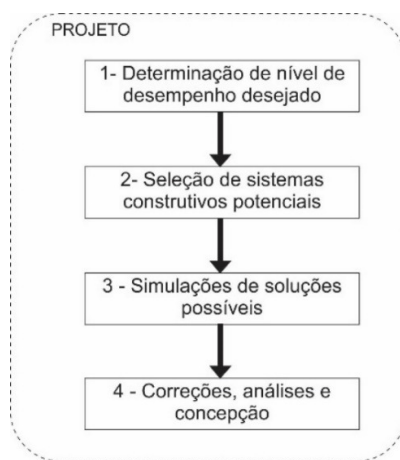
A norma de desempenho não fixa critérios de conforto acústico, do contrário apresenta critérios que possibilitem condições razoáveis de desempenho, traduzido em valores de isolamento ao som aéreo transmitido através das vedações externas (no caso, através das fachadas), para o som aéreo transmitido entre as paredes de apartamentos vizinhos, e também para isolamento ao ruído



Para isolamento acústica de vedações externas, a exigência é de propiciar condições mínimas de desempenho com relação a fontes normalizadas de ruídos externos aéreos. Para isolamento acústica entre ambientes, tanto entre pisos como entre paredes, a norma propõe que haja condições de isolamento acústica entre as áreas comuns e ambientes de unidades habitacionais e entre unidades habitacionais distintas, não fazendo referência aos ambientes de uma mesma unidade habitacional. E para atender às exigências de isolamento aos ruídos de impacto, a norma tem como exigência as condições mínimas de desempenho acústico no interior da edificação, com relação a fontes padronizadas de ruídos de impacto.

No Brasil, até 2013 aproximadamente, não existiam instrumentos normativos que definissem valores mínimos obrigatórios quanto à isolamento sonora entre unidades habitacionais (Bezerra et al, 2018). Esses índices, que caracterizam os critérios de desempenho acústico de uma edificação, deveriam ser atendidos já na fase de projeto do empreendimento, que segundo Patrício (2008) é o que ocorre na maioria dos países europeus: o projeto inicia com a determinação do nível de desempenho que a edificação deve atender e, daí, seleciona-se os sistemas construtivos que apresentam potencial de atender tais requisitos, conforme fluxograma exemplificado na Figura 41.

**Figura 41 - Fluxograma esquemático de projeto nos países europeus**



Fonte: REZENDE (2019), baseado em PATRÍCIO (2008)

A NBR 15575 pondera que o estabelecimento do nível de desempenho deve ser compatível com a proteção da privacidade contra a intrusão de ruídos de atividades nos ambientes adjacentes, tais como a fala, música etc. (ABNT, 2013). Os parâmetros quantitativos de isolamento sonoro levam em consideração o grau de inteligibilidade, que é a capacidade de entendimento do que se está falando em um ambiente adjacente.

Nível de privacidade e nível de conforto acústico são parâmetros criados por Neto (2009), conforme citam Neto e Bertoli (2010), esclarecendo que estes parâmetros podem ser diferentes do desempenho acústico que uma parede possa apresentar, no entanto os autores defendem que a partir do bom desempenho pode-se almejar essa privacidade e conforto, desde que as condições acústicas do ambiente receptor sejam satisfatórias. Assim, pretende-se que o nível mínimo de desempenho requerido seja capaz de, ao menos, bloquear a inteligibilidade nos ambientes adjacentes, garantindo tal privacidade.

A NBR 15575 (ABNT, 2013) apresenta uma tabela de valores de inteligibilidade da fala, que foram estimados simplificadamente a partir de cálculos encontrados na literatura técnica acústica, em função do isolamento acústico e do nível de ruído no ambiente, respaldados por estudos tais como o de Neto (2009). A Tabela 5 reproduz os valores apresentados pela norma de desempenho, relacionando o grau de isolamento sonoro requerido entre os ambientes com a inteligibilidade da fala no ambiente adjacente.

**Tabela 5 - Influência da isolamento acústica -  $D_{nT,w}$  sobre a inteligibilidade da fala para ruído no ambiente interno em torno de 35 dB a 40 dB**

<b>Inteligibilidade/capacidade de entendimento do que se está falando em voz alta no recinto adjacente</b>	<b>Isolamento sonoro <math>D_{nT,w}</math> (dB)</b>
Claramente audível: ouve e entende	35
Audível ouve, entende com dificuldade	40
Audível: não entende	45
Não audível	$\geq 50$

Fonte: Tabela F.8 - NBR 15575-4, ABNT (2013)

#### **2.4.3.2. MÉTODOS DE ENSAIOS PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO ACÚSTICO E CRITÉRIOS NORMATIVOS**

Quando se fala em avaliar desempenho, está se falando em avaliar os sistemas construtivos, pois, além da mensuração dos requisitos, a norma de desempenho regulamenta os métodos para que se verifiquem tais critérios.

A NBR 15575 (ABNT, 2013) estabelece que a avaliação do requisito de desempenho acústico, tanto das vedações verticais, quanto horizontais deve ser realizada através de ensaios específicos realizados em campo, após a conclusão da obra. Para a fase de concepção dos

---

projetos, a norma aponta os ensaios de laboratório como ferramenta de referência do comportamento acústico dos componentes e elementos construtivos individualmente, valores estes auxiliares, que sirvam de base para o cálculo do comportamento acústico global do sistema, através de método de predição, tratado na normativa europeia 12354, detalhado no tópico 2.4.3.3.

Através de ensaios de campo, os critérios verificados avaliam a real situação da edificação pronta em termos de desempenho; já por meio de ensaios de laboratório, os resultados encontrados servem como valores balizadores aos projetistas, para o potencial atendimento ao desempenho acústico nas implantações dos empreendimentos.

A NBR 15575 (ABNT, 2013) aponta que devem ser avaliados os dormitórios da unidade habitacional e estabelece os seguintes métodos de ensaios para tal avaliação:

1. Método de Engenharia – Verificação de campo – Som aéreo e Ruído de Impacto:

Método realizado em campo, descrito na NBR ISO 16283-1:2017 e NBR ISO 16283-2:2018 (que substituem os antigos padrões da ISO 140:1998/2004), caracteriza de forma direta e rigorosa o comportamento acústico do sistema, tanto do fechamento externo, quanto das paredes internas, e também dos sistemas de pisos, fornecendo dados do isolamento ao som aéreo de fachadas, de paredes e pisos entre unidades autônomas e entre uma unidade e áreas comuns, além dos dados do nível de pressão sonora de impacto padrão em sistema de pisos entre unidade autônomas.

Para a medição do som aéreo, a metodologia consiste na emissão de ruído em um dos recintos através de uma fonte sonora omnidirecional e medição dos níveis de pressão sonora em bandas de frequência nos ambientes emissor e receptor, possibilitando o cálculo da diferença de níveis com correções acústicas do recinto receptor, a que o método define como nível padronizado ( $D_{nT}$ ), que é convertido em um número único através da norma ISO 717-1, obtendo o que a norma conceitua como diferença padronizada de nível ponderada ( $D_{nT,W}$ ). Para a medição do ruído de impacto, o método consiste na emissão de ruído de impacto por meio de uma máquina de impactos padronizada no recinto emissor ( $p_{avT}^{\circ}$  superior) e medição do nível de pressão sonora em bandas de frequência no recinto adjacente ( $p_{avT}^{\circ}$  inferior), permitindo a identificação do nível de pressão sonora de impacto padrão ( $L'_{nT}$ ), que é convertido também num

---

número único, através da ISO 717-2, no nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado ( $L'_{nTW}$ ).

O método de engenharia é o mais rigoroso e tecnicamente mais completo. Os resultados da verificação por esse método restringem-se às medições realizadas e são expressos em decibéis (dB), e para comparação com os níveis de desempenho da NBR 15575 são adotados os valores referentes a  $D_{nTW}$  (diferença padronizada de nível ponderada) para a avaliação ao ruído aéreo e  $L'_{nT,W}$  (ruído de impacto padronizado) para avaliação ao ruído de impacto padrão;

## 2. Método Simplificado – Verificação de campo – Som aéreo e ruído de impacto:

Método realizado em campo, descrito na ISO 10052 (ISO, 2004), menos preciso que o de engenharia, pois é feito através de estimativa do isolamento sonoro global de ruído aéreo e o nível de pressão sonora de impacto padrão, tanto com relação à vedação externa, quanto ao isolamento entre ambientes internos e entrepisos.

A precisão do método simplificado é inferior, gerando maiores incertezas nos resultados e podem conflitar quando se avalia o atendimento à NBR 15575 (ProAcústica, 2017). Esse método é indicado pela norma quando não há disponibilidade dos instrumentos necessários para medir o tempo de reverberação ou quando as condições de ruído de fundo não permitem obter esse parâmetro. O procedimento segue, em grande parte, o método de engenharia com a diferença de que não se mede o tempo de reverberação do espaço receptor (TAKAHASHI, 2016), considerando esse tempo  $T$  a partir de tabelas dadas pela norma e o tempo de reverberação de referência  $T_0$  como 0,5s para a realização dos cálculos. Através de expressões matemáticas (Equações 8 e 9, citadas por Michalski, 2011), estima-se o isolamento global do sistema a partir de medições a 2m do ambiente, onde não se tem a medição do tempo de reverberação do ambiente receptor. Primeiramente é feita a medição da diferença de nível de pressão sonora médio pelo lado de fora da edificação a 2,0m da fachada ( $L_{1,2m}$ ) e o nível de pressão sonora médio na sala receptora ( $L_2$ ). Tomando o valor de referência do tempo de reverberação ( $T_0$ ) e a diferença calculada ( $D_{2m}$ ), encontra-se a diferença de nível padronizada, considerando o tempo de reverberação no ambiente de recepção ( $T$ ) estimado pelas tabelas da norma citada. Os resultados da verificação por esse método também restringem-se às medições

efetuadas, são expressos em decibéis (dB), e adota-se o símbolo  $D_{2m,nTW}$  já que as medições são feitas a 2,0m do elemento analisado, conforme citado.

$$D_{2m} = L_{1(2m)} - L_2 \quad (\text{Equação 8 – Diferença de nível } D_{2m})$$

$$D_{2m,nT} = D_{2m} + 10 \text{Log} \frac{T}{T_0} \quad (\text{Equação 9 – Diferença padronizada de nível } D_{2m,nT})$$

Onde:

$L_{1(2m)}$  é o nível de pressão sonora no espaço emissor;

$L_2$  é o nível de pressão sonora no espaço receptor;

$T$  é o tempo de reverberação do espaço receptor estimado;

$T_0$  é o tempo de reverberação de referência.

### 3. Método de Precisão – Ensaio de laboratório – Som aéreo:

Método preciso, realizado em laboratório, descrito na ISO 10140-2 (ISO, 2010), ISO 717-1 (2013) e ISO 3382-2 (2008) que fornece valores de referência de isolamento sonora de componentes e elementos construtivos, tais como parede, janelas, portas etc, calculados para servir de base no desenvolvimento de projetos. Primeiro ensaia-se cada componente e depois, calcula-se o isolamento global do sistema construtivo. É o método mais preciso para que se alcance o índice de redução sonora  $R$ .

As medições realizadas em laboratório são realizadas em duas câmaras reverberantes, sendo uma de emissão e outra de recepção, construídas e qualificadas para testes laboratoriais, conforme caracterização pela ISO 140-1 (TAKAHASHI, 2016). Os resultados obtidos neste método são expressos em decibéis (dB), adotando para seus resultados o símbolo  $R_w$ .

Os valores de isolamento ao som aéreo medidos em campo significam uma diferença padronizada de nível ponderada do sistema verificado, seja entre ambientes, de vedação externa ou de cobertura. São expressos pela convenção  $D_{nTW}$  ou  $D_{2m,nTW}$ .



---

Os índices medidos em ensaios de laboratório indicam a redução sonora ponderada do componente construtivo utilizado, fornecendo valores de referência de cálculo para os projetos, assim estimando-se que haverá potencialidade de atendimento a esses valores quando ensaiados no campo. Estes são expressos pela convenção  $R_w$ .

Para os ruídos de impacto, o símbolo  $L'_{nT,W}$ , indica o nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado.

Com relação aos critérios previstos para avaliação do comportamento acústico de uma edificação, ou seja, aos índices quantitativos esperados (valores), a norma NBR 15575 determina os seguintes fatores:

1. Isolação sonora de paredes entre ambientes – critérios para ensaios de campo;
2. Isolação sonora de paredes entre ambientes – critérios para ensaios de laboratório;
3. Isolação de fachadas e da cobertura – critérios para ensaios de campo;
4. Isolação de fachadas – critérios para ensaios de laboratório;
5. Isolamento de ruído aéreo entrepisos e coberturas acessíveis;
6. Isolação de ruídos de impacto de pisos e coberturas acessíveis;
7. Isolação a ruídos provocados por equipamentos hidrossanitários.

A NBR 15575 traduz esses critérios como valores mínimos exigidos, ou seja, traz como obrigatoriedade a garantia do mínimo, embora ela traga uma classificação de nível mínimo ao superior, passando pela condição de desempenho intermediário, onde para cada tipo de ambiente são determinadas faixas de valores dentro dessa classificação. As Tabelas apresentadas e detalhadas a seguir (Tabela 6 a 14, exceto a 8) trazem essas faixas de valores para cada situação avaliada.

Para o sistema de vedação vertical interna, a NBR 15575-4 (ABNT, 2013) determina o atendimento ao desempenho mínimo de isolamento sonora entre os ambientes e apresenta recomendações relativas ao desempenho intermediário e superior, fornecendo a faixa de valores de diferença padronizada de nível ponderada  $D_{nTW}$ , que devem ser mensurados através dos ensaios de campo pelo Método da Engenharia, apresentados na Tabela 6.

**Tabela 6 - Diferença padronizada de nível ponderada entre ambientes,  $D_{nT,w}$  para ensaio de campo - Método de engenharia**

Elemento	$D_{nT,w}$ (dB)	Nível de Desempenho*
Parede entre unidades habitacionais autônomas (paredes de geminação), nas situações onde não haja ambiente dormitório	40 a 44	M
	45 a 49	I
	$\geq 50$	S
Parede entre unidades habitacionais autônomas (paredes de geminação), no caso de pelo menos um dos ambientes ser dormitório	45 a 49	M
	50 a 55	I
	$\geq 55$	S
Parede cega de dormitórios entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, tais como corredores e escadaria nos pavimentos	40 a 44	M
	45 a 49	I
	$\geq 50$	S
Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, tais como corredores e escadaria nos pavimentos	30 a 34	M
	35 a 39	I
	$\geq 40$	S
Parede cega entre uma unidade habitacional e áreas comuns de permanência de pessoas, atividades de lazer e atividades esportivas, tais como home theater, salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas	45 a 49	M
	50 a 54	I
	$\geq 55$	S
Conjunto de paredes e portas de unidades distintas separadas pelo hall ( $D_{nT,w}$ obtida entre as unidades)	40 a 44	M
	45 a 49	I
	$\geq 50$	S

\* M: nível mínimo / I: nível intermediário / S: nível superior

Fonte: Tabela F.10 NBR 15575-4, ABNT (2013)

Em se tratando de ensaio de laboratório, a norma apresenta valores com acréscimo de 5dB, razão das condições ideais de laboratório serem superiores às condições de campo, uma vez que as condições ambientais em laboratório são cuidadosamente controladas e medidas, não ocorrendo interferências da condição de campo. Esses valores de referência, obtidos em laboratório, servem para orientação a fabricantes e projetistas, conforme destacado no escopo da NBR 15575 (ABNT, 2013). A Tabela 7 indica esses valores de redução sonora,  $R_w$ , utilizados para as vedações entre ambientes.

**Tabela 7 – Índice de redução sonora ponderado,  $R_w$ , de componentes construtivos utilizados nas vedações entre ambientes**

Elemento	$R_w$ * (dB)	Nível de Desempenho**
Parede entre unidades habitacionais autônomas (paredes de geminação), nas situações onde não haja ambiente dormitório	45 a 49	M
	50 a 54	I
	$\geq 55$	S
Parede entre unidades habitacionais autônomas (paredes de geminação), no caso de pelo menos um dos ambientes ser dormitório	50 a 54	M
	55 a 59	I
	$\geq 60$	S
Parede cega de dormitórios entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, tais como corredores e escadaria nos pavimentos	45 a 49	M
	50 a 54	I
	$\geq 55$	S
Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, tais como corredores e escadaria nos pavimentos	35 a 39	M
	40 a 44	I
	$\geq 45$	S
Parede cega entre uma unidade habitacional e áreas comuns de permanência de pessoas, atividades de lazer e atividades esportivas, tais como home theater, salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas	50 a 54	M
	55 a 59	I
	$\geq 60$	S
Conjunto de paredes e portas de unidades distintas separadas pelo hall	45 a 49	M
	50 a 54	I
	$\geq 55$	S

\* valores aproximados / ordem de grandeza para potencial atendimento na situação real de campo  
 \*\* M: nível mínimo / I: nível intermediário / S: nível superior

Fonte: Tabela F.12 , NBR 15575-4 (ABNT, 2013)

No entanto, costuma-se atribuir à variação de geometria e à massa das paredes e dos elementos constituintes, a dificuldade em prever matematicamente a isolação acústica de alguns elementos, de modo que a partir de trabalhos e pesquisas realizadas por entidades conceituadas no campo técnico-científico (IPT, Unicamp, SOBRAC, Universidade de Coimbra), criou-se uma tabela de referência com valores indicativos do índice de redução sonora,  $R_w$ , de alguns sistemas de paredes usualmente utilizados na construção civil, reproduzidos na Tabela 8. Embora sirvam de referência, esses dados não devem ser utilizados como definitivos para os tipos de sistemas citados, uma vez que a conformação interna dos elementos, a forma dos septos, a taxa de absorção dos materiais, o preenchimento das juntas, a densidade da argamassa, o amortecimento interno e outras especificidades podem variar o comportamento acústico global do sistema e, portanto, ensaios de campo revelarem valores bem diferentes dos indicados nessa tabela.

**Tabela 8 - Valores indicativos do índice de redução sonora ponderado para alguns sistemas de paredes, baseados em estudos do IPT, Unicamp, SOBRAC, Universidade de Coimbra**

Tipo de parede	Largura do bloco / tijolo	Revestimento	Massa aproximada	R <sub>w</sub> (dBA)
Blocos vazados de concreto	9 cm	Argamassa 1,5 cm em cada face	180 kg/m <sup>2</sup>	41
	11,5 cm		210 kg/m <sup>2</sup>	42
	14 cm		230 kg/m <sup>2</sup>	45
Blocos vazados de cerâmica	9 cm	Argamassa 1,5 cm em cada face	120 kg/m <sup>2</sup>	38
	11,5 cm		150 kg/m <sup>2</sup>	40
	14 cm		180 kg/m <sup>2</sup>	42
Tijolos maciços de barro cozido *	11 cm	Argamassa 2,0 cm em cada face	260 kg/m <sup>2</sup>	45
	15 cm		320 kg/m <sup>2</sup>	47
	11 + 11 cm **		450 kg/m <sup>2</sup>	52
Paredes maciças de concreto armado	5 cm	Sem revestimento	120 kg/m <sup>2</sup>	38
	10 cm		240 kg/m <sup>2</sup>	45
	12 cm		290 kg/m <sup>2</sup>	47
Drywall	2 chapas + lâ de vidro	Sem revestimento	22 kg/m <sup>2</sup>	41
	4 chapas		44 kg/m <sup>2</sup>	45
	4 chapas + lâ de vidro		46 kg/m <sup>2</sup>	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 70kg/m<sup>3</sup>

Fonte: Tabela 34 (CBIC, 2013)

Para os níveis de desempenho nas vedações externas, as recomendações trazidas devem compatibilizar o ruído gerado externamente e a intensidade sonora registrada no interior da edificação.

Considerando ruídos externos na ordem de 55 a 60 dB(A), comuns em áreas residenciais ou pequenos centros comerciais, os valores de isolamento acústica estipulados na norma, que são os critérios, visam dotar a edificação de condições razoáveis de desempenho (CBIC, 2013). A norma estabelece valores mínimos de atenuação em relação ao ruído exterior, denominada diferença padronizada de nível ponderada,  $D_{2m,nT_w}$ , conforme localização da habitação dentro do contexto sonoro do seu entorno, ao que a norma cita como classe de ruído. Ou seja, a norma estabelece valores mínimos de isolamento sonoro de acordo com o ruído do local onde a habitação está inserida. Significa que se no entorno há pouco ruído, o critério de desempenho do sistema é menos rigoroso, e por outro lado, quando o ambiente externo é mais ruidoso, o desempenho acústico da envoltória da edificação (fachada e cobertura) deve ser mais exigente de modo a garantir o mínimo de conforto acústico (ProAcústica, 2017).

Por essa razão é de suma importância o levantamento, caracterização e classificação acústica do entorno de forma criteriosa, e embora a norma de desempenho não estabeleça uma metodologia objetiva de determinação da classe de ruído, ela apresenta uma tabela indicando subjetivamente tais classes. A Tabela 9 reproduz as classes de ruído com a respectiva isolação acústica mínima requerida, apenas para a situação onde haja dormitórios, objeto de interesse da NBR 15575, além dos valores limites para os níveis de desempenho intermediário e superior.

**Tabela 9 - Valores mínimos e limites intermediário e superior de diferença padronizada de nível ponderada promovida pela vedação externa de dormitório, por classes de ruído**

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

Nota 1: Para vedação externa de salas, cozinhas, lavanderias e banheiros, não há exigências específicas;

Nota 2: Em regiões de aeroportos, estádios, locais de eventos esportivos, rodovias e ferrovias há necessidade de estudos específicos.

\* M: nível mínimo / I: nível intermediário / S: nível superior

Fonte: Tabela F.9 NBR 15575-4, ABNT (2013)

Para edifícios localizados em áreas com níveis de ruído elevado, tais como próximos aos aeroportos, estádios e locais de eventos esportivos, rodovias, ferrovias ou avenidas muito movimentadas dos centros urbanos, a norma sugere a elaboração de estudos específicos e levantamentos do entorno da edificação (CBIC, 2013), o que reforça a importância do estudo rigoroso das características desse entorno.

Medições acústicas em campo permitem caracterizar as principais fontes de ruído e, conseqüentemente, o cálculo da propagação sonora até as futuras fachadas. Fora isso, as simulações computacionais e o mapeamento acústico, individual ou da cidade, viabilizam a estimar preliminarmente os níveis sonoros incidentes nas vedações, permitindo a definição da classe de ruído, inclusive para cada fachada do imóvel, possibilitando portanto prever o isolamento necessário que garanta o nível aceitável de desempenho acústico, especificamente dos dormitórios.

Para os ensaios de campo, a diferença padronizada de nível ponderada da vedação externa,  $D_{2m,nTW}$ , deve atender aos níveis mínimos constantes na Tabela 9, citada anteriormente

Para os ensaios de laboratório, a NBR 15575 apresenta valores com acréscimo de 5dB em relação aos valores de referência dos ensaios de campo, pela mesma razão apontada quando da diferença padronizada de nível sonora para as vedações internas, ou seja, devido às condições de contorno e execução dos sistemas construtivos estimadas em condição ideal em laboratório, o que não ocorre em campo, função das diversas variáveis que podem interferir nas medições, tais como frestas e vedações ineficientes das esquadrias, falhas de rejuntamento entre paredes e caixilhos, adoção de juntas secas nas alvenarias, falhas nos encunhamentos e outras patologias. A Tabela 10 apresenta tais valores, a que a norma denomina índice de redução sonora  $R_w$ .

**Tabela 10 - Índice de redução sonora,  $R_w$ , para as vedações externas**

Classe de ruído	Localização da habitação	$D_{2m,nT,w}$ (dB)	Nível de Desempenho*
I	Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas.	$\geq 25$	M
		$\geq 30$	I
		$\geq 35$	S
II	Habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III	$\geq 30$	M
		$\geq 35$	I
		$\geq 40$	S
III	Habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, desde que conforme a legislação	$\geq 35$	M
		$\geq 40$	I
		$\geq 45$	S

\* M: nível mínimo / I: nível intermediário / S: nível superior

Fonte: Tabela F.11 NBR 15575-4, ABNT (2013)

Para a atenuação acústica do ruído entre pisos transmitidos por via aérea, a norma apresenta valores limites da diferença entre o ruído padrão gerado na unidade autônoma e a intensidade sonora registrada na unidade avaliada. A Tabela 11 indica os limites, cujos valores são resultados de ensaios em campo.

**Tabela 11 - Diferença padronizada de nível ponderada do entrepiso,  $D_{nT,w}$  para ensaios de campo**

Elemento	$D_{nT,w}$ (dB)	Nível de Desempenho*
Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas de áreas em que um dos recintos seja dormitório	45 a 49	M
	50 a 54	I
	$\geq 55$	S
Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas de áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria nos pavimentos, bem como em pavimentos distintos	40 a 44	M
	45 a 49	I
	$\geq 50$	S
Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas de áreas comuns de uso coletivo para atividades de lazer e esportivas, tais como home theater, salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas	45 a 49	M
	50 a 54	I
	$\geq 55$	S

\* M: nível mínimo / I: nível intermediário / S: nível superior

Fonte: Tabela E.2 NBR 15575-3, ABNT (2013)

Conforme o Guia CBIC (2013), o nível de desempenho em relação ao ruído aéreo cresce à medida que a massa do elemento é maior, atendendo a Lei das Massas. Exemplo é dado para as lajes de concreto de espessura de 10cm, cuja isolamento acústica corresponde em média a 45dB, atendendo ao nível mínimo de desempenho, chegando ao nível superior de desempenho quando a espessura aumenta para 15cm.

Já os ruídos produzidos a partir do impacto de corpo sólido, a norma determina que o nível de pressão sonora do impacto padronizado pelo o método ISO 140-7 no ambiente analisado, a partir de ensaio de campo, não deve exceder os limites apresentados na Tabela 12.

**Tabela 12 - Nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado,  $L'_{nT,w}$** 

Elemento	$L'_{nT,w}$ (dB)	Nível de Desempenho*
Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas posicionadas em pavimentos distintos	66 a 80	M
	56 a 65	I
	$\leq 55$	S
Cobertura acessível ou sistema de piso de áreas de uso coletivo (atividades de lazer e esportivas, tais como home theater, salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas) sobre unidades habitacionais autônomas	51 a 55	M
	46 a 50	I
	$\leq 45$	S

\* M: nível mínimo / I: nível intermediário / S: nível superior

Fonte: Tabela E.1 NBR 15575-3, ABNT (2013)

Em oposição à relação do ruído aéreo com a Lei das Massas, a isolamento ao ruído de impacto é prejudicada quanto mais denso for o material, pois há maior transmissão acústica diretamente pelo elemento denso.

No exemplo dado pelo CBIC (2013), a mesma laje de concreto de espessura de 10 cm a 12 cm se situa nas margens do nível mínimo de desempenho. Como sugestão de incremento desse desempenho, o CBIC indica o uso de concretos leves, forros acústicos ou suspensos, quando não for possível a execução de pisos flutuantes, solução de melhor absorção acústica que atuará como sistema massa/mola/massa, possibilitando atendimento a melhores níveis de desempenho.

Para isolamento ao ruído provocado pelos equipamentos hidrossanitários, apesar de não ter obrigatoriedade, a norma indica valores máximos do nível de pressão sonora percebida durante um ciclo de operação do equipamento que emite o ruído,  $L_{Aeq,nT}$ , e valores máximos durante a operação,  $L_{ASmáx,nT}$ . Esses são ruídos produzidos em prumadas coletivas de água e esgoto, válvulas de descarga e outros equipamentos acionados em unidades vizinhas e estão indicados nas Tabelas 13 e 14 (CBIC, 2013). Tal análise não faz parte do escopo desse trabalho.

**Tabela 13 - Valores máximos do nível de pressão sonora contínuo equivalente,  $L_{Aeq,nT}$ , medido em dormitórios**

$L_{Aeq,nT}$ dB (A)	Nível de Desempenho
$\leq 30$	S
$\leq 34$	I
$\leq 37$	M

Fonte: Tabela B.2 NBR 15575-6, ABNT (2013)

**Tabela 14 - Valores máximos do nível de pressão sonora máximo,  $L_{ASmáx,nT}$ , medido em dormitórios**

$L_{ASmáx,nT}$ dB (A)	Nível de Desempenho
$\leq 36$	S
$\leq 39$	I
$\leq 42$	M

Fonte: Tabela B.3 NBR 15575-6, ABNT (2013)

#### 2.4.3.2.1. EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO EM CAMPO

Para os ensaios de campo, a NBR 15575 (ABNT, 2013) determina não apenas a metodologia de avaliação, bem como os tipos de equipamento e recomendações de utilização, calibração e



manuseio dos equipamentos. Almeida et al (2006), apresentaram em seu estudo a descrição dos principais equipamentos para medição da acústica em campo:

- Sonômetros: equipamentos de medição de pressão sonora, que usa formas variadas de unidades, mediante a utilização de uma cadeia de medição constituída de um microfone (que converte a pressão sonora num sinal elétrico), um amplificador do sinal, um circuito de ponderação de frequência, um circuito de obtenção de valores eficazes e um mostrador;
- Analisadores de frequência: equipamentos que permitem analisar sinais no domínio da frequência;
- Dosímetros: aparelho que permitem avaliar a exposição de um trabalhador ao ruído, facultando a análise dos valores médios de ruído bem como dos picos de curta duração;
- Sondas de intensidade sonora: aparelhos que permitem avaliar a intensidade sonora numa dada direção, provocada por uma fonte.

Além destes equipamentos citados, a norma prevê ainda um calibrador de medidor de nível de pressão sonora, que junto ao medidor (sonômetro) devem ser certificados a cada 2 anos pela Rede Brasileira de Calibração (RBC) ou pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). Outro instrumento utilizado é a fonte emissora de ruídos, que é um equipamento utilizado para reproduzir o ruído com intensidade suficiente para serem medidas as transmissões de um ambiente ao outro, permitindo assim avaliar o isolamento acústico dos paramentos. As Figuras 42 a 44 exemplificam alguns desses equipamentos de medição.

**Figura 42 - Sonômetros**



Fonte: REZENDE (2019) e acervo da internet do fabricante

**Figura 43 - Fonte emissora de ruído**

Fonte: REZENDE (2019)

**Figura 44 - Equipamento de produção de ruído de impacto (Tapping Machine)**

Fonte: REZENDE (2019)

### **2.4.3.3. MÉTODO DE PREDIÇÃO DE DESEMPENHO ACÚSTICO - SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL**

A simulação computacional, apesar de não estar prevista na NBR 15575, uma vez que essa norma não é prescritiva e apresenta apenas a metodologia de avaliação por ensaios, é o método de cálculo de predição de desempenho acústico baseado nas normativas europeias EN 12354-1,2,3:2002 (isolamento sonoro aéreo entre ambientes, isolamento sonoro de impacto entre ambientes e isolamento sonoro aéreo contra o ruído exterior, respectivamente) que foi normatizado internacionalmente pela ISO 12354-1,2,3:2017, e que permite portanto, o cálculo estimado do isolamento acústico entre ambientes, de forma a simular os resultados das medições em campo previstas nas ISO 16283-1:2017, ISO 16283-2:2018 e ISO 717-1:2013. Essas simulações computacionais permitem avaliar tais critérios acústicos em conformidade com a NBR 15575, antes mesmo das obras serem executadas.

Os programas de simulação acústica computacional são ferramentas importantes para o cálculo de modelos de previsão de desempenho (TAKAHASHI, 2016) e tem sido estudados por diversos pesquisadores. Em sua tese, Takahashi (2016) destaca que a norma europeia EN 12354, em suas partes 1, 2 e 3, especifica os modelos de cálculo de estimativa de isolamento sonoro de fachadas e vedações internas, através do uso das equações previstas e detalhadas nas normas que norteiam os ensaios de campo (as ISO 140-4, ISO 140-5, ISO 717-1), e estas

---

consideram, como parâmetros nos cálculos, além da transmissão direta dos ruídos, o flanqueamento (lajes e/ou paredes confluentes) que possibilita a consideração da contribuição sonora indireta, e ainda os elementos que compõem a geometria dos ambientes ou das fachadas. Sobre essas condições, Takahashi (2016) destaca a possibilidade de efeitos positivos e negativos quanto à consideração de geometria, ou seja, o formato da fachada pode implicar mais ou menos transmissão sonora em função da blindagem total ou parcial dos invólucros de fachada e das reflexões extras dos tetos das varandas. Quanto à transmissão sonora indireta, a autora destaca a transmissão via flanqueamento muito comum em elementos construtivos rígidos conectados a outros elementos rígidos, condição comum da construção civil brasileira devido ao uso de concreto e tijolo em paredes e lajes. Neste caso, a autora pondera a necessidade de ser considerada a contribuição por flanqueamento no cálculo da contribuição sonora, mesmo esta não sendo discutida pela NBR15575, e nesse caso esses parâmetros são tão relevantes que são considerados nas simulações computacionais para predição do comportamento acústico no estudo feito pela autora.

Como a norma europeia leva em conta o Código Técnico de Edificações daquela região, o CTE, Takahashi (2016) destaca em seu estudo que muitos dos programas de simulação de desempenho acústico desenvolvidos não foram idealizadas para a realidade da normativa brasileira de desempenho, mas por estabelecerem objetivos similares de atendimento aos critérios de desempenho das edificações, são aproveitados e estudados com adaptação ao mercado brasileiro.

Em sua maioria, os programas foram desenvolvidos na Europa e EUA, cuja realidade da construção civil difere muita da construção civil brasileira, e, apesar de possuírem vasto banco de dados de tipos de elementos construtivos, devido às especificidades e diferenças construtivas, exigem um trabalho maior dos pesquisadores, que precisam buscar informações de ensaios de laboratório para obter os dados e fichas técnicas dos fabricantes e dos elementos construtivos do país para poderem inserir tais dados com qualidade e confiabilidade nos programas e, daí realizar suas simulações, adaptando portanto os softwares à realidade da construção civil brasileira. Segundo Carvalho (2015), o motivo da escassez de ferramentas de predição desenvolvidas pelo Brasil é o pouco interesse de pesquisa e desenvolvimento nesta subárea, motivo pelo qual a grande maioria das ferramentas disponíveis no mercado serem importadas.

Alguns programas tem sido citados e utilizados com mais frequência em pesquisas como é o caso do SONarchitect ISO, do INSUL e do Bastian, ambos com reconhecida eficiência em

---

estudos acerca da acústica de edifícios, porém outros programas como o Projetus da empresa Multinova, o CadnaR e Cadna-A da empresa Datakustik GMBH, também são programas de previsão acústica que fornecem planejamento específico, mapeamento de ruído ou modelagens conforme procedimentos de cálculo baseados ora nas normas europeias EN12354:1,3 (ISO 12354), ora nas recomendações de ruído ambiental da Directiva 2002/49/EC (Directiva Europeia de ruído ambiental, normatizada pela ISO 17534) e que tem sido utilizados em alguns estudos. No entanto, cada programa apresenta suas limitações e particularidades.

Devido à pouca variedade de tais programas, constata-se que os pesquisadores acabam por adotar os disponíveis e os adaptam de acordo com os objetivos desejados em seus estudos, como foi o caso da pesquisa de Giunta (2013) que utilizou o programa Cadna-A para a modelagem de mapa acústico de parte da cidade de São Carlos-SP, Carvalho (2015) que utilizou os programas SONarchitect ISO e Insul para analisar os níveis de desempenho acústico ao ruído de impacto em obras de São Paulo-SP, Ferreira e Zannin (2007) que utilizaram o programa Bastian para avaliação da transmissão acústica em residências em Curitiba e Santos Filho, Sposto e Caldas (2017) que utilizaram o programa Insul para simular o desempenho acústico dos sistemas de fachadas ventiladas em Brasília.

Em seu estudo, Giunta (2013) usou o programa Cadna-A, que dentre os programas desenvolvidos para geração de mapas de ruído, este era, à época, um dos encontrados no mercado que utilizava o modelo francês NMPB 2008, um modelo de cálculo de ruído produzido por tráfego rodoviário recomendado pela Directiva Europeia 2002/49/EC. A autora verificou a aplicabilidade desse mesmo modelo ao caso brasileiro em seu estudo, comparando com o mapeamento realizado pelo Sistema de Informações Geográficas - SIG.

Considerando que o mapeamento sonoro de uma área urbana é uma ferramenta de grande importância no planejamento urbano e territorial, e que dentre as finalidades estão a identificação de pontos ou áreas críticas quanto ao ruído ambiental, Giunta (2013) destaca que realizar os mapeamentos sonoros por meio das medições in loco ou ainda através de cálculos matemáticos manuais, são processos demorados e muito dispendiosos e, portanto, estuda como os modelos criados por programas computacionais podem simular o ambiente acústico urbano a partir desses mesmos cálculos.

Após as simulações, Giunta pôde concluir que a simulação permite identificar pontos críticos de fluxo de ruído, futuros problemas e assim possibilita ações de prevenção, seja de proteção externa às edificações, seja de ajuste em disposição de ambientes e aberturas para direções menos ruidosas. Concluiu ainda que a simulação preliminar com o SIG demonstrou ser positiva

---

enquanto mapeamento simplificado para avaliação de grandes áreas, no entanto este não reproduz as especificidades locais, apresentando valores acima dos níveis de ruído reais.

Já com o Cadna-A, embora o uso do programa seja mais trabalhoso e demorado, devido a possibilidade de inclusão de riqueza de detalhes, conseguiu-se analisar a tridimensionalidade da área estudada, possibilitando a análise da propagação sonora no plano horizontal, cortes e perspectivas (GIUNTA, 2013). Mesmo assim, como os demais programas desenvolvidos fora do Brasil, a autora destacou que alguns campos do programa precisariam ser melhorados para melhor aproximação com os dados reais e também aplicação à construção civil brasileira, como a inclusão de dados técnicos dos tipos de pavimentos brasileiros, além das condições meteorológicas locais. Em linhas gerais, Giunta (2013) destacou que embora a simulação com o Cadna-A tenha apontado alguns valores baixos de correlação, os desvios apresentados foram considerados dentro de limites aceitáveis pela pesquisa.

Estudando o ruído de impacto em lajes, Carvalho (2015) utilizou o programa Insul, em conjunto com o programa SONarchitect ISO, num comparativo do desempenho acústico entre lajes simuladas partindo do resultado das medições de campo de desempenho acústico dessas lajes, como sendo a referência inicial. O uso desses dois programas justifica-se pela possibilidade de criar modelos computacionais análogos aos dos ambientes de campo e adotar a mesma classificação de desempenho conforme a metodologia normatizada para os ensaios de campo, que são as normas ISO 12354. Para criar modelos computacionais, o autor utilizou o Insul para modelar os elementos construtivos e extrair os dados de entrada de desempenho acústico das lajes e paredes, e modelou no programa SONarchitect ISO os mesmos volumes de ambiente das amostras medidas em campo, inserindo também os índices de classificação de desempenho da norma brasileira NBR 15575. Em seu estudo, Carvalho (2015) conseguiu perceber uma linearidade nos resultados da predição, mesmo quando a diferença entre os resultados chegou a 6dB em relação ao medido em campo nas suas amostras, e destacou que tal diferença se dá pelo fato de que a simulação leva em consideração um modelo perfeito, onde não há falhas em junções estruturais do edifício e também onde as massas e densidades dos elementos construtivos são sempre controladas, situação essa que não pode ser garantida numa obra real.

Outra pesquisa, a realizada por Santos Filho et al (2017), registraram que o programa Insul, embora tenha sido utilizado com a finalidade de prever o isolamento das fachadas ventiladas, apresentava como limitação a impossibilidade de considerar todos os elementos do conjunto da fachada, simultaneamente, no cálculo da predição do isolamento sonoro. Assim, os sistemas foram simulados separados das esquadrias, e, posteriormente, eles utilizaram uma equação

---

ponderando esses valores calculados em separado. Mesmo assim, os autores concluíram como positiva a simulação, no sentido de que a simulação apresentou valores próximos aos encontrados nos ensaios de medição de campo, permitindo assim aos projetistas proporcionar melhores índices de isolamento às edificações, à medida em que conseguem testar os tipos de elementos e composições durante a fase de projeto.

Outro programa bastante utilizado (Ferreira e Zannin, 2007; Ferreira, 2004), o Bastian, da empresa DataKustik, possui um banco de dados de elementos construtivos medidos em laboratório da Alemanha, e assim como os demais programas desenvolvidos fora do Brasil, os índices são bem diferentes dos utilizados pelos padrões brasileiros.

Ferreira e Zannin (2007) utilizaram o software Bastian para determinar os coeficientes de isolamento acústico em fachadas e entre cômodos residenciais, comparando os resultados medidos em ensaios de campo e simulados através de programas de modelagem computacional, e precisaram procurar informações de ensaios de laboratório dos elementos construtivos da construção civil brasileira, especificamente dos sistemas adotados nas 11 residências estudadas. Eles apontaram que, além do clima do Brasil ser bem diferente da Europa, o padrão construtivo e o poder aquisitivo daquela região, sugere maiores exigências de conforto acústico, motivo pelo qual a especificação dos sistemas e elementos são bem divergentes. No entanto, mesmo adaptando o programa Bastian para atendê-los, os autores citaram que o Bastian possui a limitação da modelagem da geometria dos ambientes, ou seja, o software apenas permite a inclusão de geometrias retangulares, obrigando então os pesquisadores a ajustar a geometria do ambiente estudado à essa condição, mantendo no entanto mesmo volume e mesma área da parede que seria exposta ao ruído. Dessa forma, o uso do Bastian implica simplificação da forma arquitetônica do ambiente para utilização da ferramenta, e com essa simplificação, as condições de reverberação são divergentes da situação real de campo. Nesse sentido, corre-se o risco de simular ambientes com características arquitetônicas distintas da situação real, podendo influenciar significativamente no resultado acústico do ambiente, pois existe grande relação das características arquitetônicas com a qualidade sonora dos ambientes, conforme mencionado em estudo de Takahashi e Bertoli (2012). O trabalho dos autores Ferreira e Zannin (2007) concluiu que as medições são de extrema importância, e que as simulações necessitam de caros equipamentos e equipe bem treinada para que os resultados expressem uma maior aproximação ao desempenho real dos ambientes, além de adaptação à realidade da tipologia dos materiais e elementos construtivos da construção civil brasileira, pois muitas vezes alguns

---

dos dados de entrada não conseguem ser ajustados e simula-se com padrões da Europa ou EUA, o que os autores apontaram como extremamente preocupante.

Alguns estudos, no entanto, têm sido desenvolvidos para novos softwares de acordo com os critérios e parâmetros exigidos pela NBR 15575, como o exemplo da tese apresentada por Takahashi (2016) onde é desenvolvido e apresentado o programa Hipnos Acústica, que torna possível a simulação com dados locais sistematizados para atender especificamente a NBR 15575. Embora seja uma criação do mercado de pesquisa brasileira, o programa apresenta algumas limitações, devido a pouquíssima informação de dados de desempenho acústico dos materiais construtivos, além da limitação desses dados na forma de valor único para o sistema estudado e não em função da frequência, fazendo com que o sistema não reproduza a situação das paredes compostas por mais de uma material. E, sendo o resultado de uma tese relativamente recente, ainda pretende-se avaliar as dificuldades apresentadas na utilização do programa, para posteriormente pensar em difundir para uso comercial.

Neste trabalho foram utilizados os programas SONArchitect ISO, da empresa Sound of Numbers e INSUL da Marshall Day. A escolha foi em função de serem programas desenvolvidos com base nas normativas internacionais ISO 12354, por terem sido utilizados por outros pesquisadores em estudos similares, por serem de fácil utilização, por permitirem a modelagem dos ambientes conforme geometria fiel dos projetos, por já possuir mais de 15 anos de desenvolvimento e pesquisas e, ainda, pela disponibilidade junto à empresa especializada em projetos de desempenho acústico do mercado local, que apoiou a realização do presente estudo.

No entanto, em qualquer dos programas utilizados, a qualidade dos dados de entrada de caracterização técnica e física dos elementos e ambientes, tais como as densidades superficiais dos materiais e dos elementos, as espessuras das camadas, o volume e forma dos ambientes e outros, devem ser criteriosa e corretamente informados, pois a especificação incorreta de algum destes dados pode comprometer os resultados calculados nessas ferramentas e, portanto, estimar valores de desempenho bem distantes dos índices de desempenho reais medidos em campo. Além disso, como citou Takahashi (2016), uma edificação construída de acordo com os materiais indicados após as simulações computacionais, porém com uma má execução, não garante o alcance do desempenho acústico projetado e desejado, o que exige portanto uma fiscalização da qualidade da execução da obra para que se alcance o desempenho previsto na ferramenta de predição, afastando as falhas que possam comprometer a qualidade pretendida.

---

#### 2.4.3.4. DIFICULDADES DE IMPLANTAÇÃO DA NBR 15575

De forma mais abrangente em relação ao atendimento dos requisitos normativos da NBR 15575, Cotta e Andery (2018) analisaram como as empresas de projetos, estudando especificamente 4 empresas que atuam na região de Minas Gerais, Espírito Santo, Rio de Janeiro e Brasília) vêm se adequando e utilizando ferramentas inovadoras para despertar a consciência para a importância do atendimento de tais requisitos, mostrando no entanto que as dificuldades associadas às soluções técnicas e a falta de integração entre as disciplinas continuam a ser os principais entraves para o atendimento pleno à norma de desempenho.

Especificamente no requisito de desempenho acústico, alguns estudos têm sido feitos para demonstrar que, mesmo com publicações explicativas de auxílio ao cumprimento das normativas, muitos entraves ainda corroboram para o baixo atendimento aos critérios mínimos da norma, fazendo com que a adequação acústica das edificações seja negligenciada desde a etapa de projeto.

Destaca-se que esses entraves têm relação com o tempo em que a norma está em vigor, relativamente recente, o que faz ponderar tais argumentos justificando que os envolvidos, sejam construtores, projetistas ou fabricantes de materiais, ainda estão na fase de adaptação e reorganização de seus processos.

A rapidez do processo de concepção e execução dos empreendimentos, aliada à redução de custos, fez com que o desempenho acústico fosse colocado em segundo plano (RESENDE et al, 2014). Por outro lado, esse é o requisito mais “sentido” pelo usuário.

A construção civil no Brasil, durante anos, menosprezou a questão do isolamento sonoro na fase de projeto dos empreendimentos e, por isso, os frequentes problemas de execução prejudicam a isolação sonora dos elementos construtivos, potencializando a baixa isolação entre as unidades habitacionais. Segundo estudo de Catai et al (2006), os principais elementos de vedação usados na construção civil brasileira, como os blocos cerâmicos, blocos de concreto e o próprio concreto armado apresentam alguma isolação sonora, no entanto nem sempre ela acontece satisfatoriamente, devido às falhas de execução no processo construtivo. [...] Apenas com a obrigatoriedade de cumprimento dos critérios normativos, especialmente devido às consequências jurídicas do não atendimento, é que a construção civil voltou o olhar à acústica. Ainda assim, muitas barreiras têm sido enfrentadas na implementação da NBR 15575.



---

Morais et al (2018) estudaram os principais entraves enfrentados pelos projetistas de Pernambuco e Alagoas na adequação de seus projetos aos critérios acústicos da norma de desempenho e demonstraram, através da pesquisa, que a falta de consideração das condições do entorno, o desconhecimento em relação à capacidade de isolamento dos materiais, e o alto custo vinculado ao projeto com a aquisição de materiais específicos colaboram com o baixo atendimento às exigências acústicas da referida norma.

A pesquisa de Silva et al (2014) em escritórios de Porto Alegre, demonstra que, para adequar os projetos às exigências acústicas da NBR 15575, além de melhor conhecimento técnico dos materiais e soluções inovadoras de acústica do mercado, os projetistas necessitam de maiores prazos, troca de experiências entre a categoria e capacitação dos profissionais.

Moreira et al (2018) estudaram como as construtoras de Fortaleza têm se adequado aos requisitos de desempenho acústico, identificando as dificuldades enfrentadas, as mudanças e estratégias usadas em termos de projeto e especificação de sistemas para atender aos critérios mínimos normativos. Concluíram que há uma divergência de soluções devido ao desconhecimento dos novos materiais isolantes acústicos disponíveis no mercado, elegendo o alto custo como fator limitador; e a escolha do desempenho mínimo como alternativa para melhor equilibrar o custo/benefício de seus empreendimentos.

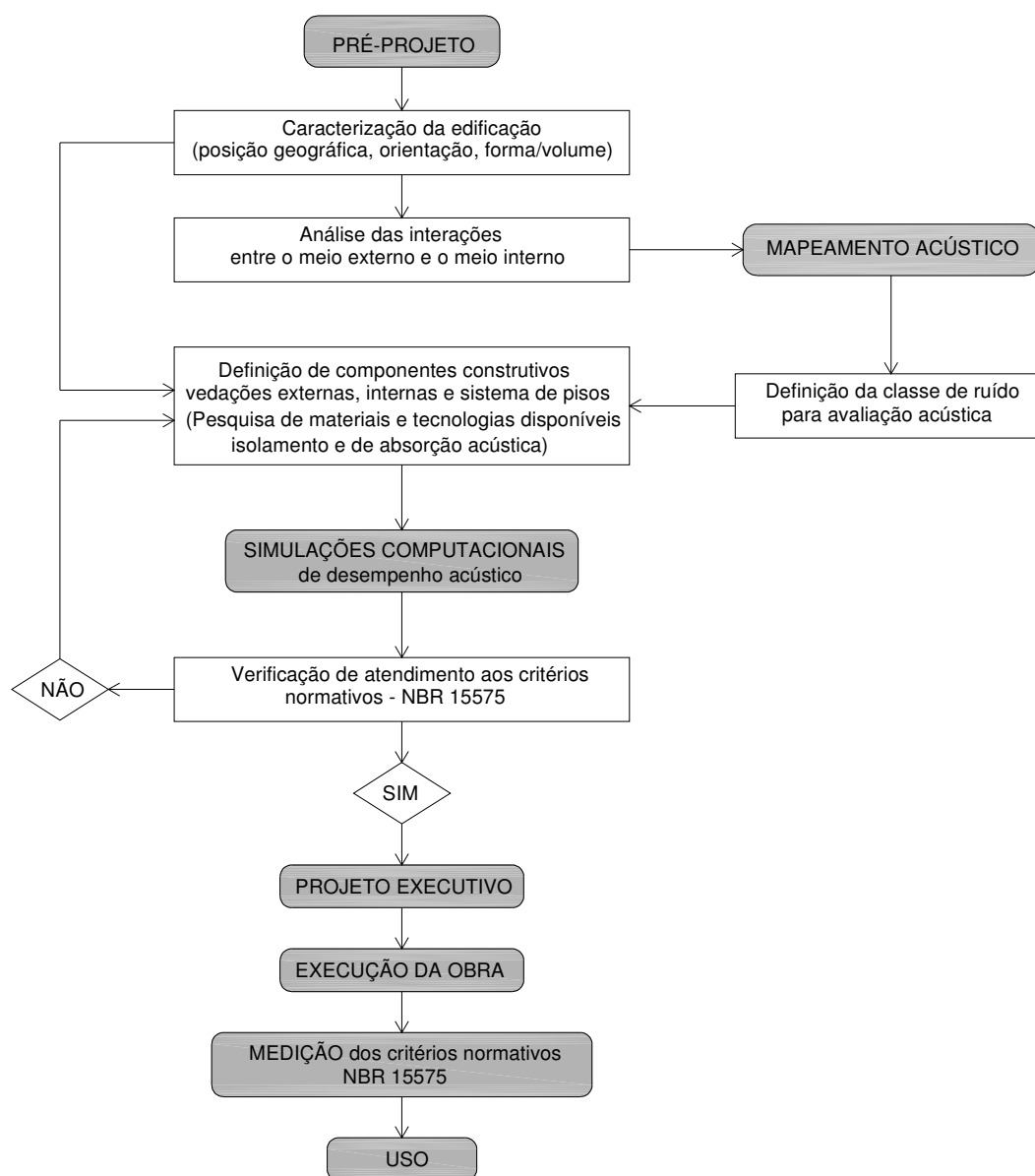
Essa questão do custo limitador relacionado ao cumprimento de níveis mínimos de desempenho acústico coincide com o que diz Boufleur (2013) de que a falta de isolamento acústico “é causada pela negligência com a importância do desempenho acústico, no momento da escolha do sistema de atenuação do ruído, sendo, não raro, analisado somente pelos aspectos econômicos e de praticidade de execução”, e a consequência da economia é o não cumprimento do isolamento necessário após a execução, especialmente se os detalhes construtivos e executivos ou os ocasionados por falhas de execução comprometerem as soluções mínimas projetadas.

Para a pesquisadora Paixão (1997), o que existia de forma geral era uma ideia equivocada de que proporcionar conforto implicaria em aumento significativo de custo ao empreendimento, exatamente por desconhecimento das tecnologias oferecidas, no entanto o que se passou a entender é que os custos e impactos para corrigir os problemas surgidos no pós ocupação, especialmente no que diz respeito ao controle de ruído, são tão mais significativos que findam por inviabilizar muitas das soluções possíveis.

Daí a importância de adotar um caminho ideal para que se cumpra os parâmetros de desempenho acústico na fase de projeto, onde se priorize o tema, buscando soluções de controle de ruídos antes de executar a obra, com vistas a minimizar custos de adaptações no pós-obra e garantir o cumprimento mínimo de isolamento acústico necessário.

A Figura 45 ilustra a proposição de um fluxo ideal (pré-projeto→simulação→projeto executivo→obra→medição→uso) para que o controle de ruído seja tratado como prioridade no desempenho das edificações, no que tange o requisito acústico.

**Figura 45 – Proposição de Fluxograma ideal de proposta de atendimento ao desempenho acústico antes da execução da obra**



---

### 3. Metodologia - Avaliação comparativa

#### 3.1. ASPECTOS GERAIS

Neste trabalho de análise comparativa das simulações computacionais e medições em campo foi realizado o caminho inverso do proposto no fluxograma ilustrado na Figura 45, ou seja, foram simulados os comportamentos acústicos de projetos cujas medições em campo já tinham sido realizadas na fase de entrega das referidas obras. Com a realização da simulação na fase do pós-obra, pretendeu-se verificar se os valores de desempenho simulados estavam compatíveis com os resultados de desempenho medidos em campo.

Avaliou-se assim, a compatibilidade entre os valores de desempenho acústico medidos e os simulados, com base nos dados constantes nos relatórios dos ensaios de campo e nos dados calculados após o resultado da modelagem computacional dos imóveis amostrais selecionados.

Como o escopo deste trabalho está restrito à análise da isolamento sonora dos sistemas de vedações verticais internas (SVVI) e sistemas de vedações horizontais (SVH), foram analisados comparativamente apenas os dados de:

- a. isolamento ao **ruído aéreo** através das **vedações verticais internas** (SVVI);
- b. isolamento ao **ruído aéreo** através das **vedações horizontais** (SVH-RA);
- c. transmissão de pressão sonora do **ruído de impacto** de piso padrão (SVH-RI);

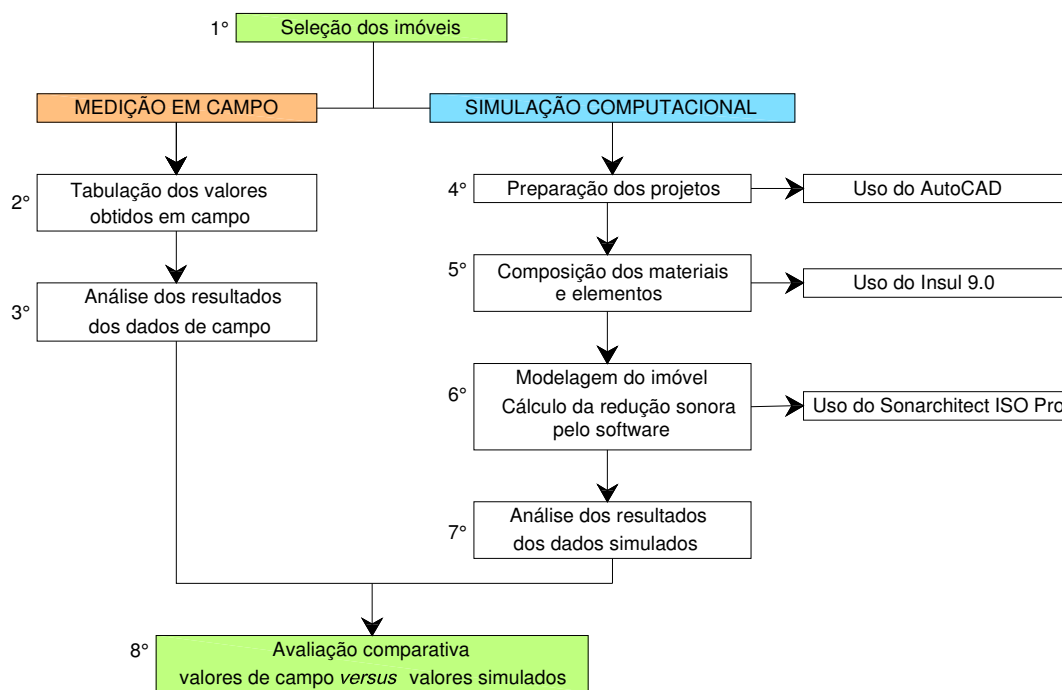
não incluindo no presente estudo a análise dos dados de isolamento sonora das vedações verticais externas (SVVE-fachadas), embora nos relatórios de campo dos imóveis constasse tais resultados.

A metodologia aplicada para a avaliação comparativa dos dados de campo com os dados das simulações computacionais foi desenvolvida seguindo 8 etapas listadas abaixo e ilustradas no fluxograma da Figura 46:

- 1- seleção de imóveis residenciais com medições realizadas, denominada fase da escolha dos casos de estudo;
- 2- tabulação dos valores obtidos nos ensaios de campo;
- 3- análise dos resultados dos ensaios de campo;
- 4- preparação do projeto arquitetônico para simulações, através do software AutoCAD;

- 5- composição dos materiais e elementos construtivos em software específico de previsão de isolamento acústico – Insul 9.0<sup>13</sup>;
- 6- modelagem do prédio e cálculo da redução sonora global através da simulação computacional do prédio como todo através de software de cálculo de isolamento acústico – SONarchitect ISO Professional<sup>14</sup>;
- 7- tabulação e análise dos resultados obtidos na simulação computacional;
- 8- avaliação comparativo dos valores de campo *versus* valores de simulação.

**Figura 46 - Fluxograma das etapas da análise comparativa - Metodologia**



Fonte: REZENDE (2019)

<sup>13</sup> Insul 9.0 é um programa de previsão de isolamento acústico de elementos e sistemas, da empresa Marshall Day Acoustics, desenvolvido a mais de 15 anos com base em pesquisas dos EUA de Bem Sharp e outros, que usa algoritmo de cálculos de perda de transmissão sonora com base nas normas internacionais ISO 717-1 e E-492/E-413 da ASTM. Possui extenso banco de dados de materiais de diversas regiões do mundo e está em constante evolução e atualização. (<http://www.insul.co.nz/features/>)

<sup>14</sup> SONarchitect ISO professional – Programa de cálculo de isolamento acústico que permite modelar e simular o comportamento acústico global de uma edificação, analisando o desempenho dos sistemas com base na norma EN12354:1,2,3,4,6 (ISO 14725: 1,2,3,4,6) em concordância aos limites constantes da NBR 15575 (2013). (<https://www.soundofnumbers.net/index.php/sonarchitect-iso>)

## 3.2. DETALHAMENTO DAS ETAPAS

### 3.2.1. SELEÇÃO DOS CASOS DE ESTUDO

Foram selecionados 14 empreendimentos residenciais, dos quais 8 utilizaram alvenaria de blocos cerâmicos como sistema de vedações internas, 1 utilizou alvenaria de bloco de concreto e 5 utilizaram vedações internas de concreto maciço.

Em relação ao tipo de laje, exceto os imóveis cujas paredes são de concreto maciço e, portanto, as lajes acompanharam o tipo de sistema construtivo, utilizando lajes de concreto maciço com espessura de 10cm; os demais imóveis utilizaram laje nervurada, chamada também de laje alveolar, variando as espessuras das capas de concreto maciço entre 5cm e 7cm.

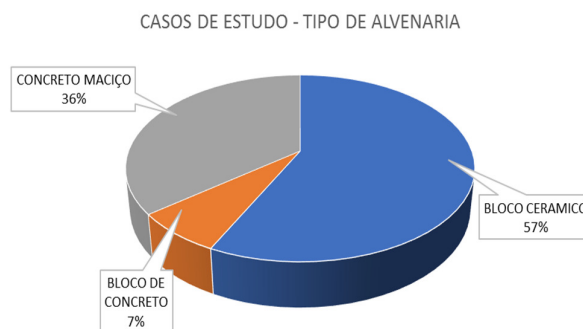
Foram adotadas siglas para identificar o tipo de sistema construtivo das vedações internas bem como as lajes dos imóveis selecionados, para facilitar a análise posterior. Para as vedações em bloco cerâmico foi adotada a sigla BCE, para as vedações em bloco de concreto, a sigla BCO e para as paredes em concreto maciço, adotou-se CON. Para as lajes nervuradas a sigla adotada foi LN e para as lajes maciças, LM.

A Tabela 15 e os Gráficos 1 e 2 ilustram a quantidade de cada tipo de alvenaria e tipo de laje em relação ao total da amostra analisada.

**Tabela 15 - Total de amostras dos casos de estudo**

TIPO DE PAREDE	QTD	TIPO DE LAJE	QTD
BCE - BLOCO CERAMICO	8	LJ- LAJE NERVURADA	9
BCO - BLOCO DE CONCRETO	1	LJM - LAJE MACIÇA CONCRETO	5
CON - CONCRETO MACIÇO	5		

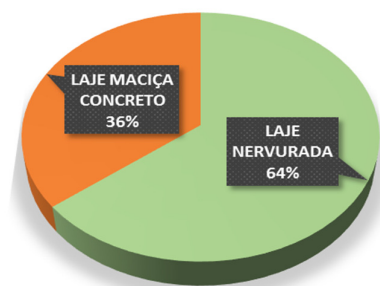
Fonte: REZENDE (2019)

**Gráfico 1 – Casos de estudo quanto ao tipo de alvenaria, em relação ao total da amostra**

Fonte: REZENDE (2019)

**Gráfico 2 - Proporção dos casos de estudo quanto ao tipo de laje, em relação ao universo da pesquisa**

CASOS DE ESTUDO - TIPO DE LAJE



Fonte: REZENDE (2019)

Os imóveis escolhidos, todos da região Nordeste, estão localizados nas cidades de Maceió-AL, Camaçari-BA, Fortaleza-CE, João Pessoa-PB, Cabo de Santo Agostinho-PE, Paulista-PE, Recife-PE, São Lourenço da Mata-PE e Aracaju-SE. Foram escolhidos por possuírem resultados de medição *in loco*, realizados por uma mesma empresa<sup>15</sup>, que atua na área de desempenho acústico no Nordeste e é certificada por treinamentos pela Associação Brasileira para a Qualidade Acústica - PróAcústica, cujos relatórios de campo foram cedidos para o desenvolvimento da presente pesquisa.

Os ensaios de campo foram realizados entre os anos de 2017 e 2018, na fase de entrega das referidas obras, cujos empreendimentos estavam com os revestimentos de paredes e pisos que foram consideradas nas modelagens. A empresa que executou os ensaios de campo utilizou equipamentos normatizados e calibrados por laboratórios acreditados pelo Inmetro, adotando

<sup>15</sup> Empresa Tecomat Engenharia Ltda

as recomendações da norma quanto aos procedimentos dos ensaios. As especificações dos referidos equipamentos utilizados nos ensaios de campo constam na Tabela 16, inclusive os certificados de calibração estavam dentro do prazo de validade à época das medições (dois anos a partir da calibração) e em cada relatório de ensaio estava anexada a cópia dos respectivos certificados.

**Tabela 16 - Equipamentos utilizados nos ensaios de campo**

Equipamento	Fabricante	Nº de série / versão	Certificado de Calibração *
Medidor de Nível de Pressão Sonora (Sonômetro) – Classe 1	01dB	65279	RBC2-9646-555
Calibrador Acústico – Classe 1	01dB	34113649	RBC3-9649-666
Dodecaedro (Omni-12)	01dB	03/09-12/B206-012	-
Amplificador	01dB	03/09-12/B207-A12	-
Tapping Machine	01dB	CALP04/08-11/193	-
Software dBbati (compilação dos resultados)	01dB	-	-

\* Esses certificados correspondem a alguns dos ensaios, pois os mesmos têm validade de 2anos

Fonte: REZENDE (2019)

Dos relatórios dos ensaios de campo, foram avaliados os dados das seguintes variáveis:

- SVVI: Isolamento sonoro ao ruído aéreo promovido pela vedação vertical interna = 75 resultados;
- SVH-RA: Isolamento sonoro ao ruído aéreo promovido pela vedação horizontal (sistema de piso) = 116 resultados;
- SVH-RI: Ruído de impacto em sistemas de pisos entre unidades (vedação horizontal) = 102 resultados.

A Tabela 17 apresenta a descrição resumida da caracterização da amostra, com dados da cidade de localização do empreendimento, tipo de sistema construtivo das paredes e das lajes, e quantidade dos ensaios de campo realizados para cada tipo de variável para cada caso de estudo.

**Tabela 17 – Resumo da Amostra, tipo de sistema construtivo e ensaios acústicos**

IMÓVEL	LOCALIZAÇÃO	CÓDIGO TP	TIPO DE PAREDE (TP)	CÓDIGO TL	TIPO DE LAJE (TL)	ENSAIOS DE CAMPO		
						SVVI	SVH-RA	SVH-RI
I-1	Recife/PE	BCE-01	Bloco cerâmico 9cm	LN-01	Laje nervurada	2	8	4
I-2	Recife/PE	BCE-02	Bloco cerâmico 14cm	LN-02	Laje nervurada	7	10	5
I-3	Aracaju/SE	BCE-03	Bloco cerâmico 14cm	LN-03	Laje nervurada	14	7	7
I-4	João Pessoa/PB	BCE-04	Bloco cerâmico 9cm	LN-04	Laje nervurada	3	4	4
I-5	Recife/PE	BCE-05	Bloco cerâmico 9cm	LN-05	Laje nervurada	1	3	3
I-6	Recife/PE	BCE-06	Bloco cerâmico 14cm	LN-06	Laje nervurada	8	20	20
I-7	João Pessoa/PB	BCE-07	Bloco cerâmico 9cm	LN-07	Laje nervurada	3	10	10
I-8	Fortaleza/CE	BCE-08	Bloco cerâmico 14cm	LN-08	Laje nervurada	4	8	8
I-9	Cabo de Santo Agostinho/PE	BCO-1	Bloco concreto 14cm	LN-09	Laje nervurada	5	8	8
I-10	Maceió/AL	CON-01	Concreto maciço 10cm	LM-01	Laje maciça concreto	6	8	8
I-11	Camaçari/BA	CON-02	Concreto maciço 10cm	LM-02	Laje maciça concreto	4	8	8
I-12	Camaçari/BA	CON-03	Concreto maciço 10cm	LM-03	Laje maciça concreto	8	8	8
I-13	São Lourenço da Mata/PE	CON-04	Concreto maciço 10cm	LM-04	Laje maciça concreto	4	6	6
I-14	Paulista/PE	CON-05	Concreto maciço 10cm	LM-05	Laje maciça concreto	6	8	3
<b>TOTAL ENSAIOS ANALISADOS</b>						<b>75</b>	<b>116</b>	<b>102</b>

Fonte: REZENDE (2019)

Os procedimentos de medição dos ensaios de campo seguiram as metodologias normatizadas pelas ISO 140 e 16283, com o mínimo de cinco medições em cada ambiente, estando as portas e janelas vedadas e o ambiente vazio.

Na Figura 47 estão ilustrados os esquemas de realização das medições dos ensaios de campo para as três variáveis dos sistemas de vedações avaliadas (SVVI - ruído aéreo; SVH - ruído aéreo e SVH - ruído de impacto).

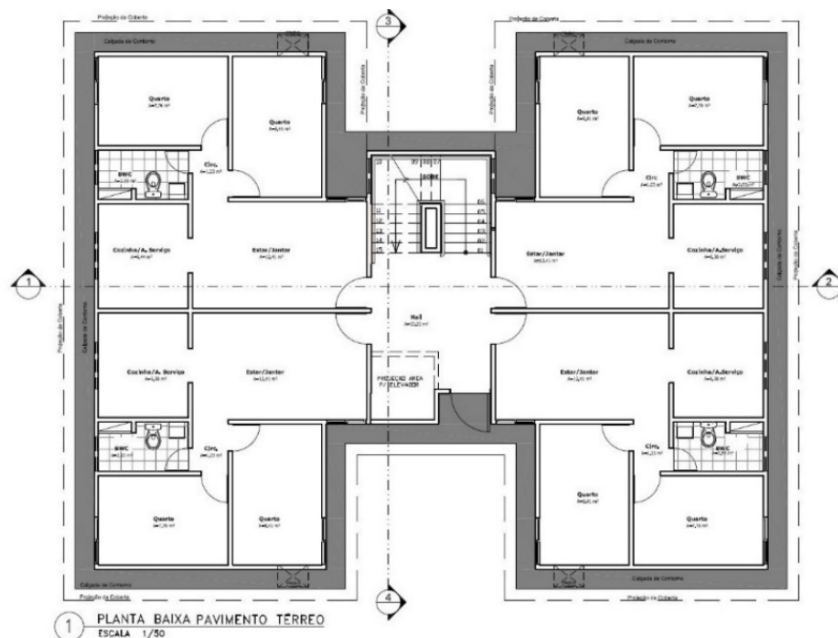




modo que, ao fim dessa fase, o resultado alcançado foi a planta de eixos de cada um dos diferentes pavimentos dos projetos. Essa planta de eixos de cada lâmina é o necessário, a nível de projeto, para o software de modelagem. Complementando as informações essenciais dos projetos para a fase posterior de modelagem do prédio no software SONarchitect, foram coletados os dados de altura entre os pisos na prancha de corte do projeto (chamada também de pé-esquerdo) e o número total de pavimentos.

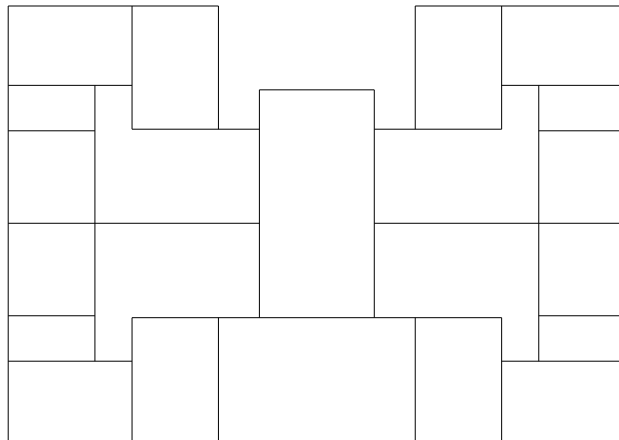
Com apenas os eixos desenhados, o arquivo do projeto foi exportado no formato DXF, compatível para leitura e importação pelo SONarchitect. A Figura 48 apresenta a planta baixa do pavimento tipo de um dos projetos e a Figura 49 apresenta esse mesmo projeto, após limpeza, pronto para exportar em DXF para o SONarchitect. As Figuras 50 e 51 exemplificam outros dois projetos que foram limpos e preparados para a modelagem.

**Figura 48 - Projeto de arquitetura I-10: Planta baixa pavtº tipo**



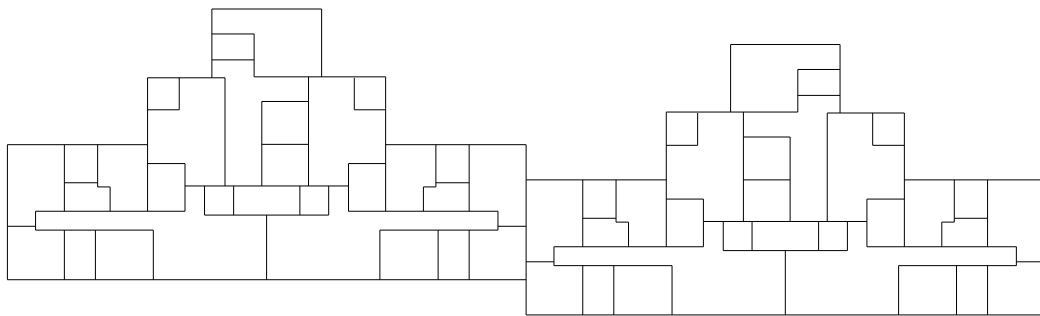
Fonte: REZENDE (2019)

**Figura 49 - Planta limpa I-10 exportada em formato DXF**



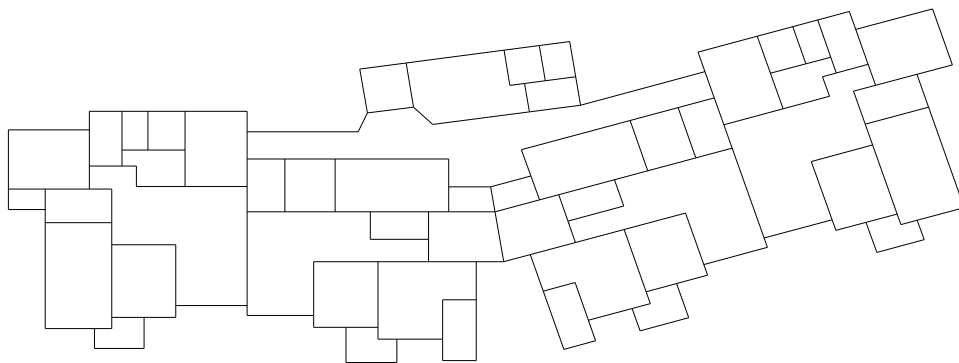
Fonte: REZENDE (2019)

**Figura 50 - Planta limpa I-9 exportada em formato DXF**



Fonte: REZENDE (2019)

**Figura 51 - Planta limpa I-8 exportada em formato DXF**



Fonte: REZENDE (2019)

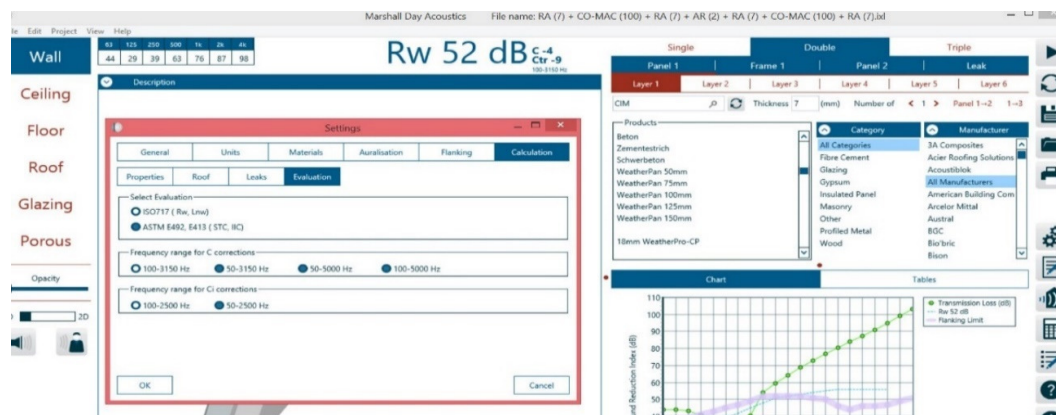
### 3.2.3. MODELAGEM DOS COMPONENTES E ELEMENTOS

Para essa fase foi utilizado o software Insul 9.0, da Marshall Day Acoustics, como dispositivo de previsão de isolamento acústico dos elementos paredes, pisos e tetos, separadamente. Essa modelagem inicial dos componentes, fornece os valores previstos de redução sonora dos elementos, que serão informados como dados de entrada em seguida na simulação global da edificação.

Conforme informações do fabricante<sup>16</sup>, o Insul não substitui a medição, no entanto, como ferramenta de previsão, faz boas estimativas de perda de transmissão sonora e de sons de impacto em bandas de um terço de oitava e índice de redução sonora ponderado, com precisão e confiabilidade dentro de 3dB para a maioria dos tipos de construções, com relação aos valores medidos em campo. Com o programa, conseguiu-se ainda avaliar o efeito da alteração de materiais nos projetos, através de ajustes nas modelagens, considerando, para cada material, as diferentes densidades, módulo de elasticidade e fator de amortecimento específicos. O fabricante ainda esclarece que o programa é multilíngue e possui um banco de dados de materiais de diversos países do mundo, como Reino Unido, EUA, Austrália, Holanda, Espanha, França, Alemanha, Itália, Suécia, Coreia e outros, que podem ser editadas, caso necessário. Para o estudo em questão os dados do Brasil, especificamente do Nordeste, foram inseridos a partir de ensaios anteriormente realizados e estudos preliminares de outros pesquisadores.

A Figura 52 apresenta a tela do Insul onde constam parte das configurações e das frequências do cálculo acústico considerado pelo programa.

**Figura 52 - Tela de configuração dos cálculos normalizados no Software Insul**



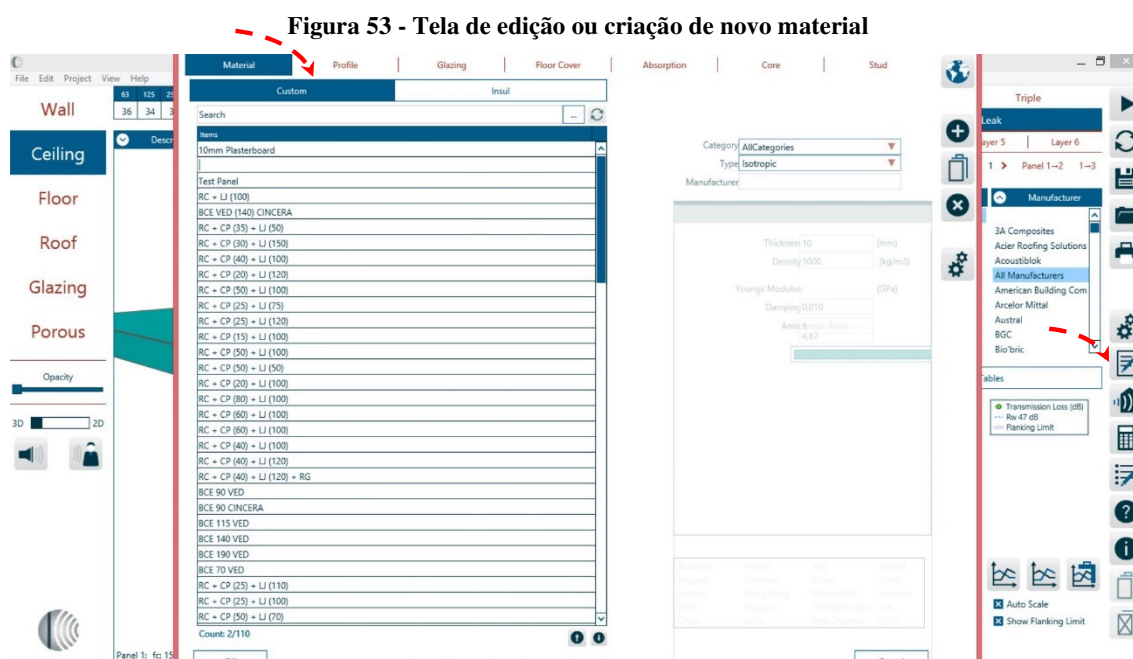
Fonte: REZENDE (2019)

<sup>16</sup> Dados do site do fabricante (www.insul.co.nz)

Com o Insul, foi possível estimar a atenuação sonora possível pelos componentes e elementos construtivos (paredes e pisos), para se chegar aos valores de referência de isolamento  $R_w$  e  $L_n'w$  para cada composição.

A modelagem no Insul foi estruturada de acordo com as densidades e espessuras das diferentes camadas que constituem os sistemas de paredes e sistemas de pisos.

Como anteriormente citado, o programa possui um banco de dados com características de vários tipos de materiais para ser utilizado nas composições das camadas dos elementos construtivos a modelar, no caso as paredes e os pisos, porém é possível editar ou criar composições customizadas (*custom*), conforme tela exemplificada na Figura 53.



Fonte: REZENDE (2019)

Nessa tela de edição e criação de novo material, foram inseridas as informações de espessura da camada (*thickness*), densidade (*density*), módulo de elasticidade (*youngs modulus*) e amortecimento (*damping*) para cada uma das camadas que compõe os elementos construtivos de cada projeto a simular.

O resultado obtido pelo Insul são os valores de isolamento dos materiais,  $R_w$  e  $L_n'w$ , que foram levados para o outro programa de simulação computacional utilizado neste trabalho, o SONarchitect, que simula o comportamento acústico das unidades habitacionais do prédio, avaliando seu desempenho.

Para esse trabalho, todas as composições foram criadas de forma personalizada/customizada, conforme informações das fichas de especificações do projeto de cada empreendimento, onde constam a caracterização das vedações verticais e dos sistemas de pisos utilizados, detalhando inclusive as espessuras e tipos de acabamentos.

Como não há publicações técnicas detalhando sobre os critérios de uso do fator de amortecimento acústico dos materiais (*damping*) e, como são conhecidas as densidades da maioria dos materiais, além de valores de referência de redução sonora de alguns elementos e componentes, que foram resultados de ensaios de laboratório fornecidos pelas tabelas do Guia CBIC (2013), das pesquisas da Unicamp (NETO, 2009; NETO, BERTOLLI E HARRY, 2010), da Universidade de São Carlos (SOUZA et al, 2013) e pelas Fichas de Avaliação de Desempenho-FAD do Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat – PBQP-H, optou-se por ajustar os valores de amortecimento usado nas simulações desse estudo, a fim de se chegar próximo a esses valores de referência de desempenho acústico de outros estudos dessa natureza.

As informações das propriedades de densidade, módulo de elasticidade e fator de amortecimento dos materiais utilizados nas simulações dos casos de estudo, foram cedidos pela Tecomat, com base nos ensaios de campo e nos dados dos fabricantes dos materiais utilizados nas obras, compatibilizando com os dados ajustados acima e estão listados na Tabela 18.

**Tabela 18 - Caracterização dos materiais simulados**

Sigla	Material	Densidade d (Kg/m <sup>3</sup> )	Módulo de elasticidade y (GPa)	Damping (fator de amortecimento)
BCE VED 90	Bloco cerâmico de vedação 90mm	616	10	0,011
BCE VED 140	Bloco cerâmico de vedação 140mm	577	10	0,011
BCO VED 140	Bloco de concreto de vedação 140mm	896	40	0,001
BGV	Bloco gesso vazado 5mm	800	8	0,006
BGM / FG	Bloco gesso maciço / Forro de gesso	900	8	0,006
CON	Parede em concreto maciço	1900*	15	0,003
RA	Revestimento em argamassa cimentícia	1600	30	0,003
RG	Revestimento em pasta de gesso	1100	30	0,003
RC	Revestimento cerâmico	1800	4,68	0,001
CP	Contrapiso	1600	30	0,003
LJ	Laje concreto	2400	40	0,009*
CPE	Contrapiso especial – traço isofloc	1100	10	0,004

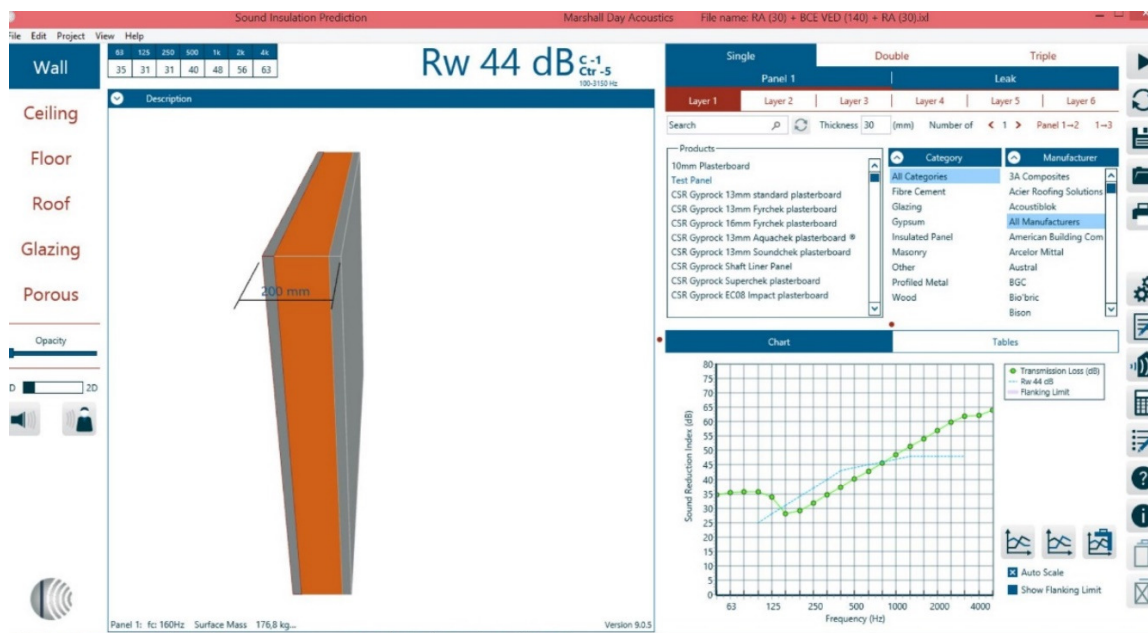
\*ajustes dos dados de entrada para forçar índices de redução sonora consolidadas dos sistemas analisados (45dB)  
Fonte: REZENDE (2019)

As modelagens das paredes no programa Insul foram realizadas tal como são executadas em campo as alvenarias com seu revestimento, ou seja, como sendo uma justaposição de diversas camadas sobrepostas como um elemento monolítico, quais sejam camadas de revestimento e substrato, que no presente trabalho foram em alvenaria ou em concreto maciço, com suas respectivas espessuras e propriedades de densidade, módulo de elasticidade e fator de amortecimento informados, conforme valores destacados na Tabela 18.

Para cada composição de parede criada, o *software* efetuou os cálculos de atenuação sonora, mostrou uma imagem do elemento como construído e indicou o índice de redução sonora nas faixas de frequência solicitadas, plotando gráficos e tabelas, apresentando a frequência crítica e a densidade total, além do valor médio de  $R_w$  para a faixa 100-3500Hz, que foi utilizado como índice de referência do comportamento acústico do respectivo elemento.

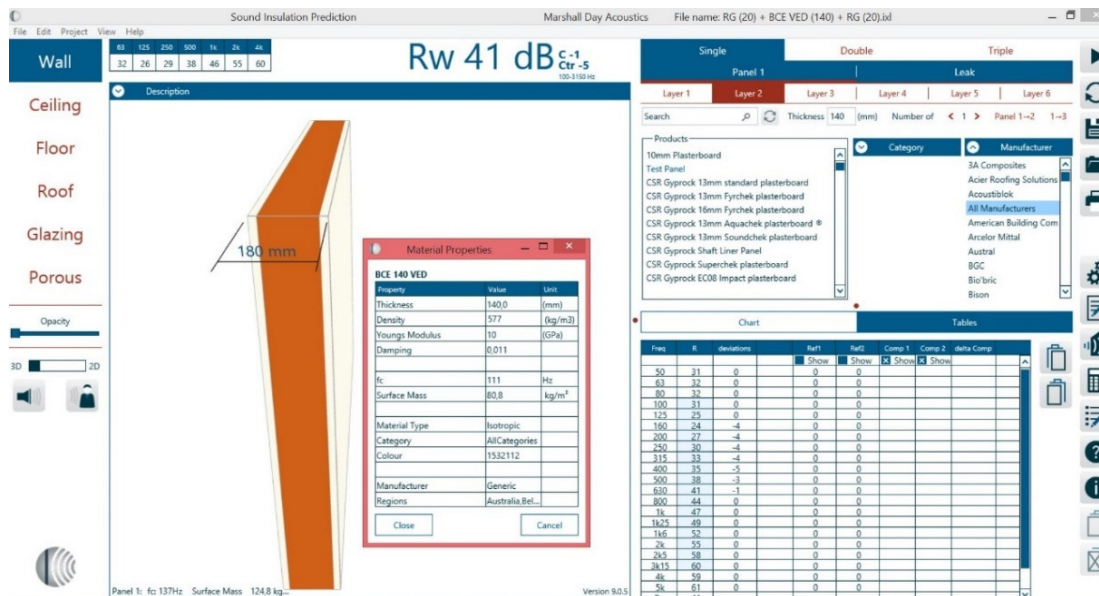
As Figuras 54 e 55 exemplificam algumas dessas composições de paredes elaboradas nessa pesquisa, com uso do software Insul.

**Figura 54 - Composição de parede interna – Imóvel I-08 (parede de bloco cerâmico de vedação de 14,0 cm e revestimento de base cimentícia de 3,0 cm em cada lado)**



Fonte: REZENDE (2019)

**Figura 55 - Composição de parede de vedação interna - Imóvel I-03 (parede de bloco cerâmico de vedação de 14,0 cm e revestimento de passa de gesso de 2,0 cm em cada lado)**



Fonte: REZENDE (2019)

Para as lajes, apesar da metodologia de composição em camadas ser similar às usadas na modelagem das paredes, a modelagem foi um pouco mais complexa, pois foi feita uma ponderação dos diferentes materiais das camadas de piso com fins de compor a laje como sendo um maciço, ou seja, um componente único (*single*) equivalente, calculando-se uma densidade ponderada do conjunto, de acordo com as espessuras e densidades específicas de cada material por camada, a partir da seguinte expressão – Equação 10:

$$\rho' = (e^1 \cdot \rho^1 + e^2 \cdot \rho^2 + \dots + e^n \cdot \rho^n) / e^T \quad (\text{Equação 10 – Densidade ponderada})$$

Onde:

$\rho'$  é a densidade ponderada do maciço equivalente, ou seja, a densidade total, expressa em kg/m<sup>3</sup>;

$e^n$  é a espessura de cada camada que compõe a laje, expresso em m;

$\rho^n$  é a densidade do material de cada camada, expressa em kg/m<sup>3</sup>;

$e^T$  a espessura total do maciço, expressa em m.

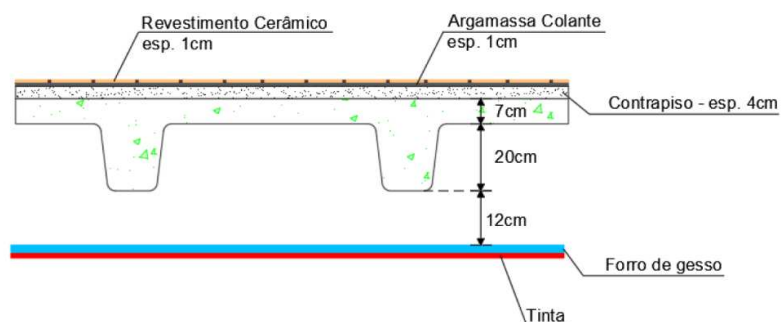


Essa ponderação que transformou as diversas camadas da laje em uma camada equivalente foi feita porque, caso contrário, o programa Insul consideraria que entre as camadas do piso existiria uma junta elástica, e dessa forma a simulação apresentaria resultados bem melhores dos que ocorrem na situação real, ou seja, nos ensaios de campo.

No caso das lajes nervuradas, a simplificação foi ainda maior, pois foi desprezada a altura das nervuras e, para o cálculo do maciço equivalente, foi considerada apenas a espessura do capeamento da laje. Essa maior simplificação pode ser justificada pelo fato de que, ignorando o espaço de ar das nervuras, o processo conduz a menores níveis de redução sonora, solução adotada que pode induzir resultados mais conservadores e garantir melhor desempenho na perda de transmissão sonora.

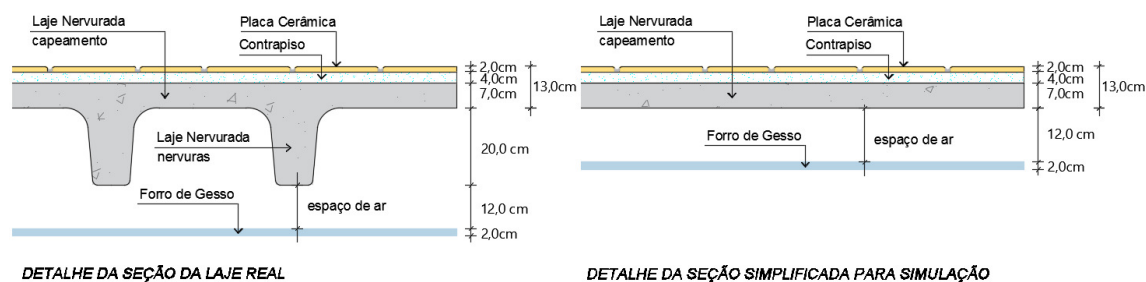
Por exemplo, por meio da metodologia de simplificação aplicada nesse trabalho, a laje nervurada de um dos casos de estudo, I-9, ilustrada no croqui da Figura 56, foi simplificada como uma laje equivalente de 13 cm, conforme detalhamento da Figura 57.

**Figura 56 - Croqui de detalhamento da laje nervurada (piso/teto) – I-9**



Fonte: Relatório RLT.TCN-591.18-01 TECOMAT

**Figura 57 - Simplificação utilizada na modelagem das lajes/pisos – exemplo caso de estudo I-9**



Fonte: REZENDE (2019)

Sua conformação original tinha altura total de 33 cm, dos quais 2 cm de espessura referente a revestimento cerâmico com a argamassa colante, contrapiso de espessura de 4 cm, laje nervurada de 27 cm, dos quais 7 cm refere-se ao capeamento e 20 cm à altura das nervuras. Para a modelagem da laje, desprezou-se a altura das nervuras e considerou-se apenas o revestimento cerâmico, o contrapiso e o capeamento, totalizando 13 cm de espessura para o maciço, sendo a densidade ponderada equivalente calculada por meio da expressão referida como Equação 10, ou seja:

$$(0,02m \times 1800 \text{ kg/m}^3 + 0,04 \times 1600 \text{ kg/m}^3 + 0,07 \times 2400 \text{ kg/m}^3) / 0,13m = 2061,54 \text{ kg/m}^3.$$

Para a situação onde os sistemas de piso/tetos tem indicação de forro de gesso, como no exemplo dessa mesma laje ilustrada na Figura 56, foi assinalado no software a opção de laje dupla (*double*), onde na primeira camada (*painel 1*) foi informado o cálculo do maciço equivalente com sua espessura e densidade; na estruturação (*frame*) foram indicados o tipo de estruturação e o espaço de ar entre a laje e o forro; e na segunda camada (*painel 2*) foi indicado o forro de gesso como material constituinte dessa camada. A Figura 58 apresenta como os dados de entrada da composição dessa laje são informados para modelagem no software Insul 9.0.

**Figura 58 - Modelagem de composição de laje nervurada – I-9**



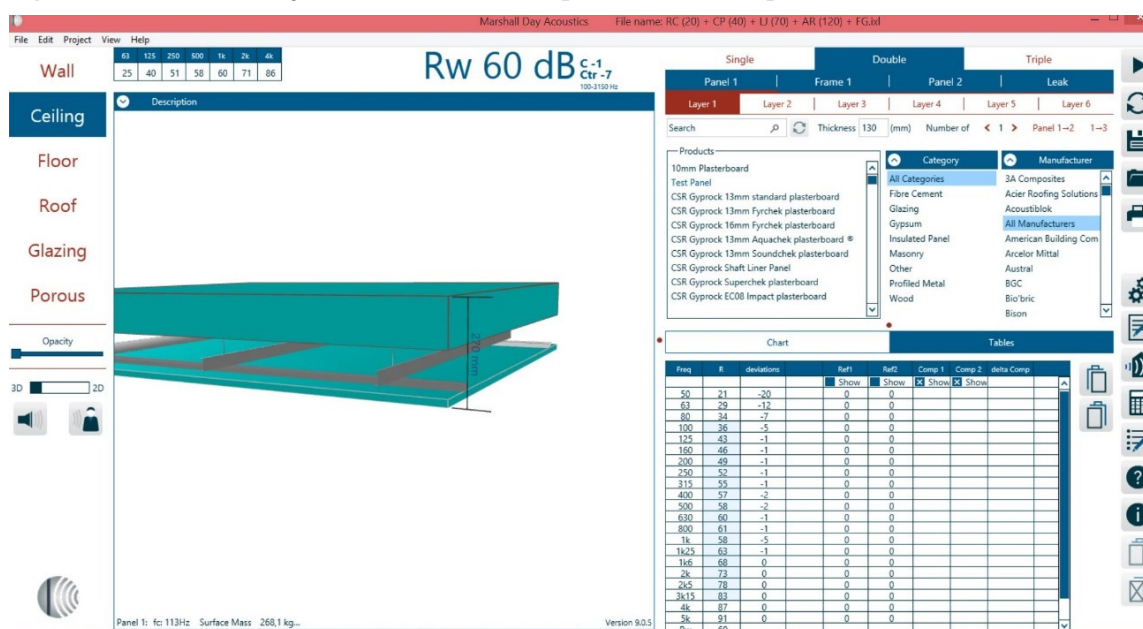
Fonte: REZENDE (2019)

Após a modelagem da laje (piso/teto), o programa Insul estimou o índice de redução sonora  $R_w$  do elemento teto e o nível de pressão sonora de impacto padrão de piso  $L_{n,w}$ , nas abas *Ceiling* e *Floor*<sup>17</sup> do programa, respectivamente.

Para cada uma das abas *Ceiling* e *Floor*, o programa ainda apresenta os valores dos ruídos de condução aérea  $R$ (dB) e ruídos de percussão  $L_w$ (dB), nas frequências de 50 a 5000 Hz, na guia *Tables*, porém para a modelagem utilizamos apenas os valores compreendidos na banda de gama padrão (banda de um terço de oitava) cujas frequências vão de 100 a 3500Hz (valores que serão exportados para o outro programa de modelagem - o SONarchitect).

Através das Figuras 59 e 60 é possível entender como essas informações são apresentadas no programa após os cálculos efetuados com base nos dados de entrada de cada tipo de elemento.

**Figura 59 - Índice de redução sonora  $R_w$  da laje de piso/teto calculado pelo Insul – I-9**



Fonte: REZENDE (2019)

<sup>17</sup> A aba *Ceiling* traduzida como teto, fornece os valores de redução sonora ao som aéreo e a aba *Floor* traduzida para piso, fornece os valores de nível de pressão sonora de impacto padrão.

**Figura 60 - Nível de pressão sonora de impacto padrão de piso/teto calculado pelo Insul – I-9**



Fonte: REZENDE (2019)

A Tabela 19 a seguir apresenta a síntese dos resultados obtidos com a modelagem pelo Insul dos sistemas de paredes separadamente para cada caso estudado e é possível comparar algumas das estimativas de redução sonora com os valores indicativos de redução sonora para alguns sistemas similares de paredes de estudos citados anteriormente na Tabela 8<sup>18</sup> do item 2.4.3.2, que está parcialmente reproduzida abaixo.

**Tabela 19 (parcial)- Valores indicativos do índice de redução sonora ponderado para alguns sistemas de paredes, baseados em estudos do IPT, Unicamp, SOBRAC, Universidade de Coimbra**

Tipo de parede	Largura do bloco / tijolo	Revestimento	Massa aproximada	R <sub>w</sub> (dBA)
Blocos vazados de concreto (BCO)	14 cm	Argamassa 1,5 cm em cada face	230 kg/m <sup>2</sup>	<b>45</b>
Blocos vazados de cerâmica (BCE)	9 cm	Argamassa 1,5 cm em cada face	120 kg/m <sup>2</sup>	<b>38</b>
	14 cm		180 kg/m <sup>2</sup>	<b>42</b>
Paredes maciças de concreto armado (CON)	10 cm	Sem revestimento	240 kg/m <sup>2</sup>	<b>45</b>

Fonte: Tabela 34 (CBIC, 2013)

**Tabela 20 – Síntese dos resultados estimados de redução sonora pelo INSUL, comparadas com valores indicativos da Tabela 8**

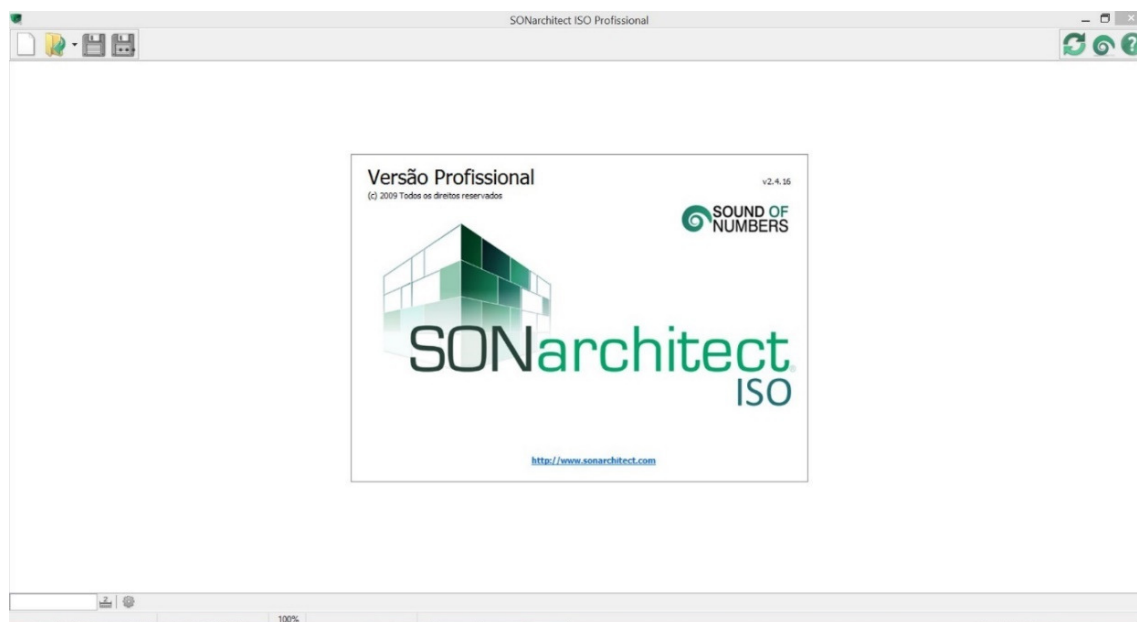
IMÓVEL	SVVI	R <sub>w</sub> INSUL	R <sub>w</sub> (dBA) Tab.8
I-1	RG (15) + BCE (90) + RG (15)	37 dB	38 dB (BCE 90)
I-2	RA (15) + BCE (140) + RA (15)	41 dB	42 dB (BCE 140)
I-3	RG (20) + BCE (140) + RG (20)	41 dB	
	RG (20) + BCE (140) + RA (30) + RG(20) *	43 dB	
I-4	RA (15) + BCE (90) + RA (15)	38 dB	38 dB (BCE 90)
I-5	RA (15) + BCE (90) + RA (15)	38 dB	38 dB (BCE 90)
I-6	RG (15) + BCE (140) + RG (15)	41 dB	42 dB (BCE 140)
I-7	RA (20) + BCE (90) + RA (20)	39 dB	
I-8	RA (30) + BCE (140) + RA (30)	44 dB	
I-9	RG (20) + BCO (140) + RG (20)	45 dB	
I-10	RG (5) + CON (100) + RG (5)	45 dB	
I-11	RA (20) + CON (100) + RA (20)	47 dB	
I-12	RA (7) + CON (100) + RA (7)	46 dB	
I-13	CON (100)	45 dB	45 dB (CON 100)
I-14	RA (4) + CON (100) + RA (4)	46 dB	

\*áreas molhadas

Fonte: REZENDE (2019)

### 3.2.4. MODELAGEM DO IMÓVEL E CÁLCULO DO DESEMPENHO ACÚSTICO

Para essa fase do trabalho foi utilizado o software SONarchitect ISO professional, cuja tela de início é apresentada na Figura 61, para simular o comportamento acústico do edifício como um todo e avaliar o seu desempenho a partir da conformidade dos resultados simulados com os conjuntos limites configurados, de acordo com os constantes na NBR 15575, que são inicialmente carregados no programa. Os resultados apresentados pelo programa são detalhados para cada ambiente, vedação, flanco e caminho de transmissão sonora e é apresentada a conformidade ou não de cada ambiente/sistema.

**Figura 61 – Tela inicial do SONarchitect ISO**

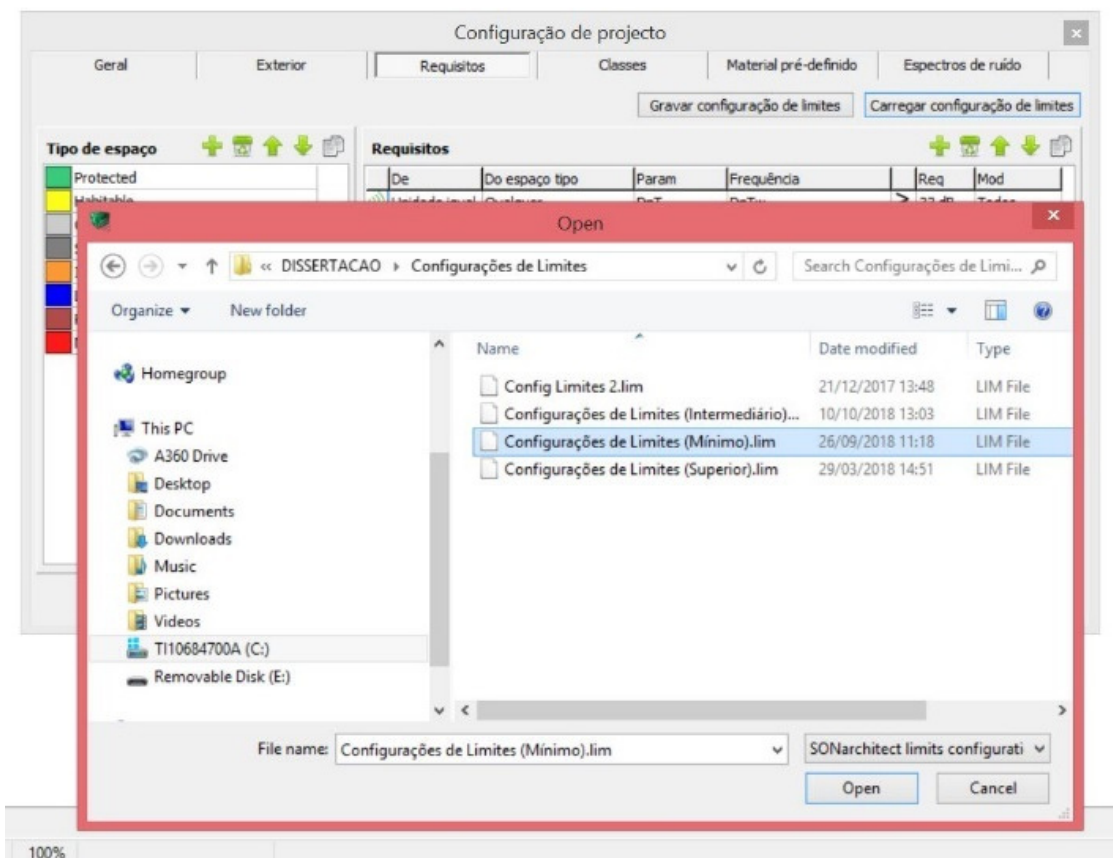
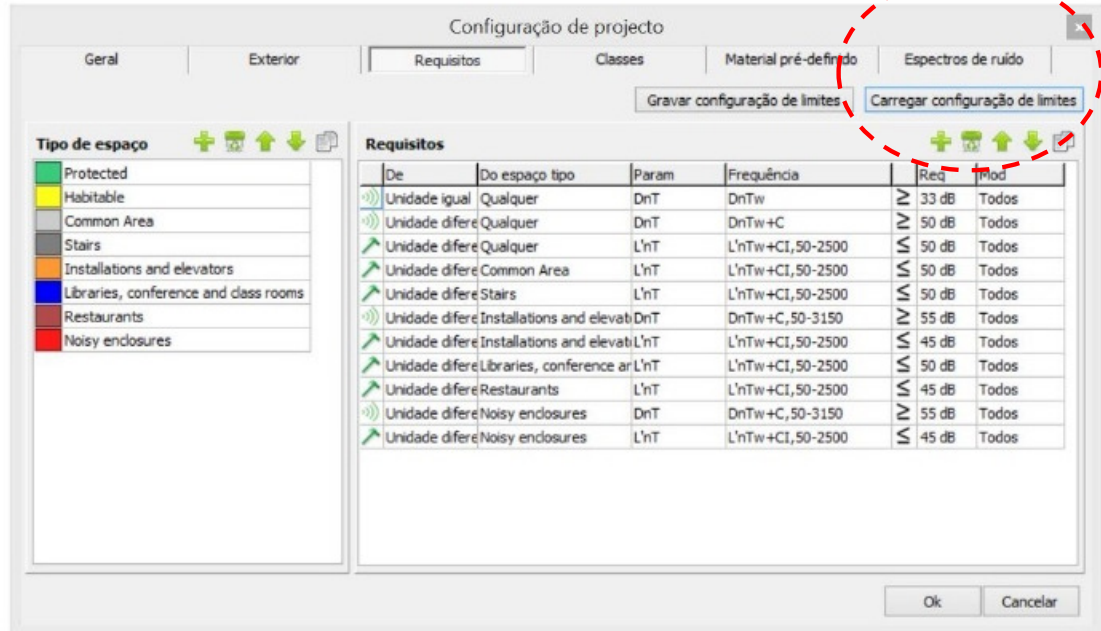
Fonte: REZENDE (2019)

Os valores resultantes das simulações realizadas na modelagem de composição dos materiais e elementos com o software Insul, foram levados para o software SONarchitect, como valores de referências das composições personalizadas de cada um dos projetos, com vistas a modelagem computacional do desempenho acústico do imóvel.

Além dos dados dos sistemas construtivos estimados no software Insul, foram utilizadas as plantas dos pavimentos exportadas em DXF, as informações do projeto de arquitetura (altura entrepisos, indicação das janelas, especificações das vedações internas, externas, pisos e tetos) e os valores dos limites mínimos dos critérios de desempenho acústico para ensaios de campo, conforme tabelas F.10 da NBR 15575-4, E.2 e E.1 da NBR 15575-3 (ABNT, 2013), reproduzidas no item 2.4.3 (páginas 97 e 102) deste trabalho, como dados de entrada para a simulação computacional no SONarchitect.

O processo de modelagem no SONarchitect iniciou com a inserção das configurações dos limites mínimos, ou seja, os níveis mínimos de desempenho da NBR 15575 para os ensaios de campo, uma vez que a simulação pretende prever o comportamento acústico em relação ao que será medido na situação real de campo. A Figura 62 apresenta a tela de configuração desses dados.

Figura 62 - Carregamento dos limites mínimos - níveis mínimos da NBR 15575

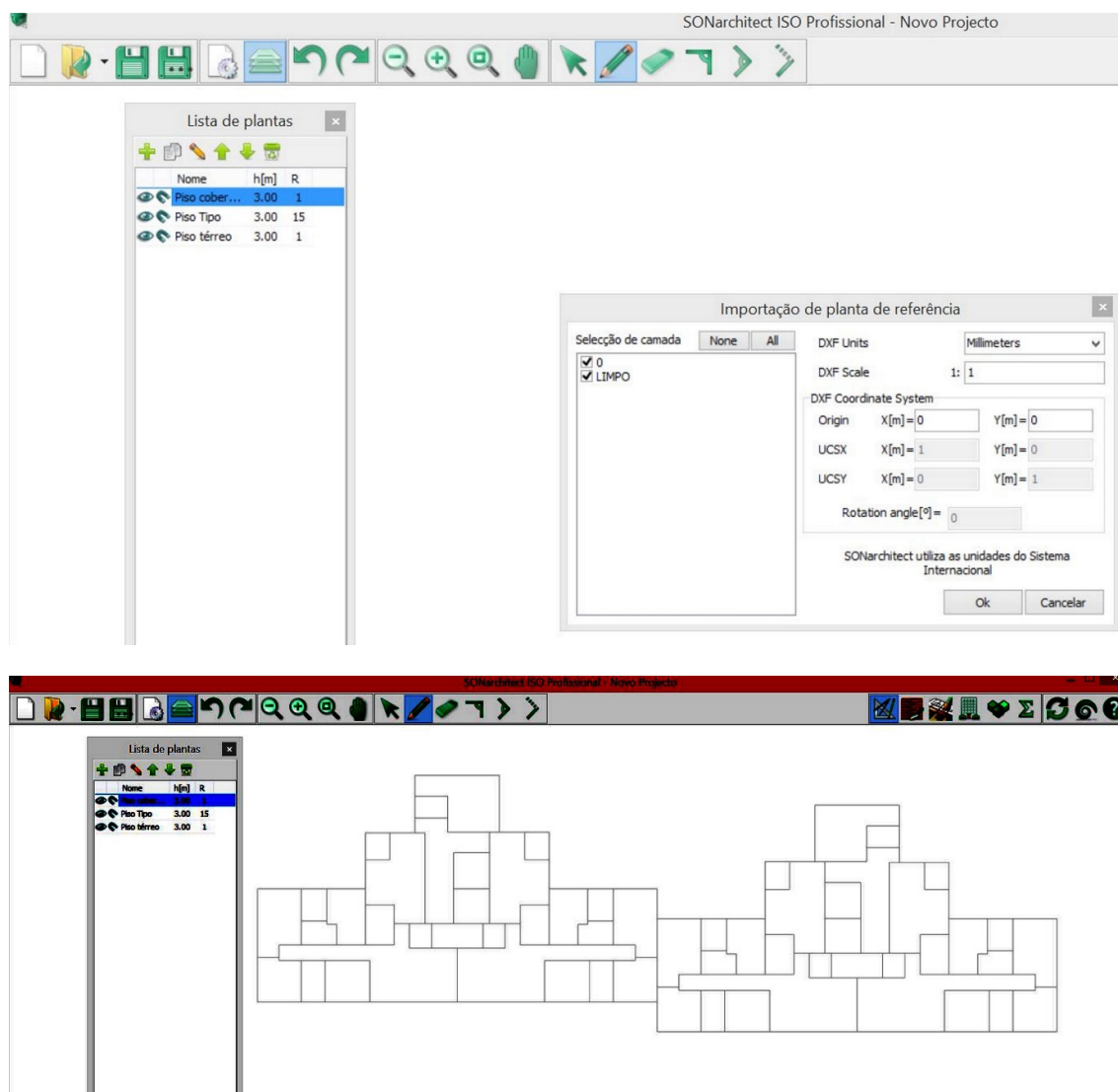


Fonte: REZENDE (2019)

Para inserir o projeto de um edifício no SONarchitect, faz-se necessário criar uma composição de camadas, a partir de repetições de um ou mais pavimentos diferentes. Por essa razão são necessárias as plantas de eixo de cada um dos pavimentos distintos, ou seja, térreo, pilotis, tipo, cobertura, ou outro piso diferente que o projeto possua.

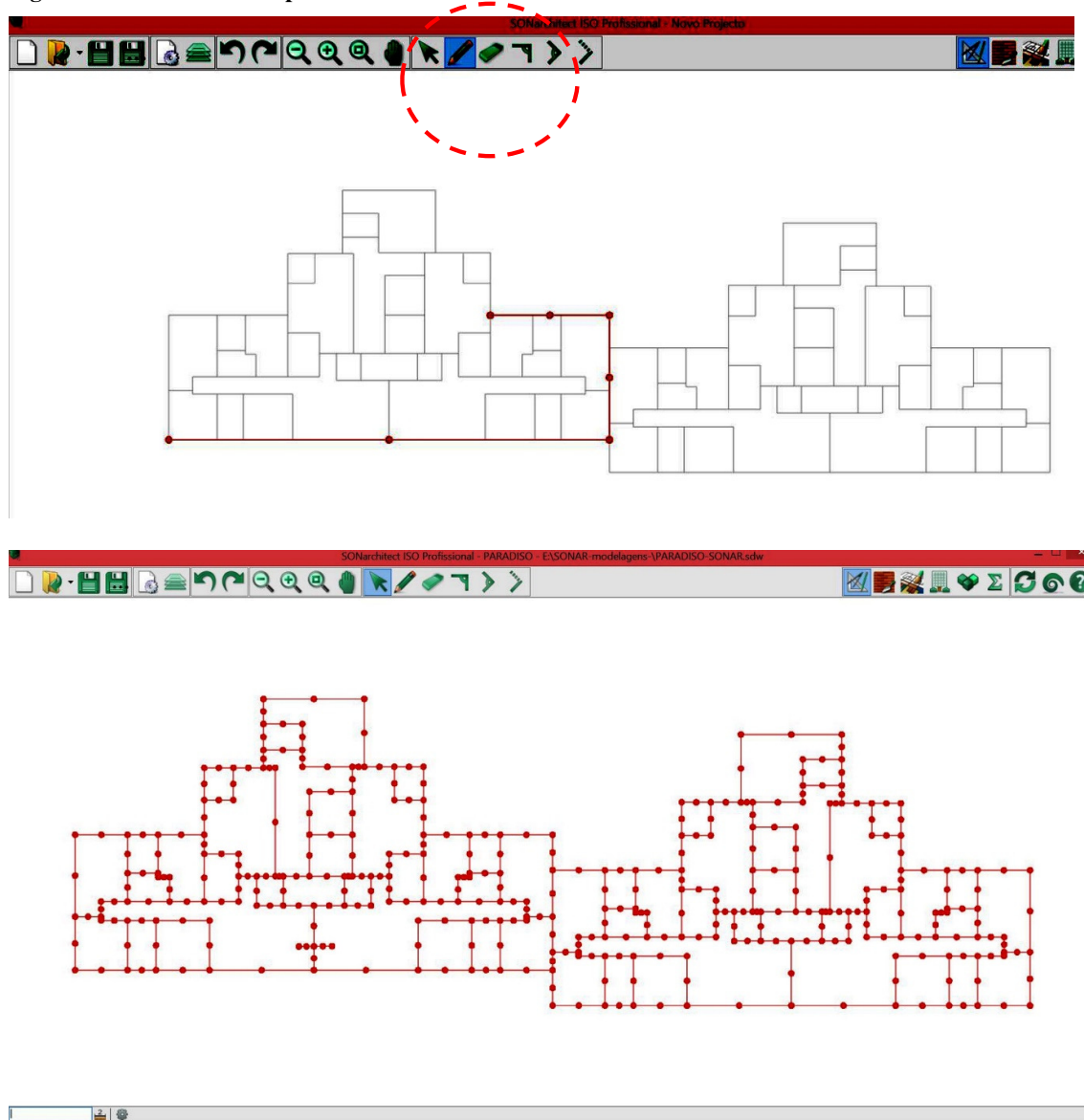
Seguiu-se desta forma a modelagem do projeto com a importação das plantas dos pavimentos, através do arquivo DXF, sendo fornecido ao programa o número de repetições dos pavimentos e a altura entrepisos e, logo após, foram redesenhadas as plantas baixas, utilizando a ferramenta de desenho dentro do programa, conforme demonstrado nas Figuras 63 e 64, respectivamente.

**Figura 63 - Importação das plantas de eixo em DXF e definição de pavimentos e repetições**



Fonte: REZENDE (2019)

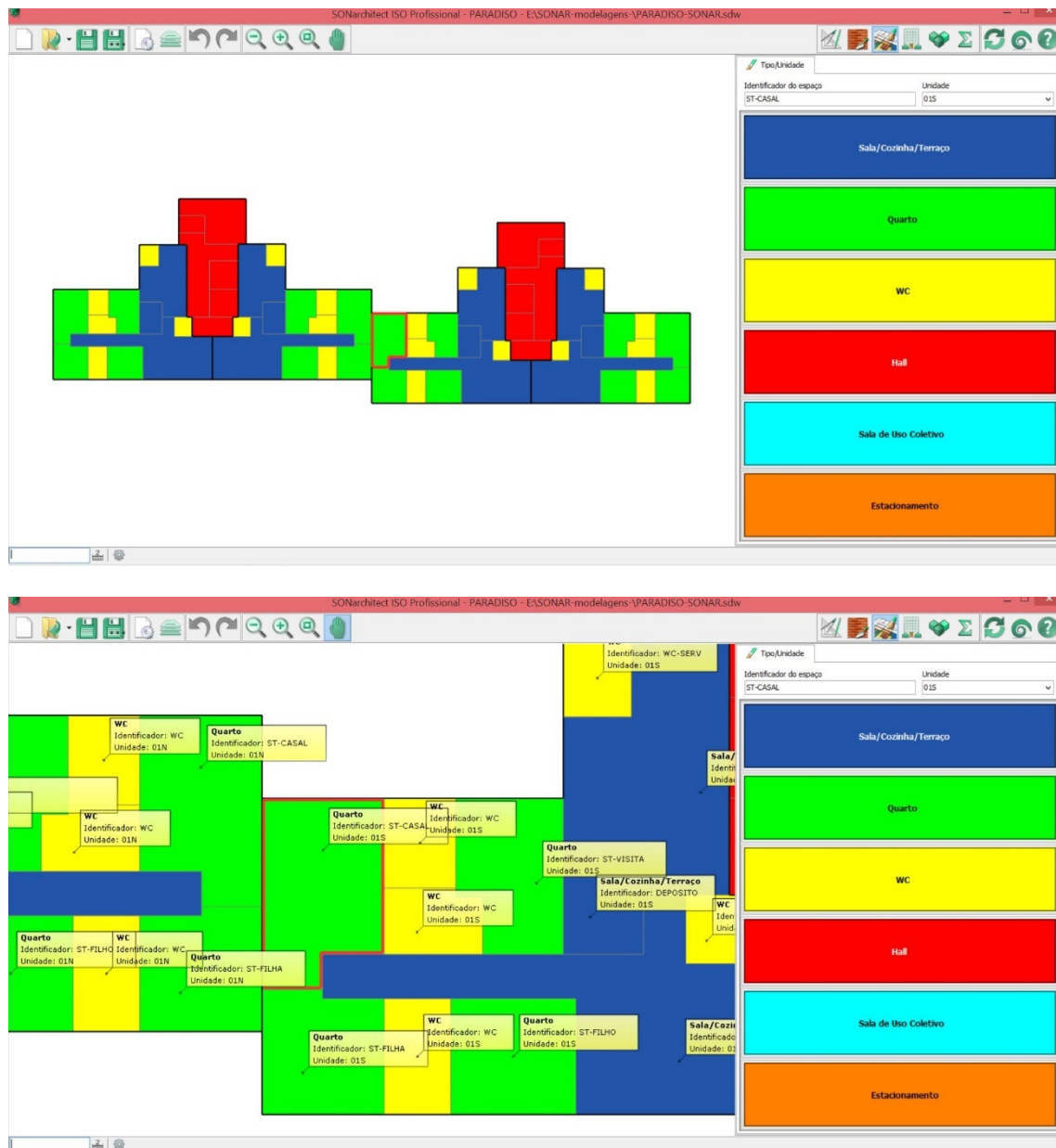


**Figura 64 - Redesenho das plantas usando ferramentas de desenho do SONarchitect – I-9**

Fonte: REZENDE (2019)

Os ambientes e unidades residenciais foram sequencialmente identificados no programa, cuja ambientação tem relação com os dados de níveis mínimos de desempenho da norma, diferentes para cada tipo de ambiente, cujos valores foram inseridos no início dessa fase de modelagem no programa, conforme já citado. Para facilitar a compreensão e leitura em planta, os tipos de ambientes são diferenciados por cores, e ao fim da modelagem, após o cálculo acústico, o nome dos ambientes facilita a leitura e análise dos resultados. A Figura 65 exemplifica como a ambientação é apresentada em cada pavimento dos projetos.

**Figura 65 - Identificação dos ambientes – tipos e unidades residenciais – I-9**



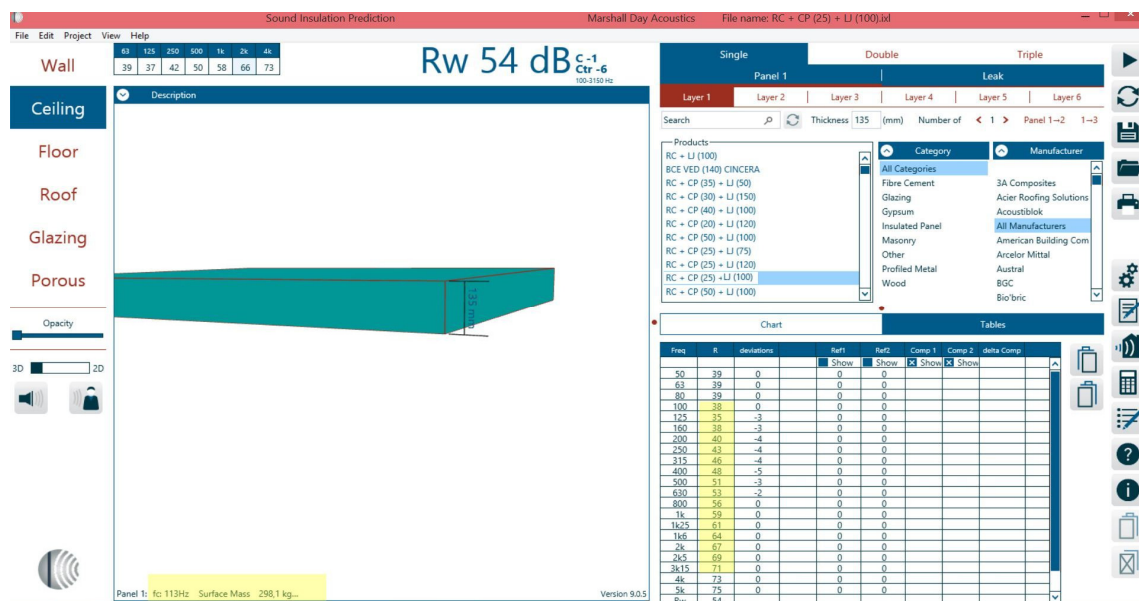
Fonte: REZENDE (2019)

Prosseguiu-se a modelagem carregando as informações de atribuição dos materiais dos sistemas construtivos, ou seja, as composições das vedações (paredes), pisos e lajes, a partir dos dados da modelagem realizada no software Insul. Portanto, foram importados do Insul os valores de ruídos de condução aérea  $R$ (dB) e ruídos de percussão  $L_w$  (dB) em decibéis, referentes à banda de gama padrão de um terço de oitava (frequência de 100 a 3150 Hz), os valores da massa específica ponderada em  $\text{kg/m}^2$ , da frequência crítica do elemento em Hz, a espessura de cada camada e a espessura total do elemento em mm e, por fim, foi informado ainda o valor

padronizado do fator de perdas internas de 0,01, ou seja, 1%, que são os dados de importação do Insul necessários para a atribuição das características dos sistemas no SONarchitect.

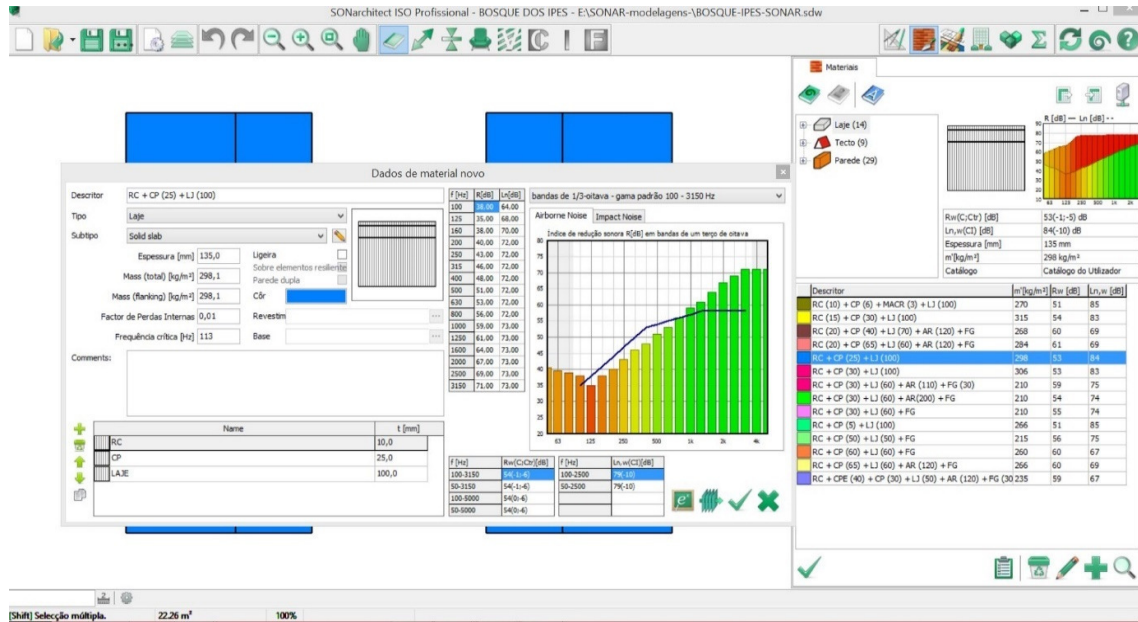
As Figuras 66 a 69 demonstram como foi feita a atribuição de materiais dessa fase da modelagem. Na Figura 66 está um exemplo de um sistema de piso de um dos casos de estudo em que os valores do Insul serão exportados para o SONarchitect, na Figura 67 está apresentado como tais valores são informados na fase de atribuição de materiais no SONarchitect e nas Figuras 68 e 69 estão outros exemplos da atribuição de materiais para sistemas de vedações e sistemas de pisos no SONarchitect.

**Figura 66 - Dados após modelagem de laje de piso através do Insul – imóvel I-10**



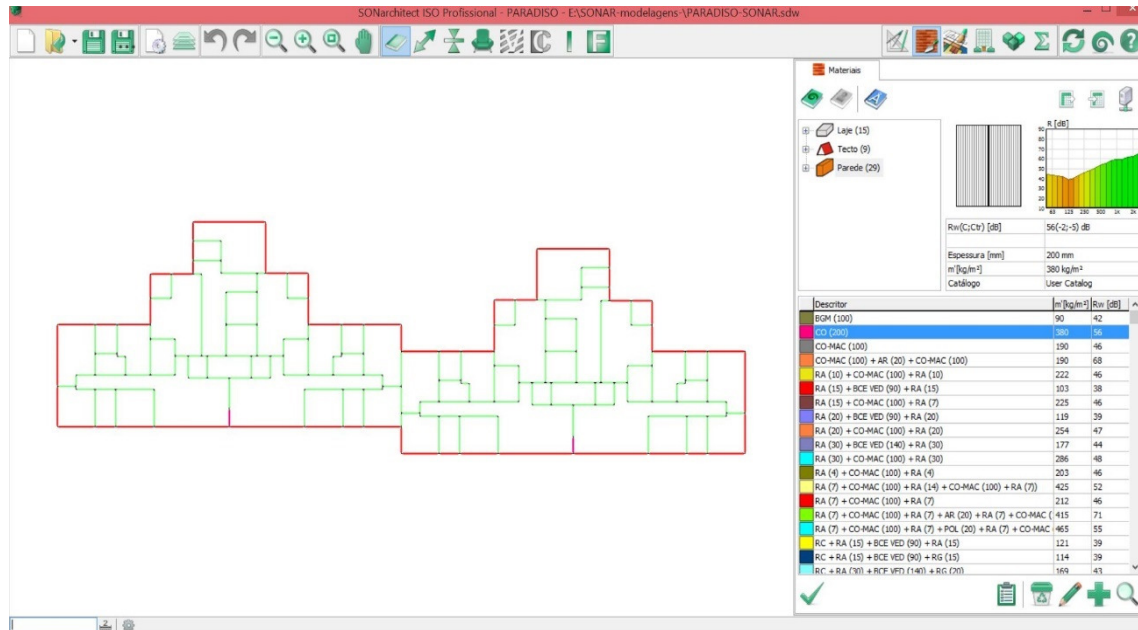
Fonte: REZENDE (2019)

Figura 67 - Atribuição de materiais em sistema de piso no SONArchitect - valores importados do Insul - imóvel I-10



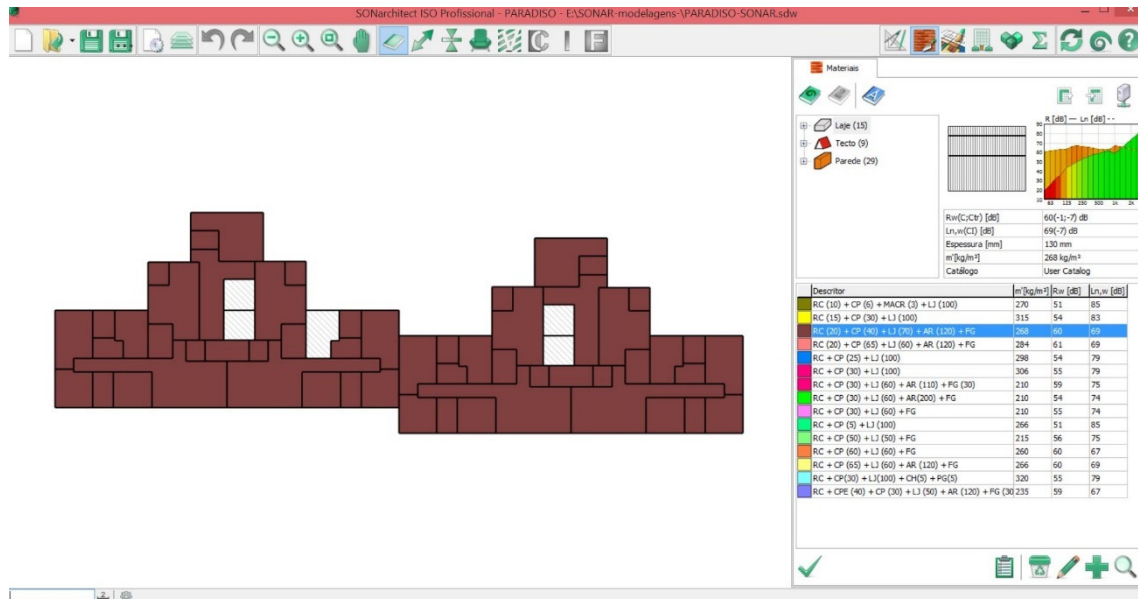
Fonte: REZENDE (2019)

Figura 68 - Atribuição dos materiais em sistemas de vedações (paredes) – imóvel I-9



Fonte: REZENDE (2019)

**Figura 69 - Atribuição dos materiais em sistemas de piso/laje – imóvel I-9**



Fonte: REZENDE (2019)

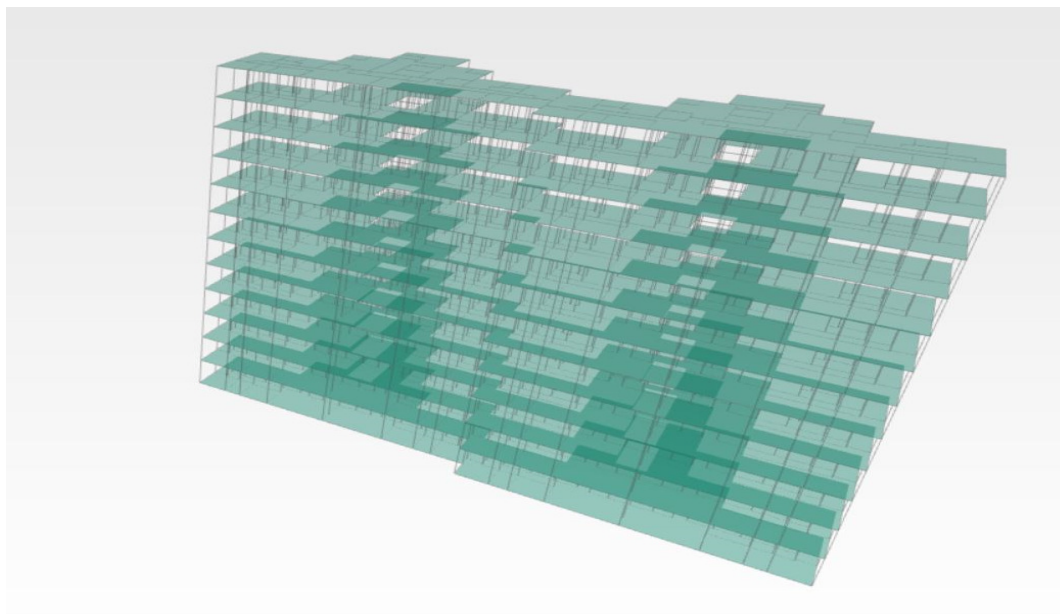
Como neste trabalho não foram avaliados os critérios dos sistemas das vedações externas (SVVE), não foram inseridas no programa as informações de esquadrias de fachadas, uma vez que estas informações poderiam não influenciar significativamente no cálculo da transmissão interna de ruído entre vedações internas e entrepisos, que foram os critérios restritos avaliados nesse trabalho.

Concluída a alimentação dos dados de caracterização do prédio, o programa estimou o isolamento acústico de todo o prédio, indicando, para todos os ambientes, os valores de transmissão acústica aérea e de impacto dos níveis de pressão sonora e os componentes e caminhos da transmissão dos ruídos. O programa ainda comparou o resultado da simulação acústica calculada com os valores de limites informados na configuração inicial, demonstrando os ambientes dentro ou fora desses limites de nível mínimo exigido pelo NBR 15575, através de cores verde e vermelha que significam, respectivamente se atenderam ou não ao exigido pela citada norma.

As Figuras 70 a 76 ilustram como são as plotagens do comportamento de desempenho acústico ao fim dessa fase de simulação computacional com o uso do SONArchitect. Estão exemplificadas como são apresentados os projetos modelados em 3 dimensões; como os pavimentos apresentam claramente, através da cor vermelha, os ambientes nos quais identificou-se valores desconforme em relação aos níveis mínimos da norma; como o programa

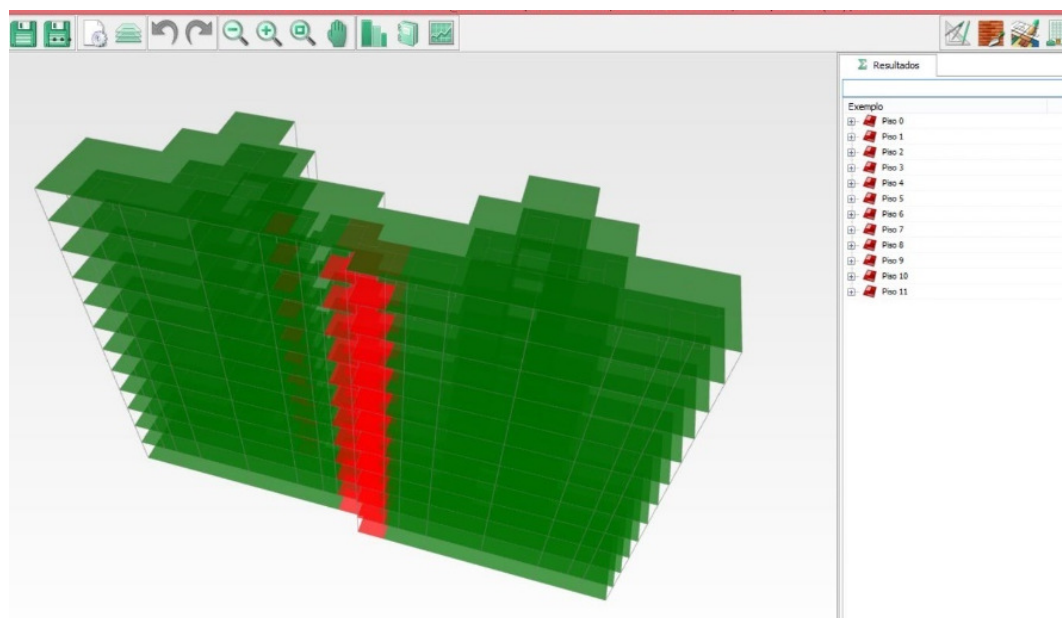
apresenta a análise acústica para cada ambiente, com sua relação com os recintos vizinhos no mesmo pavimento e entre pavimentos; os valores de isolamento sonora simulado e normatizado; e os relatórios e gráficos apresentados para cada tipo de ruído analisado.

**Figura 70 - Exemplo do projeto modelado em 3D – I-9**



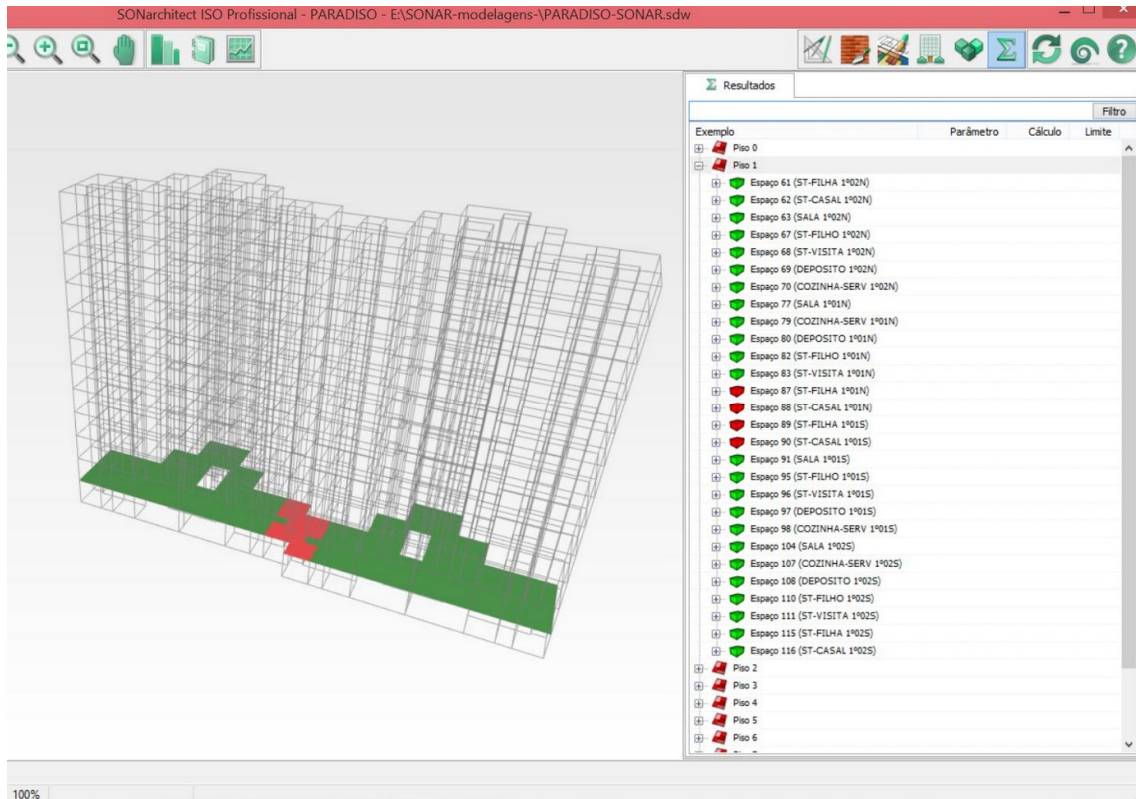
Fonte: REZENDE (2019)

**Figura 71 - Plotagem do comportamento acústico do projeto I-9**



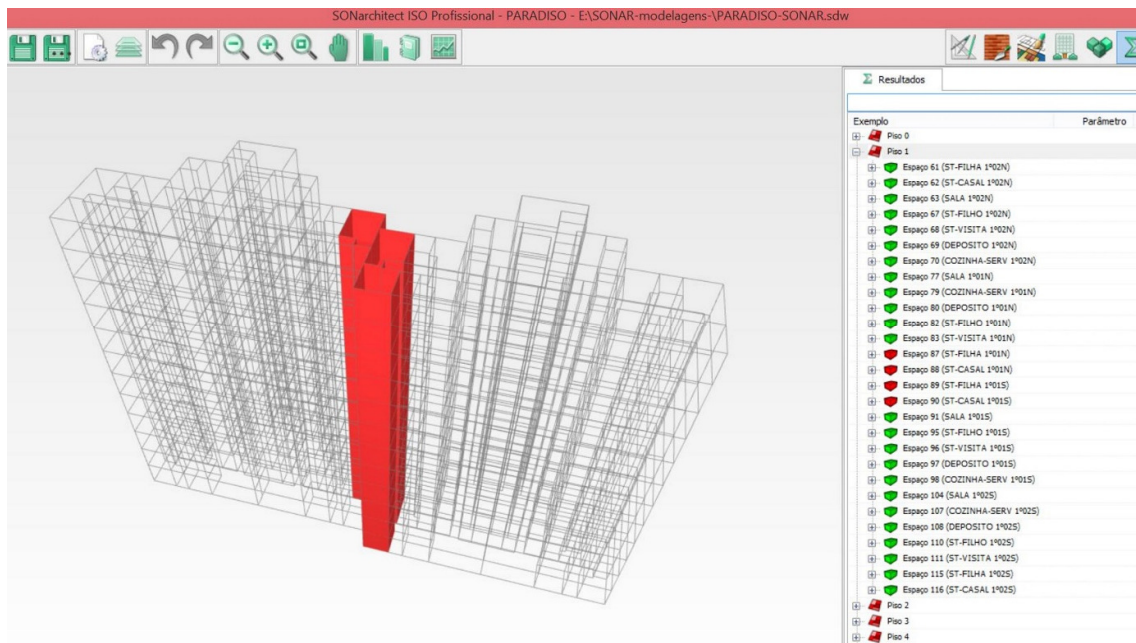
Fonte: REZENDE (2019)

**Figura 72 – Plotagem por pavimento com indicação de área de não atendimento ao nível mínimo da norma – I-9**



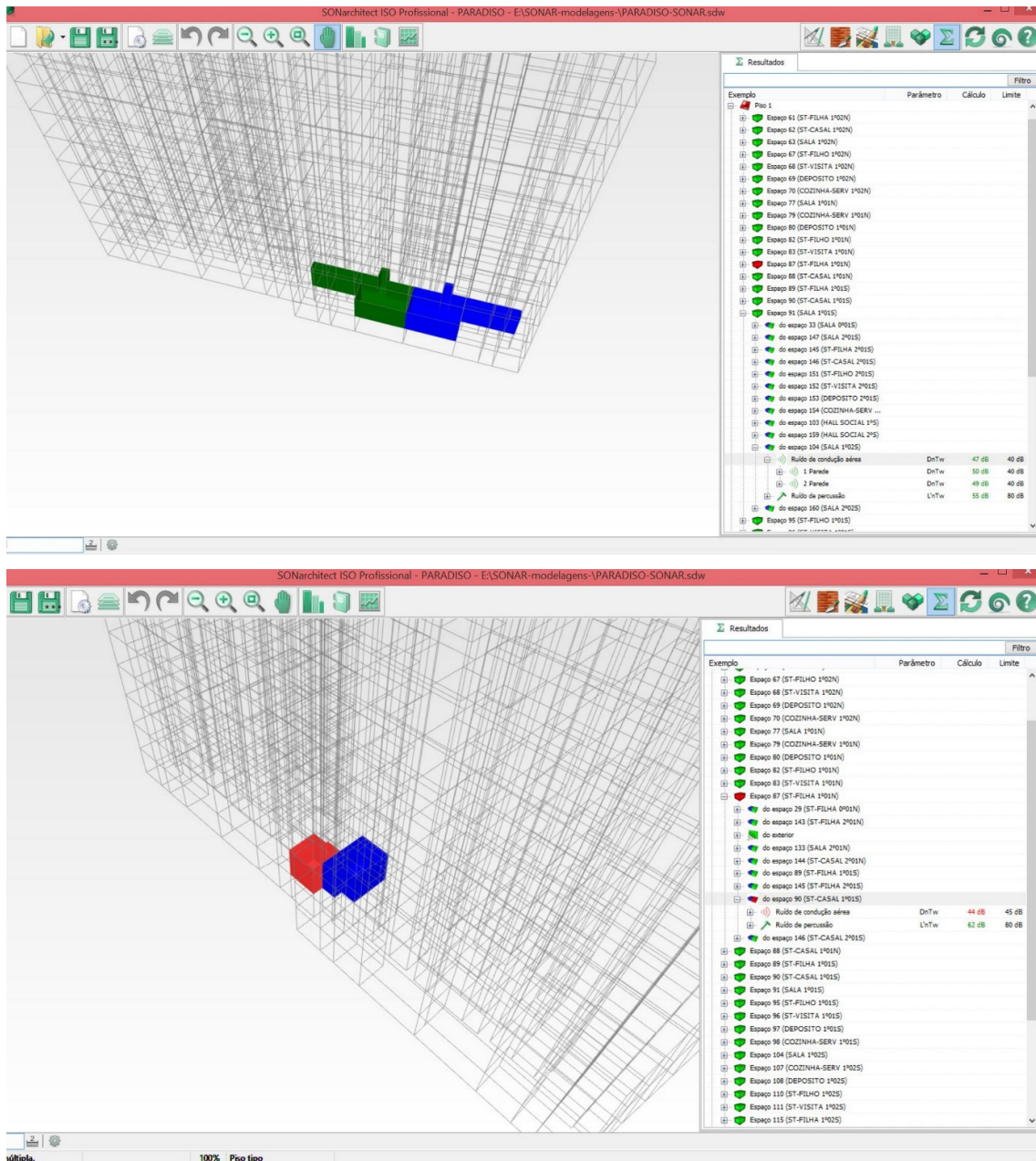
Fonte: REZENDE (2019)

**Figura 73 - Plotagem dos recintos não conformes em todo o prédio – I-9**



Fonte: REZENDE (2019)

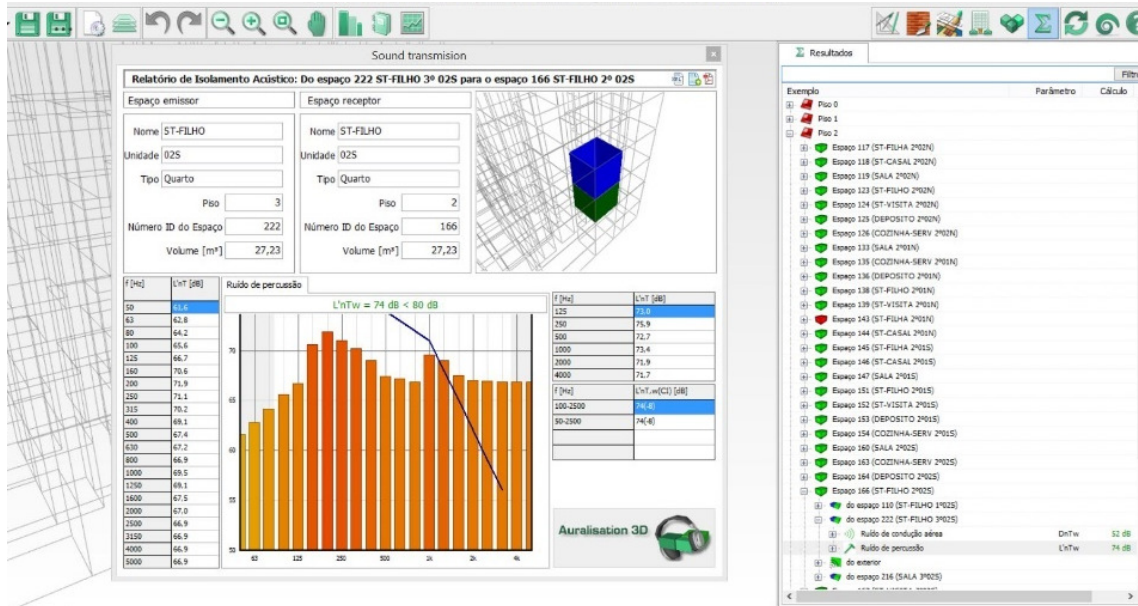
Figura 74 - Análise de ruído de condução aérea em paredes de geminação – I-9



Fonte: REZENDE (2019)

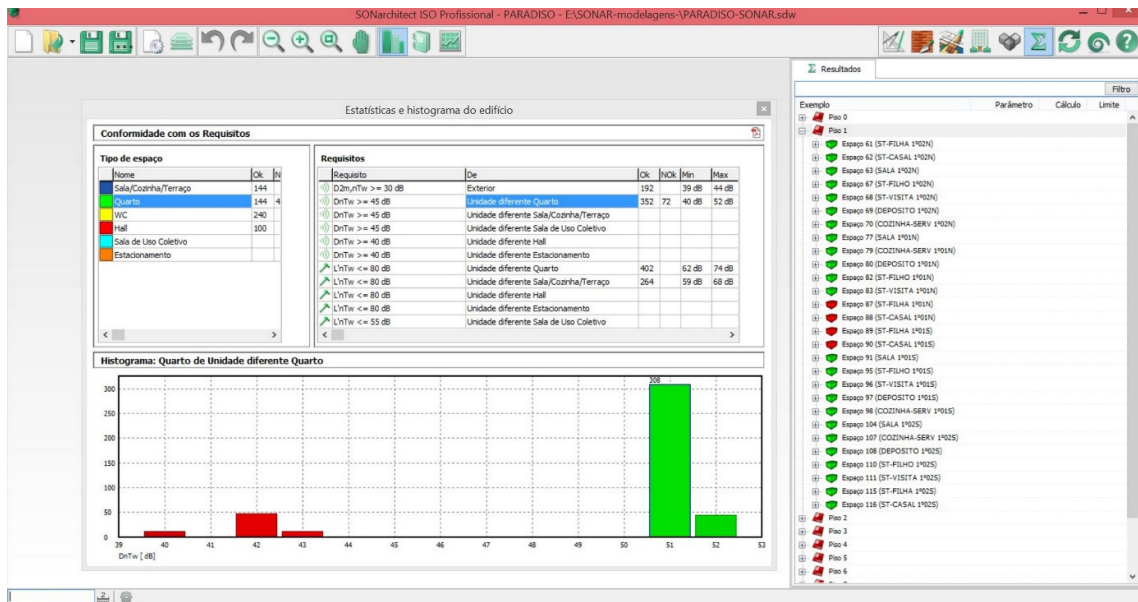


Figura 75 - Análise de ruído de impacto – I-9



Fonte: REZENDE (2019)

Figura 76 – Estatísticas e Histograma pelo programa de conformidade a Norma – I-9



Fonte: REZENDE (2019)

### 3.2.5. TABULAÇÃO DOS VALORES PARA ANÁLISE COMPARATIVA

Com a modelagem dos elementos, desenho e caracterização do projeto, foi feita a simulação computacional de desempenho acústico do prédio, demonstrando o comportamento acústico do imóvel pronto, sucedendo em resultados de desempenho acústico por ambiente, possibilitando a confrontação dos valores medidos e valores simulados.

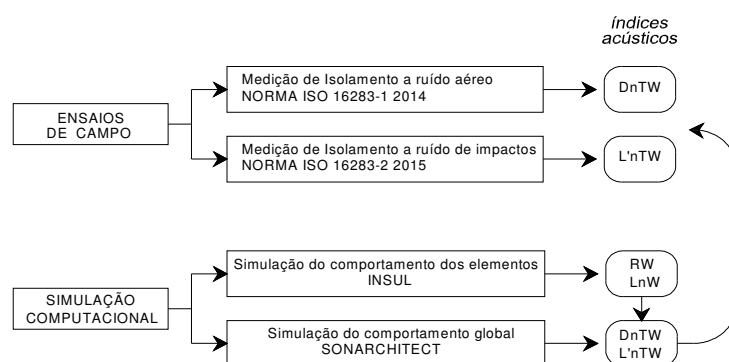
Do campo, obteve-se valores de redução sonora entre ambientes, no caso a diferença padronizada de nível ponderada do ruído aéreo de vedações verticais e horizontais ( $D_{nTW}$ ) e o nível de pressão sonora de impacto padrão ( $L'_{nT,W}$ ) entrepisos.

Das simulações computacionais, modeladas primeiramente no Insul, foi previsto o comportamento acústico de referência dos elementos construtivos de forma individual, com base nos projetos e fichas de especificações dos sistemas construtivos, sendo calculados os índices de atenuação sonora em relação aos ruídos aéreos ( $R_w$ ) e o nível de pressão sonora de impacto padrão para os ruídos de impacto ( $L_n'W$ ).

Os resultados de modelagem individual dos elementos foram usados no outro programa, o SONarchitect, para simular a situação global de desempenho acústico do prédio. Esta segunda modelagem permite simular o comportamento em campo do projeto, e os resultados apresentam os mesmos índices do campo, no caso a diferença padronizada de nível ponderada do ruído aéreo de vedações verticais e horizontais ( $D_{nTW}$ ) e o nível de pressão sonora de impacto padrão ( $L'_{nT,W}$ ), possibilitando assim confrontação dos valores medidos com os valores simulados.

A Figura 77 apresenta como os índices acústicos levantados, tanto dos ensaios de campo quanto das simulações, se relacionaram para permitir a avaliação comparativa do método de avaliação acústica, objeto desta pesquisa.

**Figura 77 - Índices levantados, simulados e comparados na pesquisa**



Fonte: REZENDE (2019)

Nessa fase final da metodologia adotada, procurou-se tabular os valores dos ensaios de campo, juntamente com os valores oriundos das simulações computacionais e em seguida calcular a diferença entre os valores encontrados, que denominamos como  $\Delta$  (dB), conforme modelo da Tabela 20.

**Tabela 2021 - Modelo utilizado para tabular e calcular a diferença entre valores de campo e valores simulados**

Ambiente avaliado	Critério (dB) (NBR 15575-4 e NBR 15575-3)	MEDIÇÕES DE CAMPO	SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL SONARCHITECT	$\Delta$ (dB) SC-MC
		Resultado (dB) $D_{nT,w}$ (ruído aéreo) $L'_{nT,w}$ (ruído impacto)	Resultado (dB) $D_{nT,w}$ (ruído aéreo) $L'_{nT,w}$ (ruído impacto)	
Emissão: Ambiente x	Mínimo: ___ a ___ Interm.: ___ a ___ Superior: $\geq$ ou $\leq$ ___	MC	SC	SC - MC
Recepção: Ambiente y		NA	NA	
		M	M	
		I	I	
		S	S	

Onde:

MC : valor medido em campo

SC : valor calculado por simulação computacional

$\Delta$ : SC – MC (Diferença = Simulação computacional – medição em campo)

Análises dos valores encontrados:

NA = Não Atende; M = Atende em nível mínimo; I = Atende em nível intermediário; S = Atende em nível superior

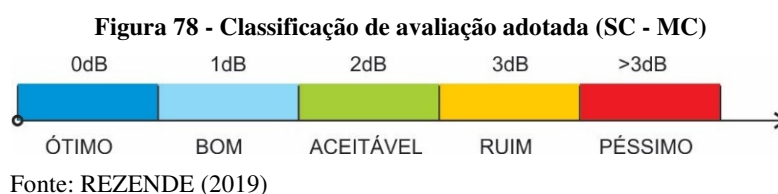
Fonte: REZENDE (2019)

De acordo com as diferenças encontradas, foram refeitas as simulações de alguns dos casos em que essa diferença (simulado *versus* medido) superou os 2dB<sup>19</sup>, com a função de avaliar se os procedimentos de modelagem influenciaram na assertividade dos valores encontrados nas simulações. Esses procedimentos incluíram variação de espessura de camadas de revestimento, espaço de ar entre laje e forro, inclusão de espaço de ar considerado com junta de dilatação entre torres, no caso entre vedações verticais, além de ajustes de propriedade de material construtivo para alguns dos casos, onde corrigiu-se fator de amortecimento ou densidade específica.

<sup>19</sup> Parâmetro adotado em função da incerteza da medição de campo prevista na NBR 16283, explicado adiante no item 3.3.

### 3.3. CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

A partir da comparação dos valores simulados com os valores medidos, e do cálculo da diferença em valores absolutos desses resultados, foram quantificados o percentual de valores cuja diferença entre o resultado da simulação e medição foi de 0dB, 1dB, 2dB, 3dB e acima de 3dB, respectivamente, criando uma escala de ótimo, bom, aceitável, ruim e péssimo, respectivamente, conforme classificação ilustrada na Figura 78. Significa essa classificação o quanto o valor simulado se aproxima do valor medido em campo.



Essa classificação “aceitável” adotada foi baseada na incerteza da medição, prevista na NBR16283 (ABNT, 2018), cujos cálculos feitos em algumas amostras<sup>20</sup>, resultaram num valor médio de aproximadamente  $\pm 2$ dB para tal incerteza.

Sendo assim, levando em consideração que o valor de medição pode variar numa faixa aceitável de  $\pm 2$ dB, adotou-se como “ótima” a situação em que não houve diferença entre os valores absolutos da simulação e da medição, como “bom” quando a diferença entre os valores foi na ordem de  $\pm 1$ dB, e como “aceitável” quando essa diferença chegou a  $\pm 2$ dB, significando que até 2dB existe a possibilidade dos valores de campo serem iguais ao simulado, por conta da faixa de incerteza da medição. Com a diferença de  $\pm 3$ dB, a amostra sai da faixa aceitável, com a simulação se distanciando  $\pm 1$ dB da faixa de incerteza da medição, classificando a amostra como “ruim”, e valores superiores a  $\pm 3$ dB foram identificados como “péssimos”, no sentido de que houve maior incompatibilidade na simulação em relação ao que seria medido em campo.

Após tais análises, pudemos filtrar aqueles resultados cujas divergências são extremas e analisar caso a caso tais discrepâncias, de modo a encontrar uma homogeneidade dos dados de comparação e avaliar quais parâmetros influenciaram tais resultados.

<sup>20</sup> Cálculo realizado através dos valores medidos em campo de recepção e reverberação nas frequências 100 a 3150 Hz por empresa especialista em medição acústica em algumas amostras e projetos, cujo resultado médio foi de  $\pm 2$ dB (empresa atuante no mercado na área de medições acústicas de campo, simulações e projetos acústicos em atendimento à norma de desempenho). Modelo do cálculo constante no Apêndice B.

## 4. Descrição dos Estudos de Casos

Neste trabalho foram abordados 14 estudos de caso, todos edifícios habitacionais multifamiliares. O sistema construtivo adotado para as vedações internas variou entre bloco cerâmico de vedação, bloco de concreto de vedação e parede de concreto maciça; para os sistemas de piso, os projetos apresentaram lajes de concreto do tipo alveolar/nervurada ou lajes de concreto do tipo maciça. A Tabela 21 apresenta os materiais e sistemas construtivos dos casos de estudo, além da quantidade de avaliações realizadas; as siglas adotadas para identificação das simulações desse trabalho estão identificadas na Tabela 22.

**Tabela 22 - Sistemas construtivos simulados dos estudos de caso**

IMÓVEL	SVVI	SVH	QUANT. ANÁLISES REALIZADAS		
			SVVI	SVH--RA	SVH-RI
I-1	RG (15) + BCE (90) + RG (15)	RC (10) + CP (50) + LJ (50) + AR (60) + FG (20) RC (15) + CP (25) + LJ (50) + AR (100) + FG (20)	2	8	4
I-2	RA (15) + BCE (140) + RA (15)	RC (10) + CP (50) + LJ (50) + AR (100) + FG (20) RC (10) + CP (50) + LJ (50) + AR (200) + FG (20)	7	10	5
I-3	RG (20) + BCE (140) + RG (20) RG (20) + BCE (140) + RA (30) + RG(20)	RC (10) + CP (70) + LJ (60) + AR (260) + FG (20) RC (10) + CP (60) + LJ (60) + AR (260) + FG (20)	14	7	7
I-4	RA (15) + BCE (90) + RA (15)	RC (10) + CP (30) + LJ (60) + AR (110) + FG (20) RC (10) + CP (30) + LJ (60) + AR (200) + FG (20)	3	4	4
I-5	RA (15) + BCE (90) + RA (15)	RC (10) + CP (30) + LJ (60) + AR (100) + FG (30) RC (10) + CP (30) + LJ (60) + AR (100) + FG (20)	1	3	3
I-6	RG (15) + BCE (140) + RG (15)	RC (20) + CP (35) + LJ (60) + AR (200) + FG (20)	8	20	20
I-7	RA (20) + BCE (90) + RA (20)	RC (20) + CP (65) + LJ (60) + AR (120) + FG (20)	3	10	10
I-8	RA (30) + BCE (140) + RA (30)	RC (10) + CPE (40) + CP (30) + LJ (50) + AR (120) + FG (20) RC (10) + CP (70) + LJ (50) + AR (120) + FG (20)	4	8	8
I-9	RG (20) + BCO (140) + RG (20)	RC (20) + CP (40) + LJ (70) + AR (120) + FG (20)	5	8	8
I-10	RG (5) + CON (100) + RG (5)	RC (10) + CP (25) + LJM (100)	6	8	8
I-11	RA (20) + CON (100) + RA (20)	RC (10) + CP (30) + LJM (100)	4	8	8
I-12	RA (7) + CON (100) + RA (7)	RC (10) + CP (5) + LJM (100)	8	8	8
I-13	CON (100)	RC (15) + CP (30) + LJM (100)	4	6	6
I-14	RA (4) + CON (100) + RA (4)	RC (10) + CP (5) + LJM (100) RC (15) + LJM (100)	6	8	3
<b>TOTAL DE AVALIAÇÕES REALIZADAS</b>			<b>75</b>	<b>116</b>	<b>102</b>

Fonte: REZENDE (2019)

**Tabela 23 – Identificação dos materiais e sistemas construtivos simulados**

<b>SIGLA</b>	<b>MATERIAL / COMPONENTE</b>
BCE VED 90	Bloco cerâmico de vedação 90mm
BCE VED 140	Bloco cerâmico de vedação 140mm
BCO VED 140	Bloco de concreto de vedação 140mm
BGV	Bloco gesso vazado 5mm
BGM / FG	Bloco gesso maciço / Forro de gesso
CON	Parede em concreto maciço
RA	Revestimento em argamassa cimentícia
RG	Revestimento em pasta de gesso
RC	Revestimento cerâmico
CP	Contrapiso
LJ	Laje concreto nervurada (só capeamento)
LJM	Laje concreto maciça
CPE	Contrapiso especial – traço isofloc
MAF	Manta asfáltica c/ acab. resina acrílica
AR	Espaço de ar

Fonte: REZENDE (2019)

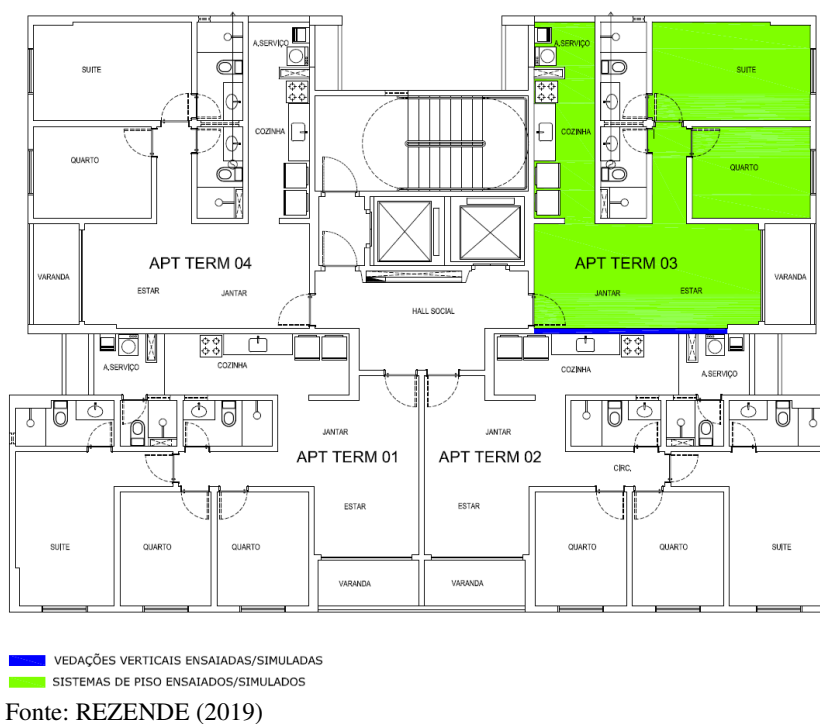
Como nesse estudo não foram avaliados os critérios normativos do desempenho acústico de isolamento ao ruído aéreo dos sistemas de vedações externas (SVVE), restringindo o escopo à verificação dos valores do isolamento ao ruído aéreo de vedações verticais internas (SVVI), valores do isolamento ao ruído aéreo de vedações horizontais (SVH-RA) e valores de isolamento aos ruídos de impacto (SVH-RI), não foi apresentada no resumo da Tabela 20 a caracterização dos sistemas das vedações externas e quantidade de medições SVVE, uma vez que tais dados não foram analisados, no entanto, nas descrições individuais dos casos de estudo, a partir do subitem 4.1, serão citadas quais sistemas das vedações verticais externas foram utilizadas pelos respectivos imóveis, para melhor caracterização global de cada projeto e porque tais dados foram utilizados como informações de entrada nas simulações computacionais, mesmo não sendo analisado o desempenho acústico de tais sistemas (SVVE).

A escolha dos andares para os ensaios de campo em cada empreendimento foi definida ao acaso pela disponibilidade da construtora, uma vez que os empreendimentos estavam na fase de entrega da obra, logo os ensaios foram feitos nos andares disponíveis para cada imóvel estudado.

#### 4.1. IMÓVEL I-1

O imóvel I-1 é um empreendimento localizado na cidade de Recife/PE, composto por 2 torres residenciais, com 22 pavimentos tipo por torre, sendo 4 apartamentos por pavimento, com área de 62,63m<sup>2</sup> e 74,64m<sup>2</sup> por apartamento. Cada unidade habitacional possui 2 ou 3 quartos, sendo 1 suíte, sala de estar/jantar, cozinha e área de serviço, como pode ser observado na planta baixa reproduzida na Figura 79.

**Figura 79 - Planta baixa tipo do imóvel I-1: vedação vertical avaliada**



Os ensaios de isolamento sonoro foram realizados em apartamentos do 21º e 20º pavimentos tipo, em vedações internas entre os sistemas de cozinha e sala, e para os sistemas de piso entre salas, cozinha e dormitórios, conforme indicado através das marcações em azul e verde na planta padrão do imóvel da Figura 79.

O sistema construtivo adotado por esse empreendimento para as vedações verticais internas foi de bloco cerâmico de 9,0cm, com revestimento em pasta de gesso de 1,5cm em cada lado, sendo nas áreas molhadas adotado revestimento cerâmico com camada de argamassa cimentícia de 1,5cm. Para a vedação vertical externa foi adotado bloco cerâmico de vedação de 9,0cm com revestimento de gesso de 1,5cm no lado interno e emboço de 4,0cm com revestimento cerâmico

no lado externo. O sistema de piso adotado foi de laje nervurada em concreto armado, com capeamento de espessura de 5,0cm, acrescido de contrapiso de 2,5cm de espessura e revestimento cerâmico. O teto apresenta forro de gesso de 2,0cm de espessura, afastado 20,0cm do fundo da nervura, o qual denomina-se espaço de ar. O pé esquerdo adotado pelo projeto, que é a distância entre pisos, foi de 3,00m.

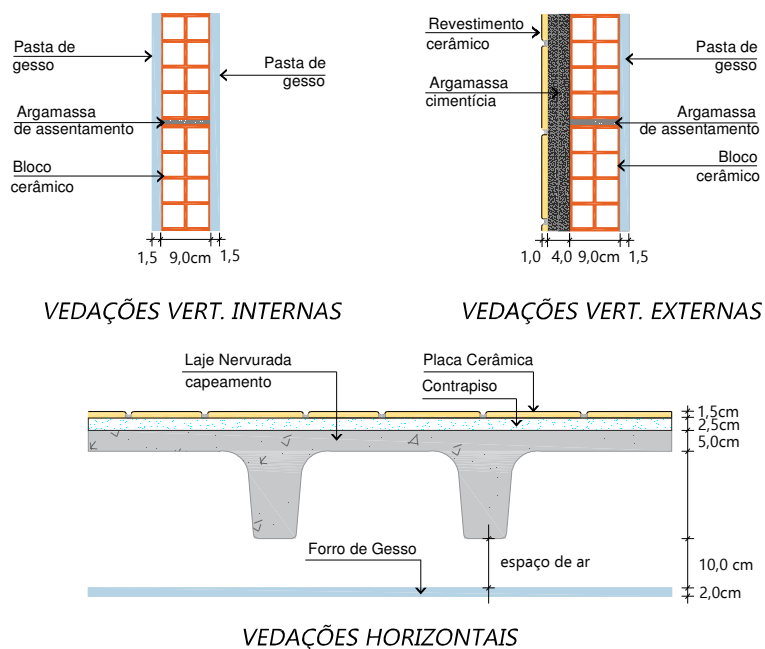
O sistema construtivo das vedações adotado pelo empreendimento I-1 está apresentado de forma resumida no Quadro 1 e no esboço da Figura 80.

**Quadro 1 - Sistema Construtivo das vedações do imóvel I-1**

<b>Vedação Vertical Interna</b> (entre unidades)	Pasta de gesso 1,5cm + Bloco cerâmico de vedação 9,0cm + Pasta de Gesso 1,5cm
<i>Ambientes molháveis</i>	Pasta de gesso 1,5cm + Bloco cerâmico de vedação 9,0cm + Emboço 1,5cm + Cerâmica
<b>Vedação Vertical Externa</b>	Pasta de gesso 1,5cm + Bloco cerâmico de vedação 9,0cm + Emboço 4,0cm + Cerâmica (0,5cm placa + 0,5cm argamassa colante)
<b>Vedação Horizontal</b>	Cerâmica (1,0cm placa + 1,0cm argamassa colante) + Contrapiso 2,5 cm + Laje nervurada 5,0cm (capeamento) + forro de gesso (espaço de ar 20,0cm)

Fonte: REZENDE (2019)

**Figura 80 – Esboço dos sistemas construtivos das vedações do imóvel I-1**



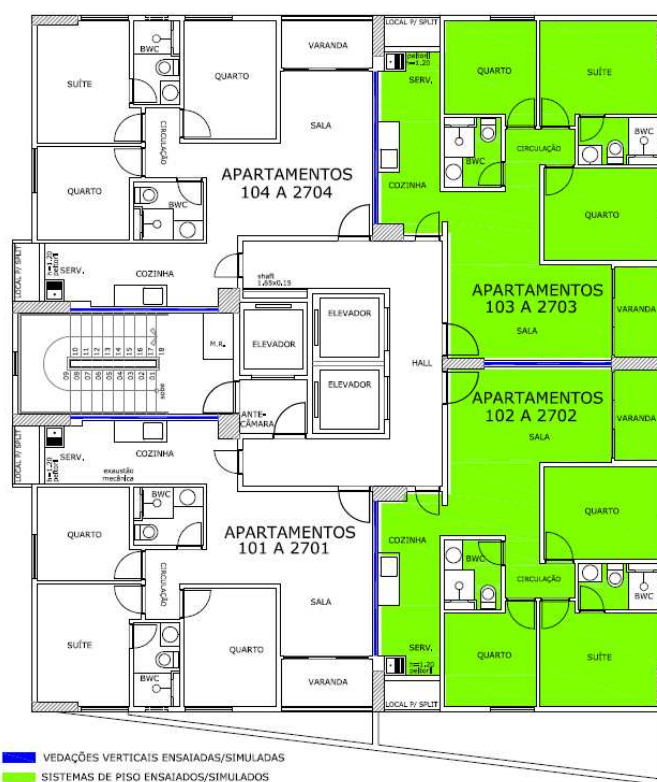
Fonte: REZENDE (2019)



## 4.2. IMÓVEL I-2

O imóvel I-2 é um empreendimento localizado na cidade de Recife/PE, com 27 pavimentos tipo, sendo 4 apartamentos por pavimento, com área de 61,20m<sup>2</sup> por apartamento de terminações 01 e 04, e 61,08m<sup>2</sup> para os apartamentos de terminações 02 e 03. Cada unidade habitacional possui 2 quartos, 1 suíte, sala de estar/jantar, cozinha/área de serviço, banheiro social e varanda, como pode ser observado na Figura 81.

Figura 81 - Planta padrão tipo do imóvel I-2: detalhe dos locais de realização dos ensaios



Fonte: REZENDE (2019)

Os ensaios de isolamento sonoro foram realizados em apartamentos do 1º, 2º e 7º pavimentos tipo, em vedações internas entre os sistemas de cozinha e sala, entre cozinha e escada e entre salas, e para os sistemas de piso entre salas, cozinha e dormitórios, conforme indicado através das marcações em azul e verde na planta padrão do imóvel da Figura 81.

Para as vedações verticais internas, foi utilizado bloco cerâmico de 14,0cm, com revestimento em argamassa cimentícia de 1,5cm em cada lado. Para a vedação vertical externa foi adotado bloco cerâmico de vedação de 14,0cm com revestimento em argamassa cimentícia de 1,5cm pelo lado interno e pelo lado externo, argamassa de 3,5cm, acrescido de revestimento cerâmico. O sistema de piso adotado foi constituído de laje nervurada em concreto armado, com capeamento de espessura de 5,0cm, acrescido de contrapiso em argamassa cimentícia de 5,0cm de espessura. O teto apresenta forro de gesso de 2,0cm de espessura, afastado 20,0cm do fundo da nervura, denominado de espaço de ar. O pé esquerdo adotado pelo projeto, que é a distância entre pisos, foi de 3,00m.

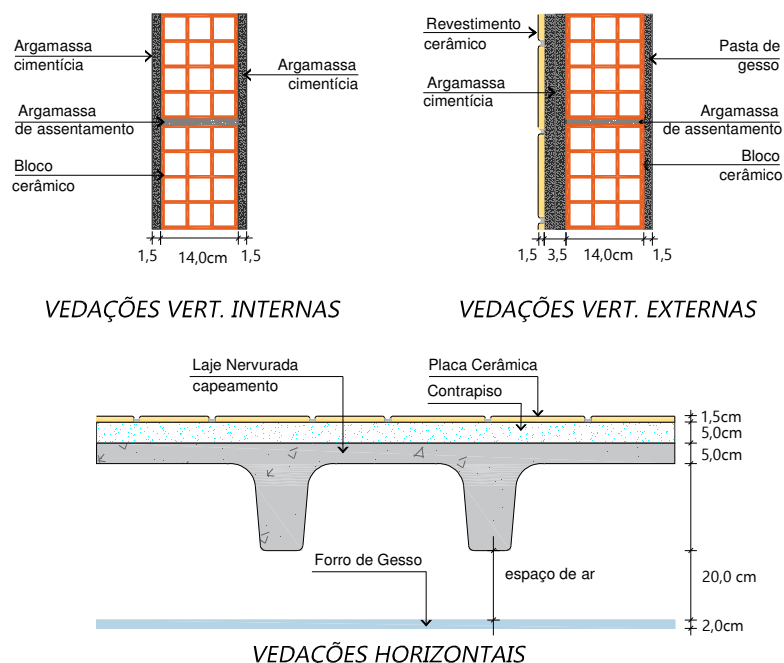
O sistema construtivo das vedações adotado pelo empreendimento I-2 está apresentado de forma resumida no Quadro 2 e no esboço da Figura 82.

**Quadro 2 - Sistema Construtivo das vedações do imóvel I-2**

<b>Vedação Vertical Interna (entre unidades)</b>	Argamassa cimentícia 1,5cm + Bloco cerâmico de vedação 14,0cm + argamassa cimentícia 1,5cm
<b>Vedação Vertical Externa</b>	Argamassa cimentícia 1,5cm + Bloco cerâmico de vedação 14,0cm + argamassa cimentícia 3,5cm + cerâmica 1,5cm
<b>Vedação Horizontal</b>	Contrapiso 5,0cm + laje nervurada 5,0cm (capeamento) + forro de gesso (espaço de ar 20,0cm)

Fonte: REZENDE (2019)

**Figura 82 - Esboço dos sistemas construtivos das vedações do imóvel I-2**

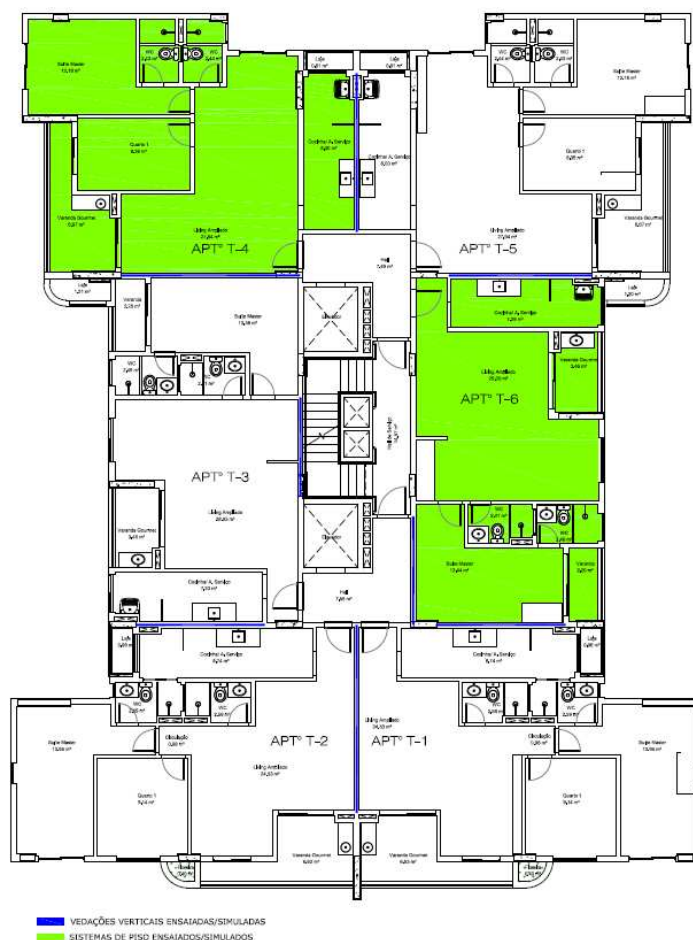


Fonte: REZENDE (2019)

### 4.3. IMÓVEL I-3

O imóvel I-3 é um empreendimento localizado na cidade de Aracaju/SE, composto por 2 torres com 5 pavimentos tipo por torre. Cada pavimento tipo possui 6 unidades habitacionais, sendo 2 unidades com área de 80,00m<sup>2</sup>, 2 unidades com área de 71,83m<sup>2</sup> e outras 2 unidades com 79,55m<sup>2</sup>. Cada unidade habitacional possui 2 e 3 quartos, sendo 1 suíte, sala de estar/jantar, cozinha/área de serviço, banheiro social e varanda, como pode ser observado na Figura 83.

Figura 83 - Planta padrão tipo do imóvel I-3: detalhe dos locais de realização dos ensaios



Fonte: REZENDE (2019)

Os ensaios de isolamento sonoro foram realizados em apartamentos do 5º e 6º pavimentos tipo, em vedações internas entre os sistemas de cozinha, entre cozinha e sala, entre salas, entre cozinha e dormitório, entre sala e dormitório, entre dormitório e área comum de trânsito eventual (no caso, hall) e entre sala e área de trânsito eventual (no caso, hall), e para os sistemas

de piso os ensaios foram entre salas e dormitórios, conforme indicado através das marcações em azul e verde na planta padrão do imóvel da Figura 83.

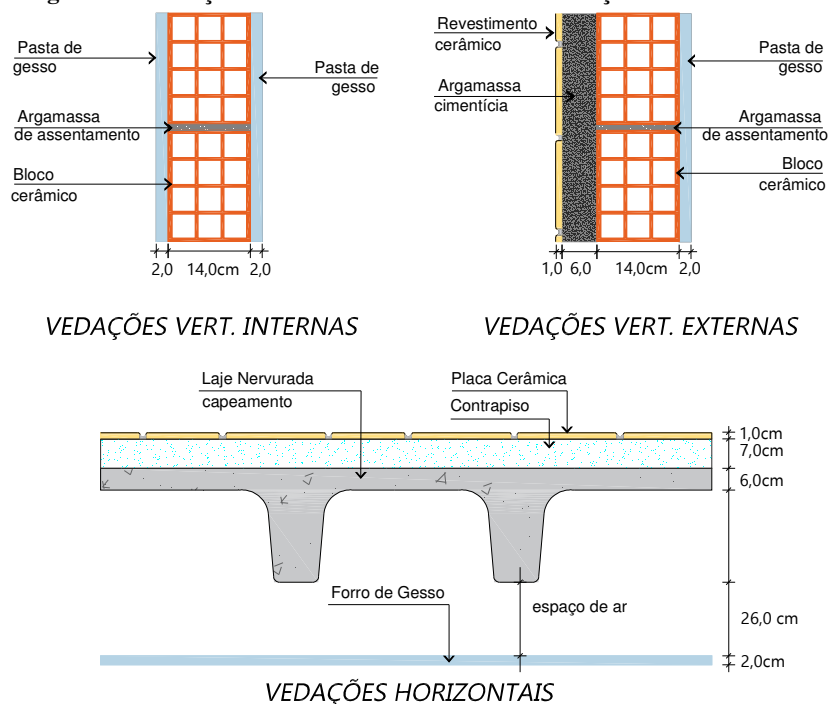
O sistema construtivo das vedações adotado pelo empreendimento I-3 está apresentado de forma resumida no Quadro 3 e no esboço da Figura 84. O pé esquerdo adotado pelo projeto, que é a distância entre pisos, foi de 3,23m.

**Quadro 3 - Sistema Construtivo das vedações do imóvel I-3**

<b>Vedação Vertical Interna (entre unidades)</b>	Pasta de gesso 2,0cm + Bloco cerâmico de vedação 14,0cm + pasta de gesso 2,0cm
<i>Ambientes molháveis</i>	Pasta de gesso 2,0cm + Bloco cerâmico de vedação 14,0cm + argamassa única de cimento 3,0cm + argamassa colante 0,5cm + cerâmica 0,5cm
<b>Vedação Vertical Externa</b>	Pasta de gesso 2,0cm + Bloco cerâmico de vedação 14,0cm + chapisco 0,5cm + camada única estruturante 5,5 cm + argamassa colante 0,5cm + cerâmica 0,5cm
<b>Vedação Horizontal</b>	Placa cerâmica 0,5cm + argamassa colante 0,5cm + Contrapiso 7,0cm + laje nervurada 6,0cm (capeamento) + forro de gesso (espaço de ar 26,0cm)

Fonte: REZENDE (2019)

**Figura 84 - Esboço dos sistemas construtivos das vedações do imóvel I-3**



Fonte: REZENDE (2019)

#### 4.4. IMÓVEL I-4

O imóvel I-4 é um empreendimento localizado na cidade de João Pessoa/PB, com 18 pavimentos tipo, sendo 4 unidades habitacionais por pavimento. Uma das unidades do pavimento tem área de 75,62m<sup>2</sup>, outra tem área de 76,44m<sup>2</sup> e as duas unidades restantes do pavimento tem área de 63,00m<sup>2</sup>. Cada unidade habitacional possui 2 e 3 quartos, sendo em ambos os casos 1 suíte, sala de estar/jantar, cozinha/área de serviço, banheiro social e varanda, como pode ser observado na Figura 85.

Figura 85 - Planta padrão tipo do imóvel I-4: detalhe dos locais de realização dos ensaios



Fonte: REZENDE (2019)

Os ensaios de isolamento sonoro foram realizados em apartamentos do 16º e 17º pavimentos tipo, em vedações internas entre os sistemas de salas, entre cozinha e dormitório e entre dormitório e área de trânsito eventual (no caso, escada), e para os sistemas de piso os ensaios

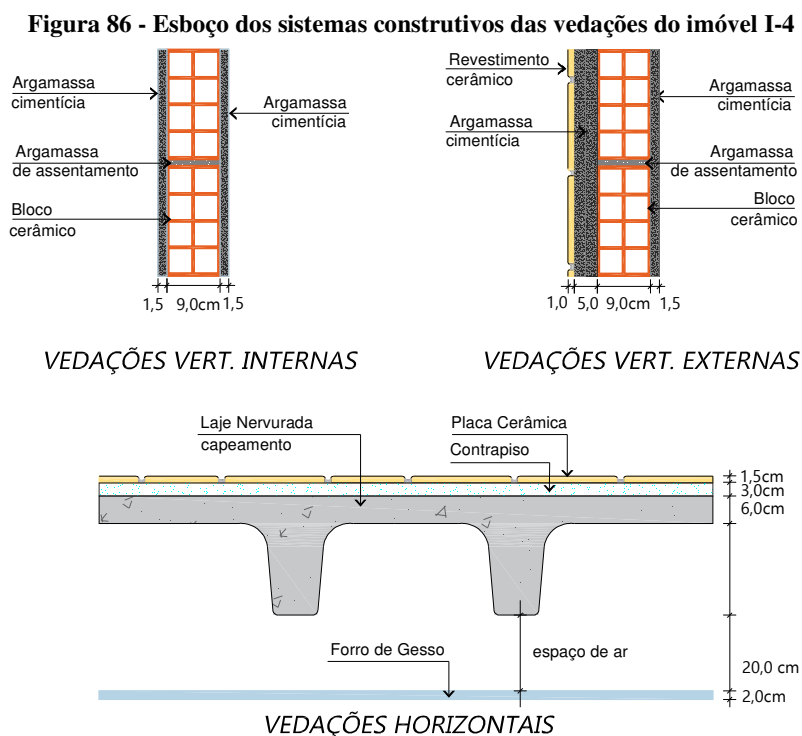
foram entre salas, cozinhas e dormitórios, conforme indicado através das marcações em azul e verde na planta padrão do imóvel da Figura 85.

O sistema construtivo das vedações adotado pelo empreendimento I-4 está apresentado de forma resumida no Quadro 4 e no esboço da Figura 86. O pé esquerdo adotado pelo projeto, que é a distância entre pisos, foi de 2,89m.

**Quadro 4 - Sistema Construtivo das vedações do imóvel I-4**

<b>Vedação Vertical Interna (entre unidades)</b>	Argamassa cimentícia 1,5cm + Bloco cerâmico de vedação 9,0cm + argamassa cimentícia 1,5cm
<i>Ambientes molháveis</i>	Argamassa cimentícia 1,5cm + Bloco cerâmico de vedação 9,0cm + argamassa cimentícia 1,5cm + argamassa colante 0,5cm + cerâmica 0,5cm
<b>Vedação Vertical Externa</b>	Argamassa cimentícia 1,5cm + Bloco cerâmico de vedação 9,0cm + chapisco 0,5cm + argamassa cimentícia 4,5cm + argamassa colante 0,5cm + cerâmica 0,5cm
<b>Vedação Horizontal</b>	Placa cerâmica 0,5cm + argamassa colante 0,5cm + contrapiso 3,0cm + laje nervurada 6,0cm (capeamento) + forro de gesso (espaço de ar 20,0cm)

Fonte: REZENDE (2019)

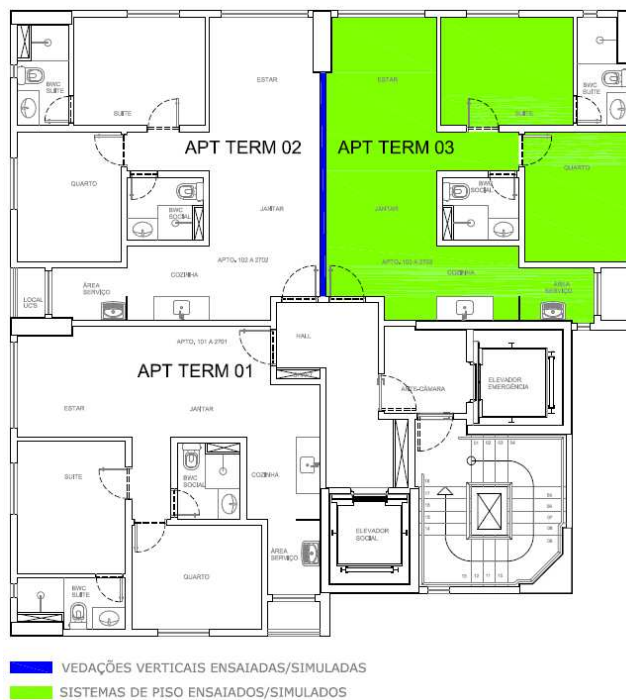


Fonte: REZENDE (2019)

#### 4.5. IMÓVEL I-5

O imóvel I-5 é um empreendimento localizado na cidade de Recife/PE, composto de 1 torre com 31 pavimentos tipo, sendo 3 apartamentos por pavimento, com área de 49,24 m<sup>2</sup> para o apartamento terminação 01, área de 50,14m<sup>2</sup> para o apartamento de terminação 02 e área de 50,20m<sup>2</sup> para o de terminação 03. Cada unidade habitacional possui 2 quartos, sendo um deles suíte, sala de estar/jantar, cozinha/área de serviço e banheiro social, como pode ser observado na Figura 87.

**Figura 87 - Planta padrão tipo do imóvel I-5: detalhe dos locais de realização dos ensaios**



Fonte: REZENDE (2019)

Os ensaios de isolamento sonoro foram realizados em apartamentos do 1º e 2º pavimentos tipo, em vedações internas entre os sistemas de salas, e para os sistemas de piso os ensaios foram entre salas e dormitórios, conforme indicado através das marcações em azul e verde na planta padrão do imóvel da Figura 87.

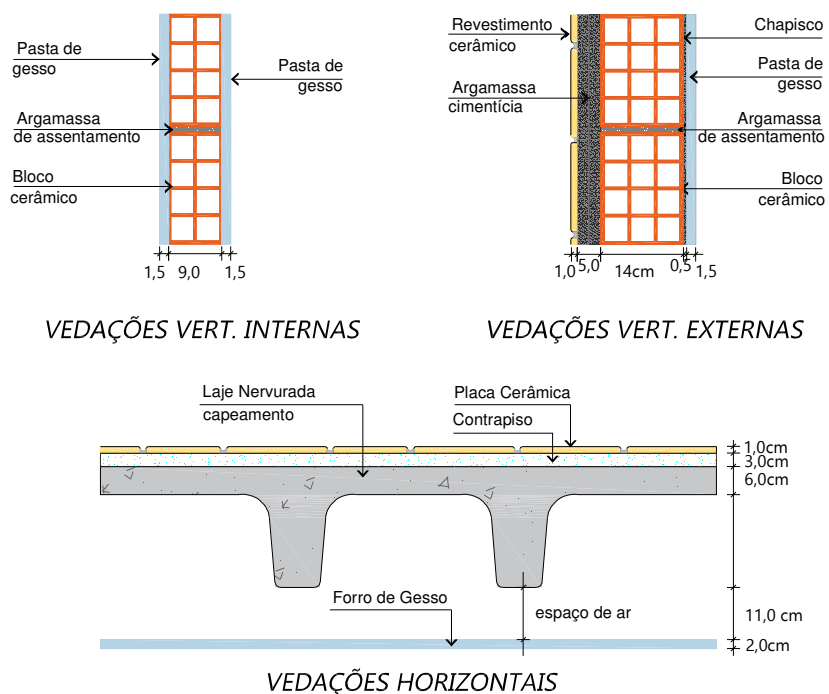
O sistema construtivo das vedações adotado pelo empreendimento I-5 está apresentado de forma resumida no Quadro 5 e no esboço da Figura 88. O pé esquerdo adotado pelo projeto, que é a distância entre pisos, foi de 3,00m.

**Quadro 5 - Sistema Construtivo das vedações do imóvel I-5**

<b>Vedação Vertical Interna</b> (entre unidades)	Pasta de gesso 1,5cm + Bloco cerâmico de vedação 9,0cm + pasta de gesso 1,5cm
<b>Vedação Vertical Externa</b>	Pasta de gesso 1,5cm + chapisco 0,5cm + Bloco cerâmico de vedação 14,0cm + argamassa cimentícia 5,0cm + argamassa colante 0,5cm + cerâmica 0,5cm
<b>Vedação Horizontal</b>	Placa cerâmica 0,5cm + argamassa colante 0,5cm + contrapiso 3,0cm + laje nervurada 6,0cm (capeamento) + forro de gesso (espaço de ar 11,0cm)

Fonte: REZENDE (2019)

**Figura 88 - Esboço dos sistemas construtivos das vedações do imóvel I-5**



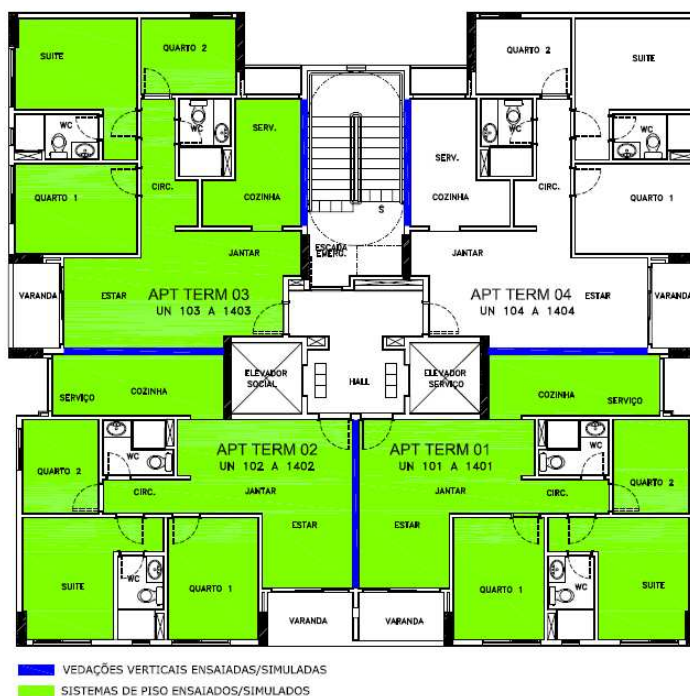
Fonte: REZENDE (2019)



#### 4.6. IMÓVEL I-6

O imóvel I-6 é um empreendimento localizado na cidade de Recife/PE, composto de 1 torre com 14 pavimentos tipo, sendo 4 apartamentos por pavimento, 2 unidades com área de aproximadamente 64,94 m<sup>2</sup> e as outras 2 unidades com área de 62,54 m<sup>2</sup>. Cada unidade habitacional possui 3 quartos, sendo 1 suíte, sala de estar/jantar, cozinha/área de serviço, banheiro social e varanda, como pode ser observado na Figura 89.

Figura 89 - Planta padrão tipo do imóvel I-6: detalhe dos locais de realização dos ensaios



Fonte: REZENDE (2019)

Os ensaios de isolamento sonoro foram realizados em apartamentos do 1<sup>o</sup>, 2<sup>o</sup> e 3<sup>o</sup> pavimentos tipo, em vedações internas entre os sistemas de salas, entre cozinha e sala e entre cozinha e área de trânsito eventual (no caso, escada), e para os sistemas de piso os ensaios foram entre salas, cozinhas e dormitórios, conforme indicado através das marcações em azul e verde na planta padrão do imóvel da Figura 89.

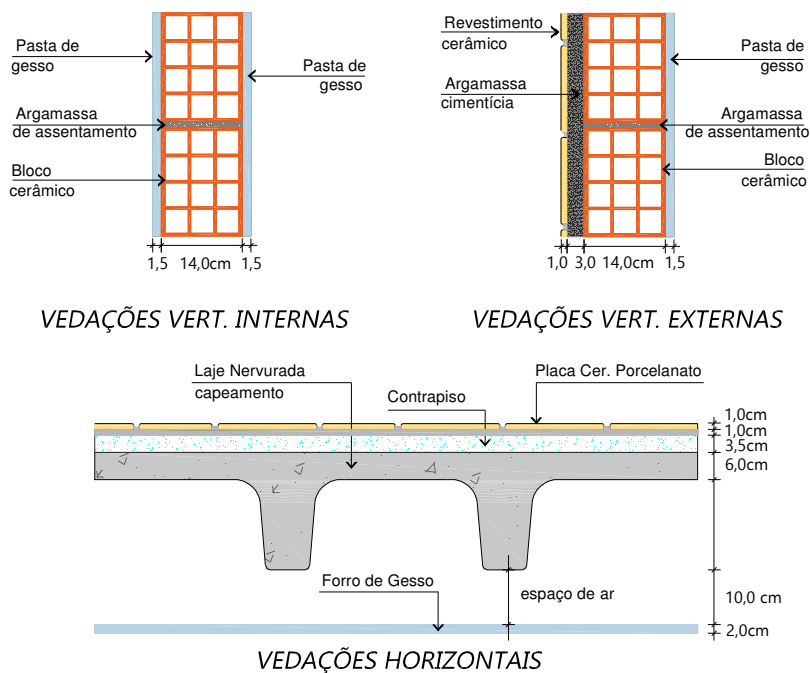
O sistema construtivo das vedações adotado pelo empreendimento I-6 está apresentado de forma resumida no Quadro 6 e no esboço da Figura 90. O pé esquerdo adotado pelo projeto, que é a distância entre pisos, foi de 3,02m.

**Quadro 6 - Sistema Construtivo das vedações do imóvel I-6**

<b>Vedação Vertical Interna</b> (entre unidades)	Pasta de gesso 1,5cm + Bloco cerâmico de vedação 14,0cm + pasta de gesso 1,5cm
<b>Vedação Vertical Externa</b>	Pasta de gesso 1,5cm + Bloco cerâmico de vedação 14,0cm + argamassa cimentícia 3,0cm + argamassa colante 0,5cm + cerâmica 0,5cm
<b>Vedação Horizontal</b>	Porcelanato 1,0cm + argamassa colante 1,0cm + contrapiso 3,5cm + laje nervurada 6,0cm (capeamento) + forro de gesso (espaço de ar 10,0cm)

Fonte: REZENDE (2019)

**Figura 90 - Esboço dos sistemas construtivos das vedações do imóvel I-6**

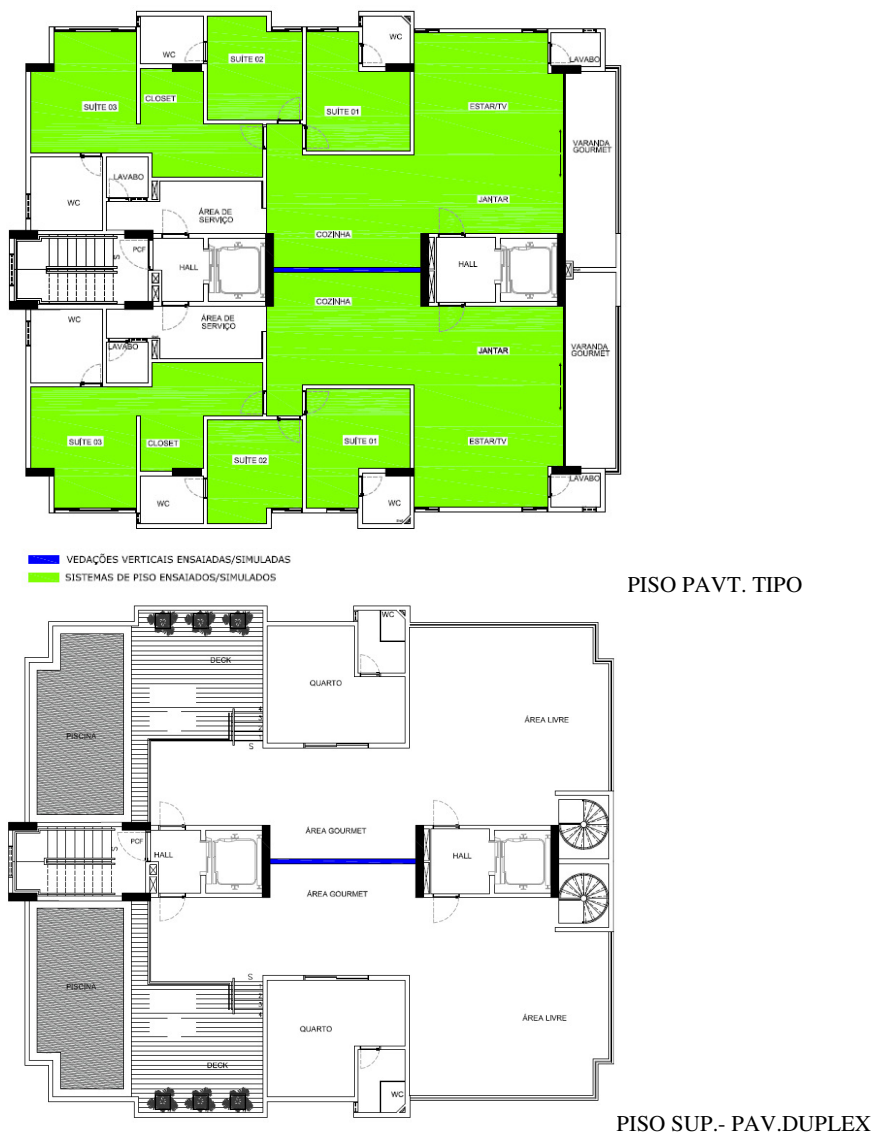


Fonte: REZENDE (2019)

#### 4.7. IMÓVEL I-7

O imóvel I-7 é um empreendimento localizado na cidade de João Pessoa/PB, composto de 1 torre com 8 pavimentos tipo e 1 pavimento tipo duplex (cobertura), sendo 2 unidades habitacionais por pavimento, com área de aproximadamente 61,00 m<sup>2</sup> por apartamento. Cada unidade habitacional possui 3 suítes, 2 lavabos, sala de estar/jantar, cozinha, área de serviço e varanda, como pode ser observado na Figura 91. Os apartamentos duplex possuem cobertura com área gourmet, piscina área livre e quarto com banheiro.

Figura 91 - Planta padrão tipo e cobertura do imóvel I-7: detalhe dos locais de realização dos ensaios



Fonte: REZENDE (2019)

Os ensaios de isolamento sonoro foram realizados em apartamentos do 1º e 2º pavimentos tipo, em vedações internas entre os sistemas de cozinha, além de um ensaio no piso superior do pavimento duplex entre as áreas gourmet (consideradas na análise como áreas de cozinha), e para os sistemas de piso os ensaios foram realizados entre salas, cozinhas e dormitórios, conforme marcações em azul e verde na planta padrão do imóvel da Figura 91.

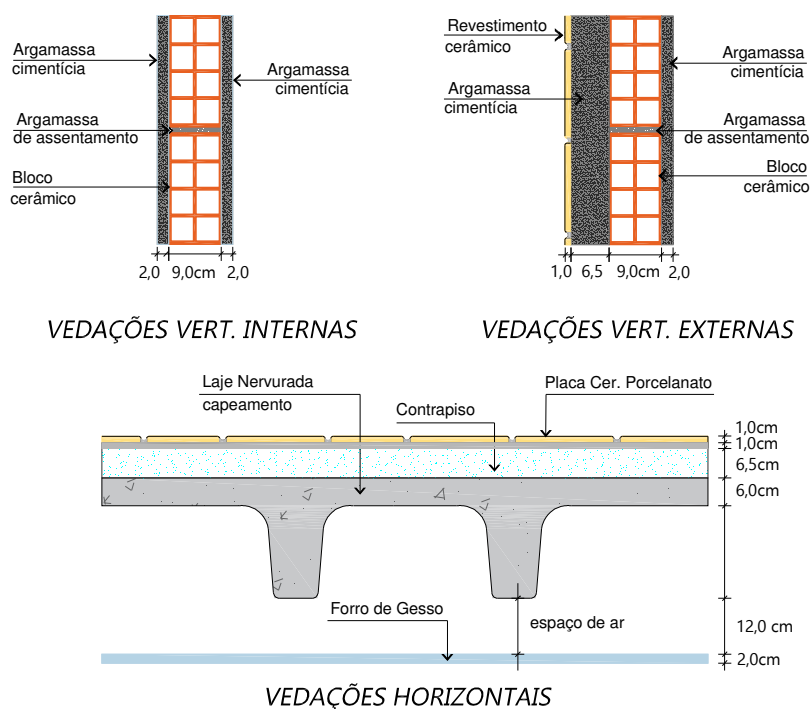
O sistema construtivo das vedações adotado pelo empreendimento I-7 está apresentado de forma resumida no Quadro 7 e no esboço da Figura 92. O pé esquerdo adotado pelo projeto, que é a distância entre pisos, foi de 3,00m.

**Quadro 7 - Sistema Construtivo das vedações do imóvel I-7**

<b>Vedação Vertical Interna (entre unidades)</b>	Argamassa cimentícia 2,0cm + Bloco cerâmico de vedação 9,0cm + argamassa cimentícia 2,0cm
<b>Vedação Vertical Externa</b>	Argamassa cimentícia 2,0cm + Bloco cerâmico de vedação 9,0cm + chapisco 0,5cm + argamassa cimentícia 6,0cm + argamassa colante 0,5cm + cerâmica 0,5cm
<b>Vedação Horizontal</b>	Porcelanato 1,0cm + argamassa colante 1,0cm + Contrapiso 6,5cm + laje nervurada 6,0cm (capeamento) + forro de gesso (espaço de ar 12,0cm)

Fonte: REZENDE (2019)

**Figura 92 - Esboço dos sistemas construtivos das vedações do imóvel I-7**



Fonte: REZENDE (2019)

## 4.8. IMÓVEL I-8

O imóvel I-8, localizado na cidade de Fortaleza/CE, é um empreendimento composto de 2 torres, com 17 pavimentos por torre. Cada pavimento possui 4 unidades habitacionais, com área de aproximadamente 98m<sup>2</sup> e 118m<sup>2</sup>. Os apartamentos possuem 3 suítes, sendo 1 reversível, sala de estar/jantar, cozinha, área de serviço, quarto e banheiro de serviço e varanda, como pode ser observado na Figura 93.

**Figura 93 - Planta padrão tipo do imóvel I-8: detalhe dos locais de realização dos ensaios**



Fonte: REZENDE (2019)

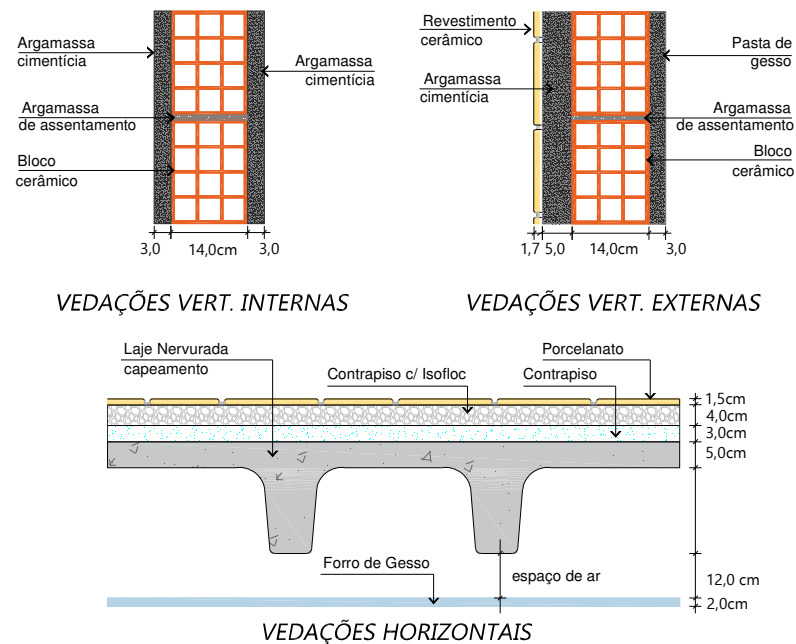
Os ensaios de isolamento sonoro foram realizados em apartamentos do 15º e 16º pavimentos tipo da torre 1, em vedações internas entre os sistemas de salas e entre dormitórios, e para os sistemas de piso os ensaios foram entre salas, cozinhas e dormitórios, conforme indicado através das marcações em azul e verde na planta padrão do imóvel da Figura 93.

O sistema construtivo das vedações adotado pelo empreendimento I-8 está apresentado de forma resumida no Quadro 8 e no esboço da Figura 94. O pé esquerdo adotado pelo projeto, que é a distância entre pisos, foi de 2,88m.

**Quadro 8 - Sistema Construtivo das vedações do imóvel I-8**

<b>Vedação Vertical Interna (entre unidades)</b>	Argamassa cimentícia 2,5cm + chapisco 0,5cm + Bloco cerâmico de vedação 14,0cm + chapisco 0,5cm + argamassa cimentícia 2,5cm
<b>Vedação Vertical Externa</b>	Argamassa cimentícia 2,5cm + chapisco 0,5cm + Bloco cerâmico de vedação 14,0cm + chapisco 0,5cm + argamassa cimentícia 4,5cm + argamassa colante 1,0cm + cerâmica 0,7cm
<b>Vedação Horizontal</b>	Porcelanato 0,5cm + argamassa colante 1,0cm + contrapiso com ISOFLOC 4,0cm + contrapiso 3,0cm + laje nervurada 5,0cm (capeamento) + forro de gesso (espaço de ar 12,0cm)

Fonte: REZENDE (2019)

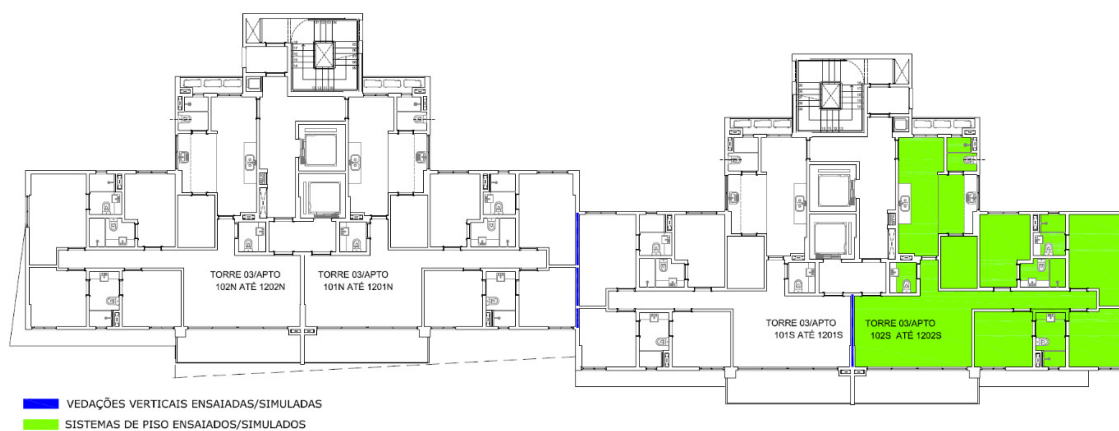
**Figura 94 - Esboço dos sistemas construtivos das vedações do imóvel I-8**

Fonte: REZENDE (2019)

#### 4.9. IMÓVEL I-9

O imóvel I-9, localizado na cidade do Cabo de Santo Agostinho/PE, é um empreendimento composto de 3 torres, tendo as torres 12 pavimentos tipo e 1 pavimento cobertura, sendo 4 apartamentos por pavimento, com área de aproximadamente 127,40m<sup>2</sup> por unidade habitacional. Cada apartamento possui 4 suítes, sala de estar/jantar, cozinha/área de serviço, lavabo, banheiro de serviço e varanda, como pode ser observado na Figura 95, onde está a representação da Torre 3, cuja lâmina do pavimento tipo por torre assemelha-se a uma geminação de uma lâmina de 2 apartamentos por andar.

**Figura 95 - Planta padrão tipo do imóvel I-9: detalhe dos locais de realização dos ensaios**



Fonte: REZENDE (2019)

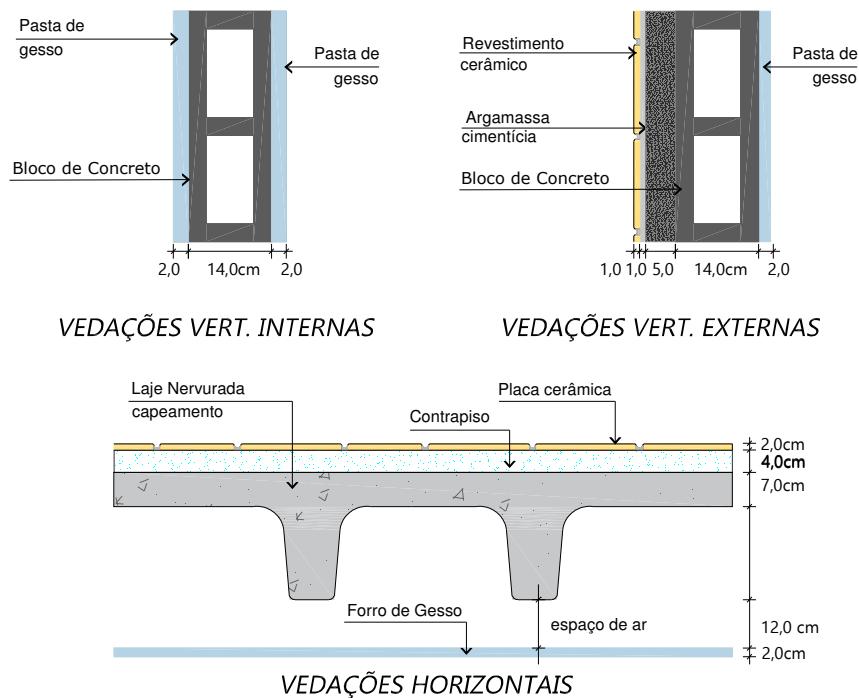
Os ensaios de isolamento sonoro foram realizados em apartamentos do 1º, 2º e 3º pavimentos tipo da Torre 3, em vedações internas entre os sistemas de salas e entre dormitórios, e para os sistemas de piso os ensaios foram entre salas, cozinhas e dormitórios, conforme indicado através das marcações em azul e verde na planta padrão do imóvel da Figura 95.

O sistema construtivo das vedações adotado pelo empreendimento I-9 está apresentado de forma resumida no Quadro 9 e no esboço da Figura 96. O pé esquerdo adotado pelo projeto, que é a distância entre pisos, foi de 3,22m.

**Quadro 9 - Sistema Construtivo das vedações do imóvel I-9**

<b>Vedação Vertical Interna (entre unidades)</b>	Revestimento de gesso 2,0cm + Bloco de concreto de vedação 14,0cm + revestimento de gesso 2,0cm
<b>Vedação Vertical Externa</b>	Revestimento de gesso 2,0cm + chapisco + Bloco de concreto de vedação 14,0cm + chapisco + argamassa cimentícia 5,0cm + argamassa colante 1,0cm + cerâmica 1,0cm
<b>Vedação Horizontal</b>	Placa cerâmica 1,0cm + argamassa colante 1,0cm + contrapiso 4,0cm + laje nervurada 7,0cm (capeamento) + forro de gesso (espaço de ar 12,0cm)

Fonte: REZENDE (2019)

**Figura 96 - Esboço dos sistemas construtivos das vedações do imóvel I-9**

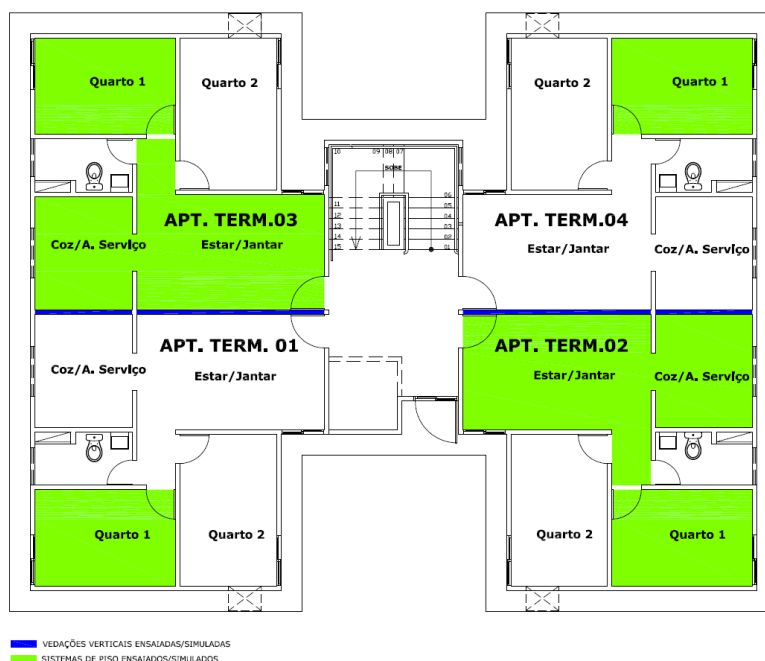
Fonte: REZENDE (2019)



#### 4.10. IMÓVEL I-10

O imóvel I-10, localizado na cidade de Maceió/AL, é um empreendimento composto por 10 torres residenciais, cada torre com 4 pavimentos, sendo 1 pavimento térreo e mais 3 tipos. Cada torre possui 4 apartamentos por pavimento, com área de aproximadamente 42 m<sup>2</sup> por apartamento. A unidade habitacional possui 2 quartos, sala de star/jantar, cozinha/área de serviço e banheiro social, como pode ser observado na Figura 97.

Figura 97 - Planta padrão tipo do imóvel I-10: detalhe dos locais de realização dos ensaios



Fonte: REZENDE (2019)

Os ensaios de isolamento sonoro foram realizados em apartamentos do térreo e 1º pavimentos tipo, em vedações internas entre os sistemas de cozinha e entre salas, e para os sistemas de piso os ensaios foram entre salas, cozinhas e dormitórios, conforme indicado através das marcações em azul e verde na planta padrão do imóvel da Figura 97.

O sistema construtivo adotado para suas vedações verticais internas é de parede maciça em concreto auto adensável de 10 cm de espessura, com revestimento em pasta de gesso de 0,5 cm em cada lado. Sua vedação vertical externa segue o mesmo sistema das vedações internas, com aplicação de revestimento texturizado acrílico e camada hidro-repelente. O sistema de piso

adotado é de laje maciça de concreto com espessura de 10,0 cm, com contrapiso de 2,5 cm, argamassa de assentamento de 0,5 cm e revestimento cerâmico de 0,5 cm, além de camada de revestimento de gesso lento de 0,5 cm sob a laje. O pé esquerdo adotado pelo projeto, que é a distância entre pisos, foi de 2,80m.

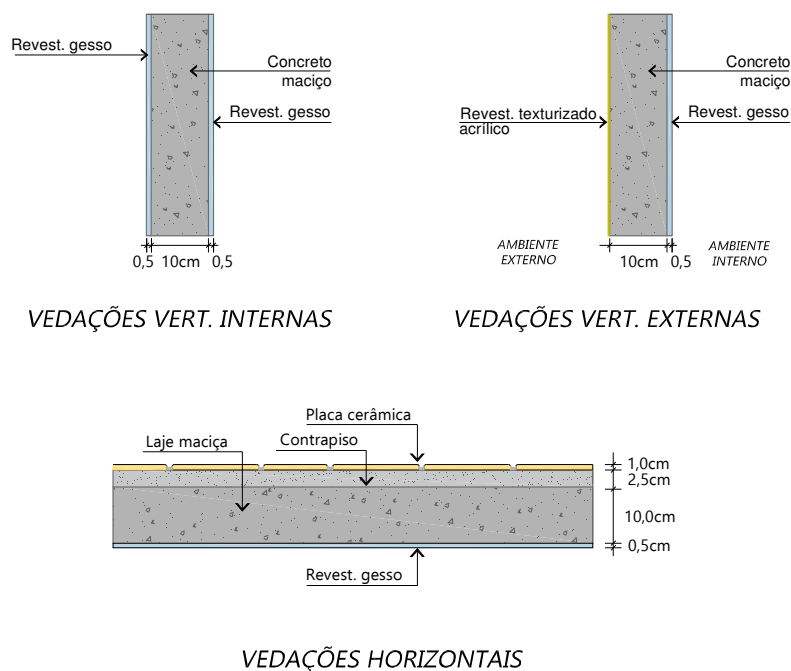
O Quadro 10 apresenta de forma resumida o sistema construtivo adotado pelo empreendimento, e a Figura 98 traz uma ilustração esquemática desse quadro.

**Quadro 10 - Sistema Construtivo das vedações do imóvel I-10**

<b>Vedação Vertical Interna (entre unidades)</b>	Revestimento de gesso 0,5cm + Concreto auto adensável 10,0cm + revestimento de gesso 0,5cm
<b>Vedação Vertical Externa</b>	Revestimento de gesso 0,5cm + Concreto auto adensável 10,0cm + hidro-repelente + revestimento texturizado acrílico
<b>Vedação Horizontal</b>	Placa cerâmica 0,5cm + argamassa colante 0,5cm + contrapiso 2,5cm + laje concreto auto adensável 10,0cm + revestimento de gesso 0,5cm

Fonte: REZENDE (2019)

**Figura 98 - Esboço dos sistemas construtivos das vedações do imóvel I-10**

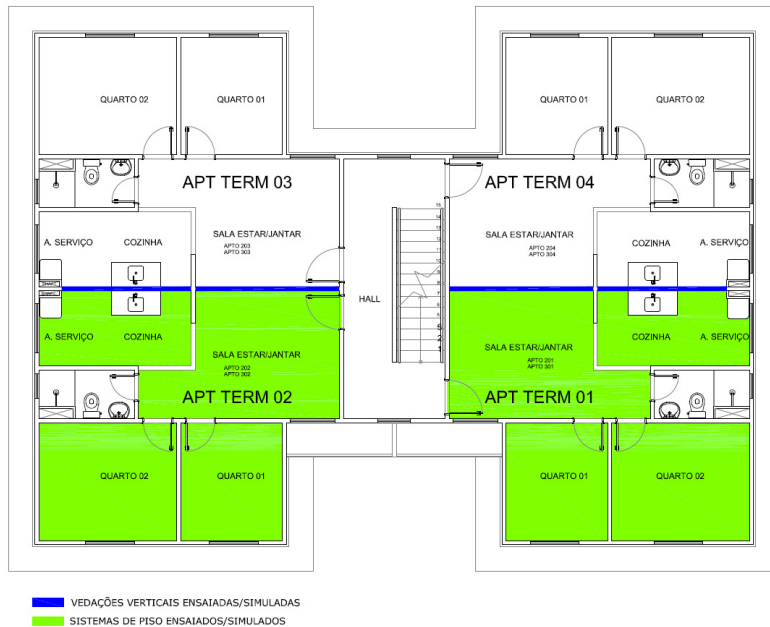


Fonte: REZENDE (2019)

#### 4.11. IMÓVEL I-11

O imóvel I-11, localizado na cidade de Camaçari/BA, é um empreendimento composto de 30 torres, sendo 25 torres com 3 pavimentos tipo e 1 pavimento térreo e 5 torres com 4 pavimentos tipo e 1 pavimento térreo. Todas as torres possuem 4 unidades habitacionais por pavimento, com área de aproximadamente 43m<sup>2</sup> por apartamento. Cada unidade habitacional possui 2 quartos, com opção de suítes em algumas unidades, sala de estar/jantar, cozinha/área de serviço, banheiro social, quarto de serviço e varanda, como pode ser observado na Figura 99.

**Figura 99 - Planta padrão tipo do imóvel I-11: detalhe dos locais de realização dos ensaios**



Fonte: REZENDE (2019)

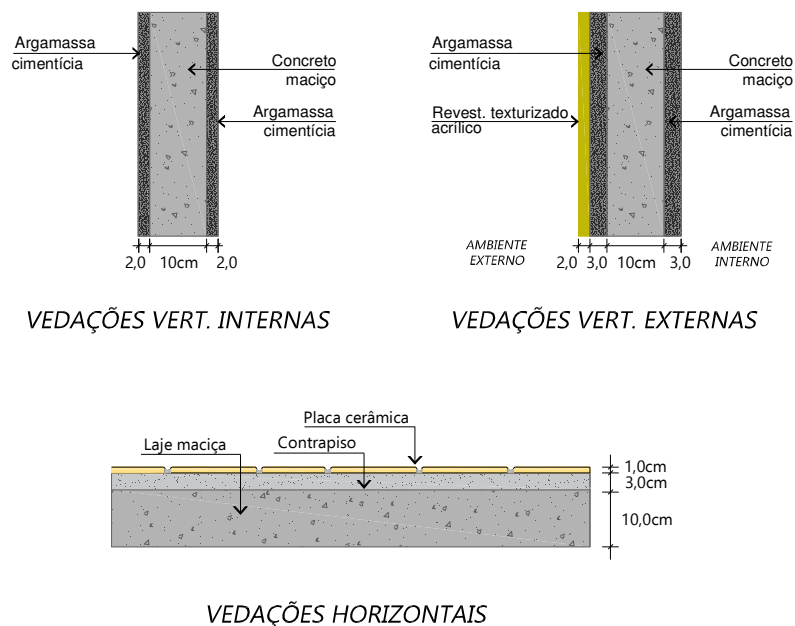
Os ensaios de isolamento sonoro foram realizados em apartamentos do térreo e 1º pavimentos tipo, em vedações internas entre os sistemas de cozinha e entre salas, e para os sistemas de piso os ensaios foram realizados entre salas, cozinhas e dormitórios, conforme indicado através das marcações em azul e verde na planta padrão do imóvel da Figura 99.

O sistema construtivo das vedações adotado pelo empreendimento I-11 está apresentado de forma resumida no Quadro 11 e esboço da Figura 100. O pé esquerdo adotado pelo projeto, que é a distância entre pisos, foi de 2,73m.

**Quadro 11 - Sistema Construtivo das vedações do imóvel I-11**

<b>Vedação Vertical Interna (entre unidades)</b>	Argamassa cimentícia de regularização 2,0cm + Concreto 10,0cm + argamassa cimentícia de regularização 2,0cm
<b>Vedação Vertical Externa</b>	Argamassa cimentícia de regularização 3,0cm + Concreto 10,0cm + argamassa cimentícia de regularização 3,0cm + textura 2,0cm
<b>Vedação Horizontal</b>	Placa cerâmica 0,5cm + argamassa colante 0,5cm + contrapiso 3,0cm + laje concreto auto adensável 10,0cm + chapisco + gesso selador + textura

Fonte: REZENDE (2019)

**Figura 100 - Esboço dos sistemas construtivos das vedações do imóvel I-11**

Fonte: REZENDE (2019)

## 4.12. IMÓVEL I-12

O imóvel I-12 é um empreendimento localizado na cidade de Camaçari/BA com 18 torres residências, geminadas a cada 2 torres, compostas de pavimento térreo e 3 pavimentos tipo. Cada torre possui 4 unidades habitacionais por pavimento, com área de aproximadamente 43,00m<sup>2</sup> por apartamento. Entre torres, consta no projeto que há junta de dilatação de 20mm. Cada unidade habitacional possui 2 quartos, sala de estar/jantar, cozinha/área de serviço e banheiro social, como pode ser observado na Figura 101.

Figura 101 - Planta padrão tipo do imóvel I-12: detalhe dos locais de realização dos ensaios



Fonte: REZENDE (2019)

Os ensaios de isolamento sonoro foram realizados em apartamentos do térreo, 1º, 2º e 3º pavimentos tipo, das torres 1, 15, 17 e 18, em vedações internas entre os sistemas de salas, entre dormitórios e entre cozinha e área comum de trânsito eventual (no caso, hall e escada), e para

os sistemas de piso os ensaios foram realizados entre salas, cozinhas e dormitórios, conforme indicado através das marcações em azul e verde na planta padrão do imóvel da Figura 101.

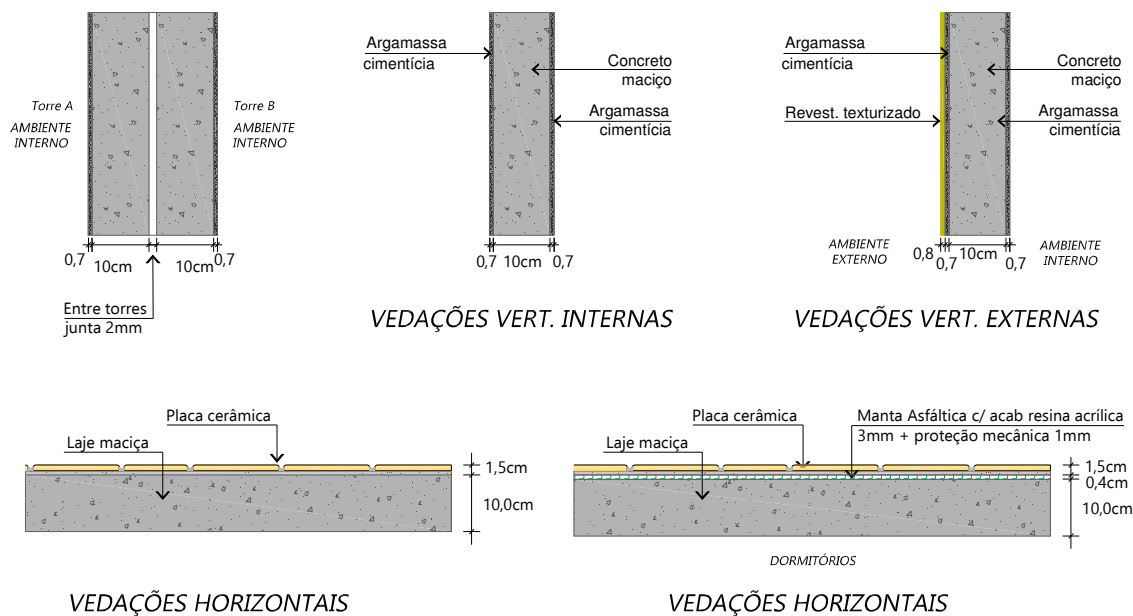
O sistema construtivo das vedações adotado pelo empreendimento I-12 está apresentado de forma resumida no Quadro 12 e no esboço da Figura 102. O pé esquerdo adotado pelo projeto, que é a distância entre pisos, foi de 2,70m.

**Quadro 12 - Sistema Construtivo das vedações do imóvel I-12**

<b>Vedação Vertical Interna (entre unidades)</b>	Argamassa cimentícia 0,7cm + Concreto 10,0cm + argamassa cimentícia 0,7cm
<b>Vedação Vertical Externa</b>	Argamassa cimentícia 0,7cm + Concreto 10,0cm + argamassa cimentícia de regularização + textura
<b>Vedação Horizontal</b>	Placa cerâmica 1,0cm + argamassa colante 0,5cm + laje concreto 10,0cm
<b>Dormitórios</b>	Placa cerâmica 1,0cm + argamassa colante 0,5cm + proteção mecânica 0,1cm + manta asfáltica com acabamento em resina acrílica 0,3cm + laje concreto 10,0cm

Fonte: REZENDE (2019)

**Figura 102 - Esboço dos sistemas construtivos das vedações do imóvel I-12**

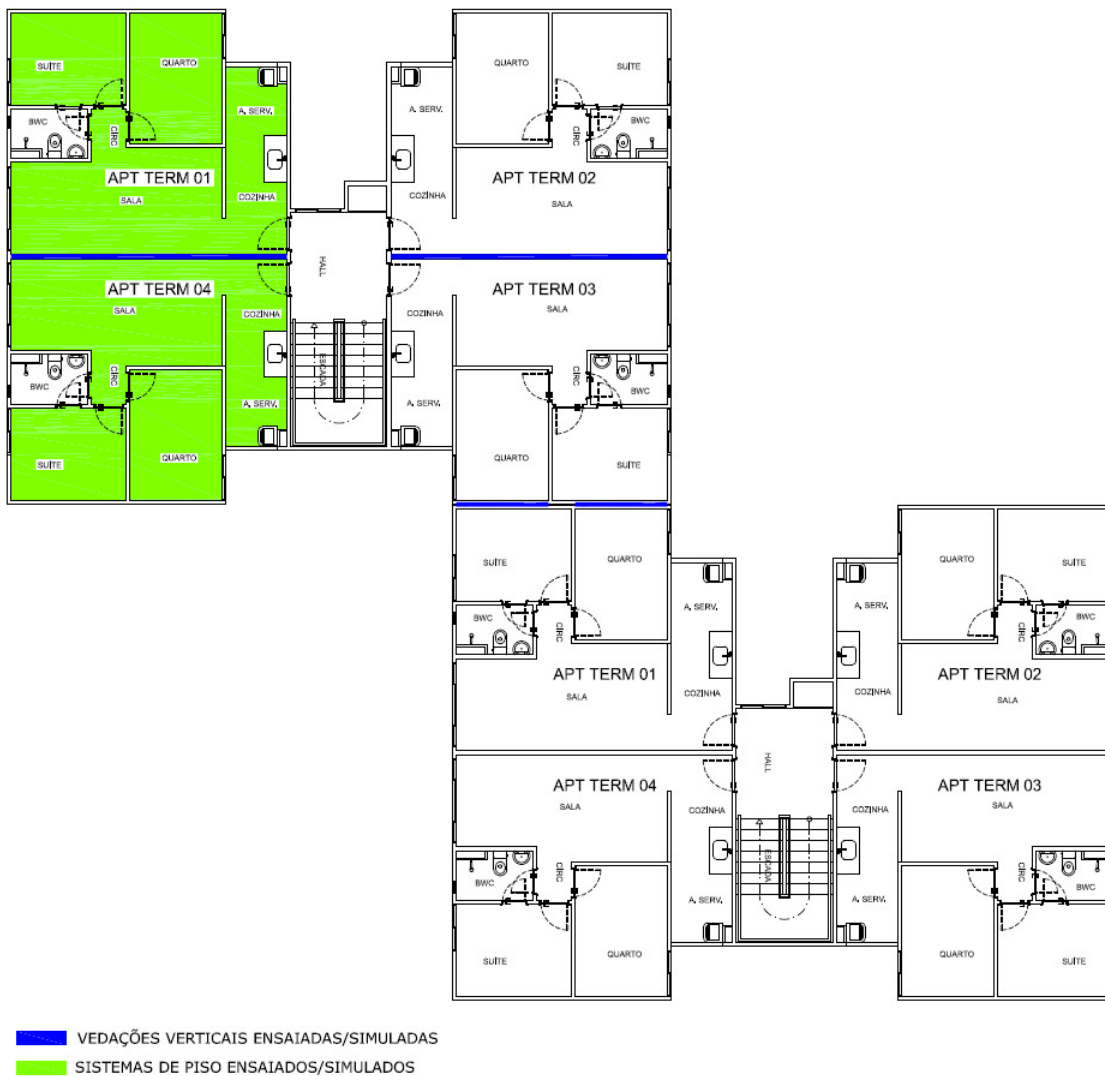


Fonte: REZENDE (2019)

### 4.13. IMÓVEL I-13

O imóvel I-13, localizado no município de São Lourenço da Mata/PE, é um empreendimento com 21 torres de 4 pavimentos, sendo 1 térreo mais 3 tipos, composto de 4 apartamentos por pavimento, com área de 45,35m<sup>2</sup> por apartamento. As torres são geminadas a cada 2 ou 3 torres, e, entre as torres, consta no projeto junta de dilatação de 20mm. Cada unidade habitacional possui 2 quartos, sendo 1 suíte, sala de estar/jantar, cozinha/área de serviço, banheiro social e varanda/terraço, como pode ser observado na Figura 103.

Figura 103 - Planta padrão tipo do imóvel I-13: detalhe dos locais de realização dos ensaios



Fonte: REZENDE (2019)

Os ensaios de isolamento sonoro foram realizados em apartamentos do 1º e 2º pavimentos tipo, das torres 11 e 12, em vedações internas entre os sistemas de salas e entre dormitórios, e para os sistemas de piso os ensaios foram realizados entre salas, cozinhas e dormitórios, conforme indicado através das marcações em azul e verde na planta padrão do imóvel da Figura 103.

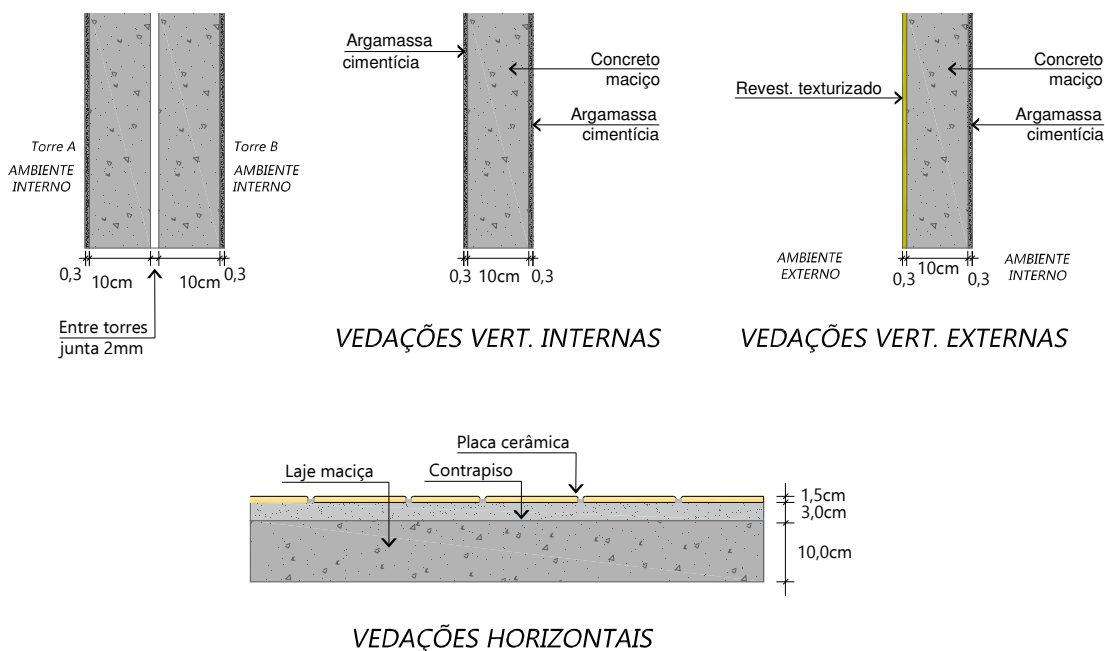
O sistema construtivo das vedações adotado pelo empreendimento I-13 está apresentado no Quadro 13 e no esboço da Figura 104. O pé esquerdo adotado pelo projeto, que é a distância entre pisos, foi de 2,80m.

**Quadro 13 - Sistema Construtivo das vedações do imóvel I-13**

<b>Vedação Vertical Interna (entre unidades)</b>	Massa 0,3cm + Concreto 10,0cm + massa 0,3cm
<b>Vedação Vertical Externa</b>	Massa 0,3cm + Concreto 10,0cm + textura 0,3cm
<b>Vedação Horizontal</b>	Placa cerâmica 1,0cm + argamassa colante 0,5cm + contrapiso 3,0cm + laje concreto 10,0cm

Fonte: REZENDE (2019)

**Figura 104 - Esboço dos sistemas construtivos das vedações do imóvel I-13**



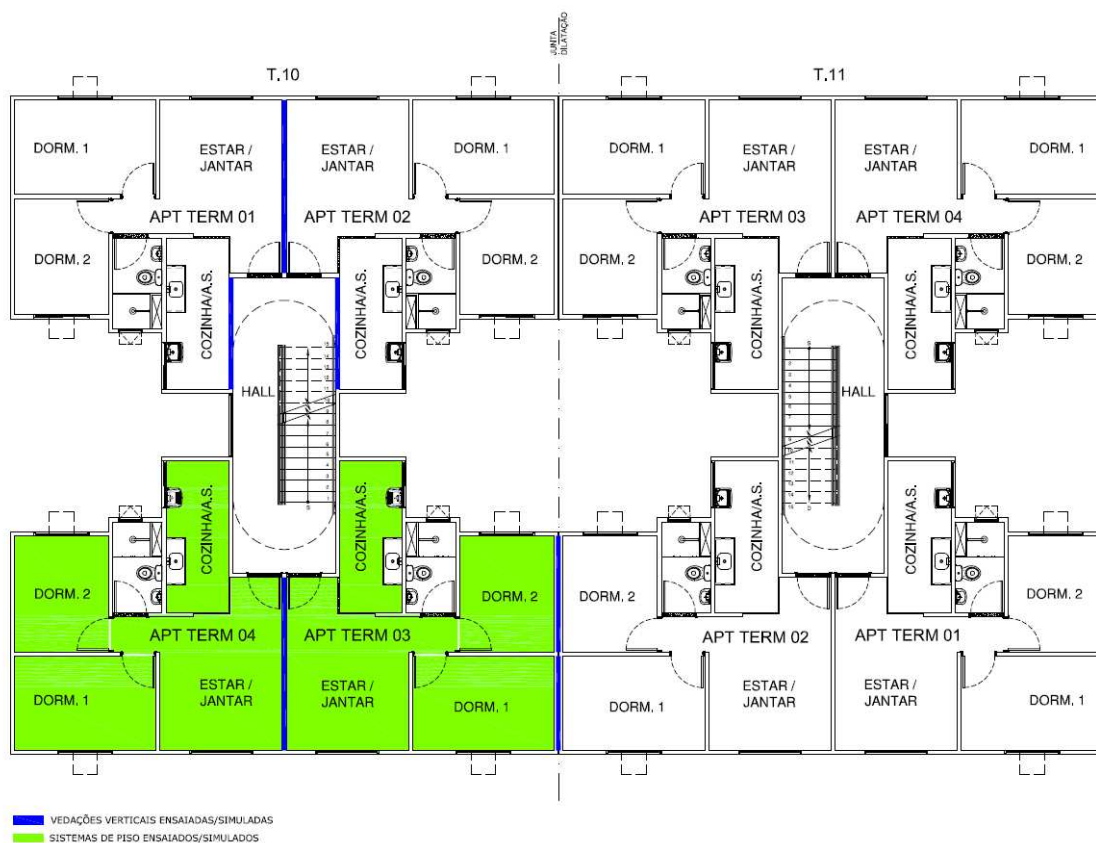
Fonte: REZENDE (2019)



#### 4.14. IMÓVEL I-14

O imóvel I-14, localizado na cidade de Paulista/PE, é um empreendimento com 20 torres, com 4 pavimentos, sendo 1 pavimento térreo e 3 tipos. Entre torres geminadas, consta no projeto que há junta de dilatação de 20mm. Cada torre possui 4 apartamentos por pavimento, com área de 37,49m<sup>2</sup> por apartamento. Cada unidade habitacional possui 2 quartos, sala de estar/jantar, cozinha/área de serviço e banheiro social, como pode ser observado na Figura 105.

Figura 105 - Planta padrão tipo do imóvel I-14: detalhe dos locais de realização dos ensaios



Fonte: REZENDE (2019)

Os ensaios de isolamento sonoro foram realizados em apartamentos do 1º e 2º pavimentos tipo das torres 10 e 11, em vedações internas entre os sistemas salas, entre dormitórios e entre cozinha e área de transito eventual (no caso, hall/escada), e para os sistemas de piso os ensaios foram entre salas, cozinhas e dormitórios, conforme indicado através das marcações em azul e verde na planta padrão do imóvel da Figura 105.

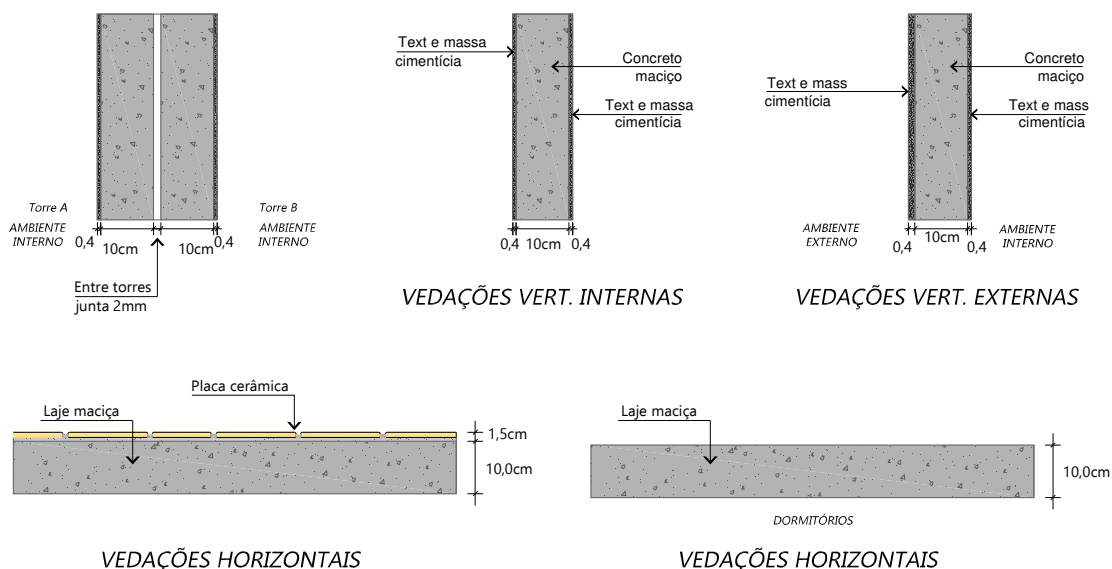
O sistema construtivo das vedações adotado pelo empreendimento I-14 está apresentado de forma resumida no Quadro 14 e no esboço da Figura 106. O pé esquerdo adotado pelo projeto, que é a distância entre pisos, foi de 2,70m.

**Quadro 14 - Sistema Construtivo das vedações do imóvel I-14**

<b>Vedação Vertical Interna</b> (entre unidades)	Textura e massa com argamassa cimentícia 0,4cm + Concreto 10,0cm + textura e massa com argamassa cimentícia 0,4cm
<b>Vedação Vertical Externa</b>	Textura e massa com argamassa cimentícia 0,4cm + Concreto 10,0cm + textura com argamassa cimentícia 0,4cm
<b>Vedação Horizontal</b>	Placa cerâmica 1,0cm + argamassa colante 0,5cm + Laje concreto 10,0cm
<b>Dormitórios</b>	Laje concreto 10,0cm

Fonte: REZENDE (2019)

**Figura 106 - Esboço dos sistemas construtivos das vedações do imóvel I-14**



Fonte: REZENDE (2019)

## 5. Resultados e Discussões

Este capítulo apresenta os resultados das simulações computacionais de desempenho acústico realizadas nos 14 estudos de caso e as discussões acerca dos valores encontrados em comparação aos valores apresentados nos ensaios de campo. Serão apresentadas avaliações de SVVI, seguidos dos casos de SVH, sendo estes últimos divididos em ruído aéreo – RA e ruído de impacto – RI.

No apêndice C constam os resultados completos das simulações computacionais para cada caso de estudo em separado, a partir dos quais seguem as considerações por tipo de sistema de vedação.

### 5.1. Sistemas de Vedações Verticais Internas - SVVI

Para os sistemas de vedação verticais internas – SVVI, foram realizadas 75 simulações, conforme resumo apresentado na Tabela 23.

**Tabela 24 - Quantidade de ensaios de SVVI realizados**

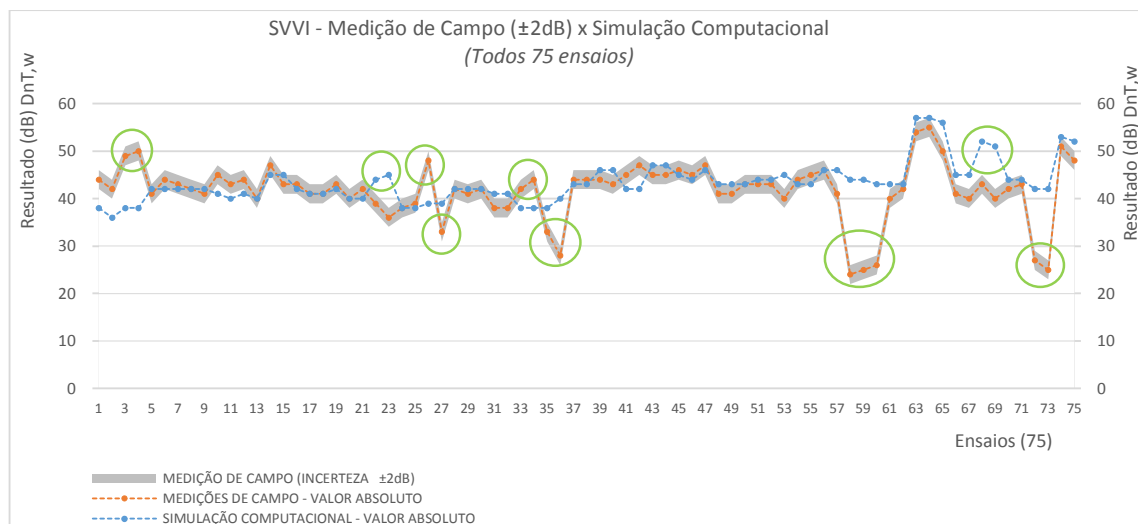
IMÓVEL	SVVI	QUANTIDADE AVAL. REALIZ.
I-1	RG (15) + BCE (90) + RG (15)	2
I-2	RA (15) + BCE (140) + RA (15)	7
I-3	RG (20) + BCE (140) + RG (20) RG (20) + BCE (140) + RA (30) + RG(20) *	14
I-4	RA (15) + BCE (90) + RA (15)	3
I-5	RA (15) + BCE (90) + RA (15)	1
I-6	RG (15) + BCE (140) + RG (15)	8
I-7	RA (20) + BCE (90) + RA (20)	3
I-8	RA (30) + BCE (140) + RA (30)	4
I-9	RG (20) + BCO (140) + RG (20)	5
I-10	RG (5) + CON (100) + RG (5)	6
I-11	RA (20) + CON (100) + RA (20)	4
I-12	RA (7) + CON (100) + RA (7)	8
I-13	CON (100)	4
I-14	RA (4) + CON (100) + RA (4)	6
<b>TOTAL DE AVALIAÇÕES REALIZADAS</b>		<b>75</b>

\*áreas molhadas

Fonte: REZENDE (2019)

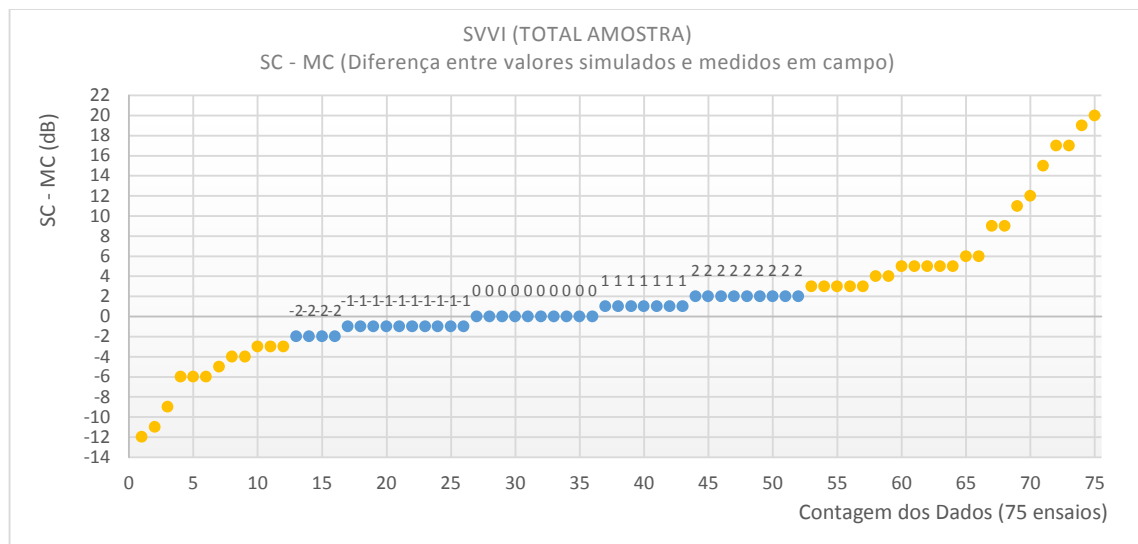
A Figura 107 apresenta um gráfico onde estão plotados os valores da simulação computacional e os valores da medição em campo de todos os 75 ensaios de SVVI, ordenados por estudo de caso, inclusive a respectiva faixa de incerteza de  $\pm 2\text{dB}$  para a medição de campo desses dados, incerteza explicada no subitem 3.3 dos critérios de avaliação para o comparativo dos resultados. O gráfico da Figura 108 apresenta a dispersão da diferença calculada entre os valores da simulação computacional e a medição em campo, em ordem crescente de variação dos resultados.

**Figura 107 – Gráfico de dispersão dos resultados (DnT,w) medidos em campo e simulados - SVVI**



Fonte: REZENDE (2019)

**Figura 108 - Gráfico de dispersão das diferenças (SC-MC) em dB (medição x simulação) em ordem crescente - SVVI geral**

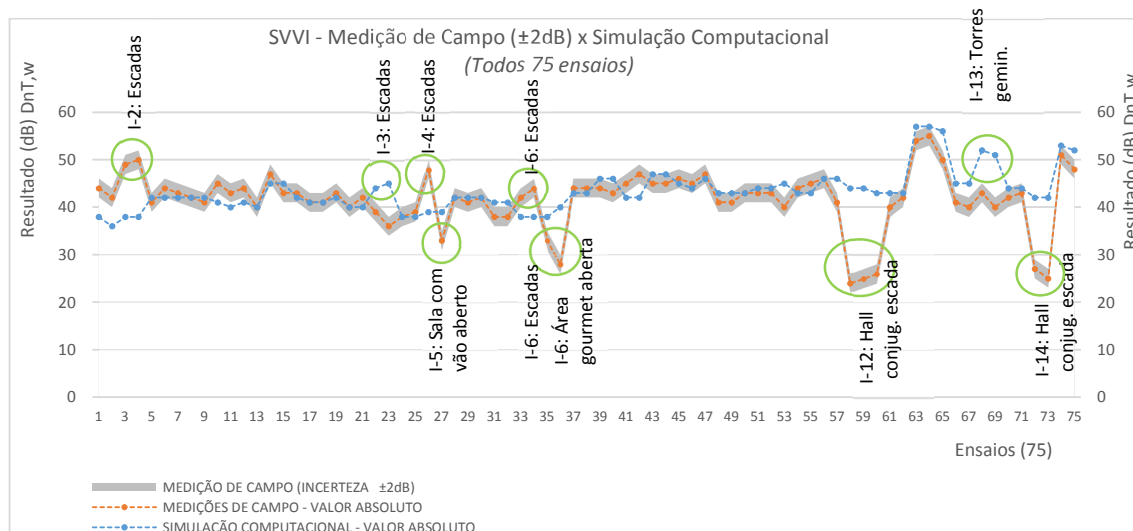


Fonte: REZENDE (2019)

A partir da dispersão da Figura 107, repetida abaixo com destaques, identificamos que as maiores variações ocorreram nas avaliações entre o ambiente habitacional e o ambiente de área comum de trânsito e circulação, sendo todos os casos em escadas, ou em situações em que a medição de campo ocorreu em ambiente onde houve dissipação do som emitido como no ponto 35 e 36 onde a fonte emissora foi colocada na área gourmet de uma unidade e o sonômetro na área gourmet da unidade conjugada onde os dois ambientes não eram totalmente fechados, logo os valores da simulação não convergem para os valores reais medidos, uma vez que não se consegue estimar o comportamento acústico pelo software incluindo vãos não enclausurados.

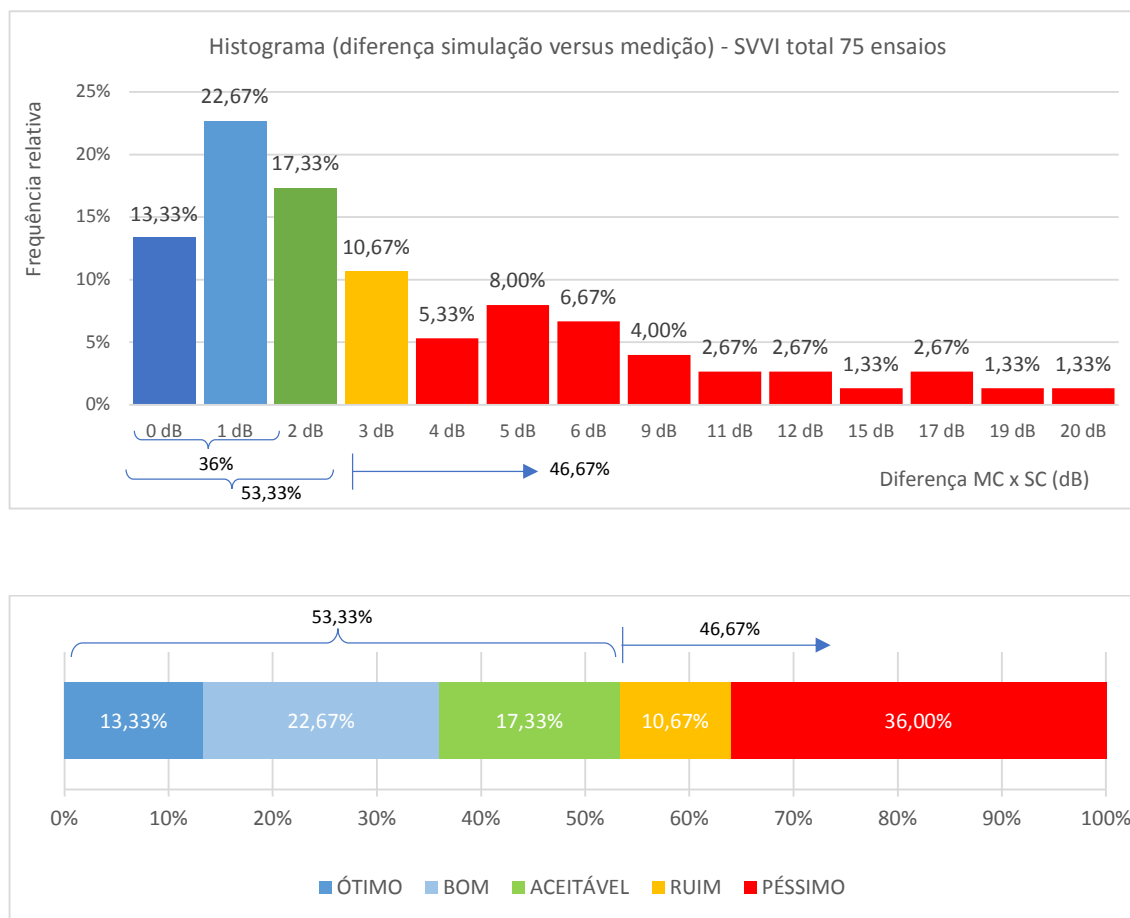
Outro caso particular onde houve grande variação foram nos pontos 68 e 69, onde no projeto consta torres geminadas com vão de ar entre as mesmas, no entanto os valores apresentados de medição de campo sugerem que as juntas não foram executadas quando comparamos os dados da geminação em parede simples, o que será discutido adiante no item 5.4.1.

**Figura 109 com destaques**– Gráfico de dispersão dos resultados (DnT,w) medidos em campo e simulados - SVVI



Fonte: REZENDE (2019)

Sobre os valores calculados da diferença simulação computacional *versus* medição de campo (SC x MC), foi desprezada a condição de SC ser maior ou menor que MC, sendo considerados os valores em módulo para essa diferença, e então foi montado um histograma das frequências relativas dessa diferença SC x MC, conforme apresentado na Figura 109.

**Figura 110 - Histograma de frequência relativa da diferença SC x MC para ensaios de SVVI geral**

Fonte: REZENDE (2019)

Para a amostra total SVVI, ou seja, para o total dos 75 ensaios, 13,33% da amostra apresentou valores iguais em SC e MC, sendo esta parte classificada como “ótima”, 22,67% apresentaram diferença de 1dB, para a qual classificou-se como resultado “bom” e 17,33% apresentaram diferença de 2dB, cuja classificação adotada foi de “aceitável”, totalizando 53,33% da amostra dentro da faixa de incerteza considerada de  $\pm 2$ dB, sendo esta a margem aceitável considerada para a diferença entre a simulação e a medição.

Além desses percentuais, 10,67% apresentaram diferença de 3dB, identificados como resultado “ruim” e 36% apresentaram resultados a partir de 4dB, chegando nessa amostra a alguns valores de diferença de até 20dB entre SC e MC, cuja identificação recebida foi de nível “péssimo”, totalizando 46,67% de ruim a péssimo para essa amostra.

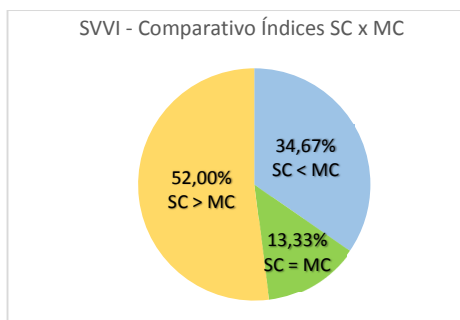
O Quadro 15 apresenta o resumo dessa classificação, resultado do comparativo SC x MC.

**Quadro 15 - Resumo de classificação - SVVI geral**

53,33%	ÓTIMO ATÉ ACEITÁVEL
46,67%	RUIM A PÉSSIMO

Fonte: REZENDE (2019)

Outra análise realizada com os dados da simulação computacional e medição de campo, foi a quantidade de resultados em que a SC foi maior que a MC ou vice-versa, ou seja, para essa amostra foi verificado que 52% dos 75 ensaios apresentaram resultados de simulação computacional maiores que os resultados da medição de campo; 34,67% dos ensaios apresentaram medição de campo maiores que o resultado da simulação computacional e 13,33% dos ensaios apresentaram valores iguais entre medição de campo e simulação computacional, conforme Figura 110.

**Figura 111 - Comparativo dos resultados SC x MC - SVVI**

Fonte: REZENDE (2019)

Esse resultado, desconsiderando qualquer faixa de incerteza, aponta para o esperado inicial de que a simulação necessariamente apresentaria valores mais conservadores que a medição de campo, uma vez que na simulação computacional as condições para o cálculo do isolamento acústico são previsíveis e controladas, em oposição às condições da medição de campo em que vários fatores imprevisíveis, como falhas construtivas, frestas, ruídos externos e falhas de vedação dos ambientes, podem interferir negativamente nos resultados esperados de isolamento acústico, levando a valores divergentes aos que seriam previstos em projeto.

Partindo para uma análise específica por tipo de elemento de separação, verificou-se que dos 75 ensaios realizados no estudo do isolamento sonoro em SVVI, 45 foram em elementos de separação entre unidades autônomas sem que um dos ambientes fosse dormitório, 15 ensaios

foram entre unidades autônomas em que pelo menos um dos ambientes era dormitório, 3 entre parede cega de dormitórios e áreas comuns de circulação, e 12 ensaios entre paredes cegas de unidades habitacionais e áreas comuns de circulação, atendendo, desta forma, a quatro das situações previstas na norma de desempenho quanto ao tipo de elemento SVVI. A Tabela 24 apresenta a quantidade de ensaios realizados para cada classificação dos elementos SVVI previstos na norma de desempenho.

**Tabela 25 – Quantidade de ensaios analisados para o SVVI conforme tipos de elementos da Tabela F.10 da norma de desempenho NBR 15575-4 – Limites para o Método de engenharia**

Quantidade de Ensaios realizados	Tipos de Elementos SVVI e Limites constantes na NBR 15575-4		
	Elemento	$D_{nT,w}$ (dB)	Nível de Desempenho
45	Parede entre unidades habitacionais autônomas (paredes de geminação), nas situações onde não haja ambiente dormitório	40 a 44	M
		45 a 49	I
		$\geq 50$	S
15	Parede entre unidades habitacionais autônomas (paredes de geminação), no caso de pelo menos um dos ambientes ser dormitório	45 a 49	M
		50 a 55	I
		$\geq 55$	S
3	Parede cega de dormitórios entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, tais como corredores e escadaria nos pavimentos	40 a 44	M
		45 a 49	I
		$\geq 50$	S
12	Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, tais como corredores e escadaria nos pavimentos	30 a 34	M
		35 a 39	I
		$\geq 40$	S
0	Parede cega entre uma unidade habitacional e áreas comuns de permanência de pessoas, atividades de lazer e atividades esportivas, tais como home theater, salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas	45 a 49	M
		50 a 54	I
		$\geq 55$	S
0	Conjunto de paredes e portas de unidades distintas separadas pelo hall ( $D_{nT,w}$ obtida entre as unidades)	40 a 44	M
		45 a 49	I
		$\geq 50$	S

Fonte: REZENDE (2019) (adaptado - Tabela F.10 NBR 15575-4, ABNT, 2013)



### 5.1.1. Condição I - SVVI em paredes entre unidades habitacionais autônomas (paredes de geminação), nas situações onde não há dormitório

A Tabela 25 apresenta os resultados para SVVI dos 45 ensaios de medição de campo e de simulação computacional para os elementos de separação em paredes de geminação nas situações em que não há dormitório, com a respectiva diferença calculada (SC – MC).

**Tabela 26 - Ensaios de SVVI em parede entre unidades habitacionais autônomas (paredes de geminação), nas situações onde não há ambiente dormitório**

Critério (dB) (NBR 15575-4)	AMBIENTE AVALIADO	MEDIÇÕES DE CAMPO	SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL	$\Delta$ (dB)
Mínimo: 40 a 44 Intermediário.: 45 a 49 Superior: $\geq 50$	<i>Parede de Geminação nas situações em que não haja dormitório</i>	<i>Resultado (dB) <math>D_{nt,w}</math></i>	<i>Resultado (dB) <math>D_{nt,w}</math></i>	<i>SC - MC</i>
I-01	Emissão: Cozinha - Apt. 2102 Recepção: Sala - Apt. 2103	44	38	-6
	Emissão: Sala - Apt. 2103 Recepção: Cozinha - Apt. 2102	42	36	-6
I-02	Emissão: Cozinha - Apt. 103 Recepção: Sala - Apt. 104	41	42	1
	Emissão: Sala - Apt. 101 Recepção: Cozinha - Apt. 102	44	42	-2
	Emissão: Sala - Apt. 102 Recepção: Sala - Apt. 103	43	42	-1
	Emissão: Sala - Apt. 702 Recepção: Sala - Apt. 703	42	42	0
I-03	Emissão: Sala - Apt. 703 Recepção: Sala - Apt. 702	41	42	1
	Emissão: Cozinha - Apt. 503 Recepção: Cozinha - Apt. 502	45	41	-4
	Emissão: Cozinha - Apt. 504 Recepção: Cozinha - Apt. 505	43	40	-3
	Emissão: Cozinha - Apt. 603 Recepção: Cozinha - Apt. 602	44	41	-3
	Emissão: Cozinha - Apt. 604 Recepção: Cozinha - Apt. 605	40	40	0
	Emissão: Cozinha - Apt. 506 Recepção: Sala - Apt. 505	47	45	-2
I-04	Emissão: Cozinha - Apt. 606 Recepção: Sala - Apt. 605	43	45	2
	Emissão: Sala - Apt. 601 Recepção: Sala - Apt. 602	43	42	-1
I-04	Emissão: Sala - Apt. 1701 Recepção: Sala - Apt. 1702	38	38	0
	Emissão: Sala - Apt. 1702 Recepção: Sala - Apt. 1701	39	38	-1
I-05	Emissão: Sala - Apt. 102 Recepção: Sala - Apt. 103	33	39	6*
I-06	Emissão: Cozinha - Apt. 101 Recepção: Sala - Apt. 104	42	42	0
	Emissão: Cozinha - Apt. 102 Recepção: Sala - Apt. 103	41	42	1
	Emissão: Cozinha - Apt. 202 Recepção: Sala - Apt. 203	42	42	0

	Emissão: Sala - Apt. 101 Recepção: Sala - Apt. 102	38	41	3
	Emissão: Sala - Apt. 102 Recepção: Sala - Apt. 101	38	41	3
I-07	Emissão: Área Gourmet - Apt. 01 Recepção: Área Gourmet - Apt. 02	28	40	12**
	Emissão: Cozinha - Apt. 101 Recepção: Cozinha - Apt. 102	44	43	-1
	Emissão: Cozinha - Apt. 102 Recepção: Cozinha - Apt. 101	44	43	-1
I-08	Emissão: Sala - Apt. 1502 Recepção: Sala - Apt. 1501	44	46	2
	Emissão: Sala - Apt. 1503 Recepção: Sala - Apt. 1504	43	46	3
I-09 (BCO)	Emissão: Sala - Apt. 102S Recepção: Sala - Apt. 101S	45	47	2
	Emissão: Sala - Apt. 102S Recepção: Sala - Apt. 101S	45	47	2
I-10	Emissão: Cozinha - Apt. 01 Recepção: Cozinha - Apt. 03	41	43	2
	Emissão: Cozinha - Apt. 02 Recepção: Cozinha - Apt. 04	41	43	2
	Emissão: Cozinha - Apt. 104 Recepção: Cozinha - Apt. 102	43	43	0
	Emissão: Sala - Apt. 01 Recepção: Sala - Apt. 03	43	44	1
	Emissão: Sala - Apt. 02 Recepção: Sala - Apt. 04	43	44	1
	Emissão: Sala - Apt. 104 Recepção: Sala - Apt. 102	40	45	5
I-11	Emissão: Cozinha - Apt. 01 Recepção: Cozinha - Apt. 04	44	43	-1
	Emissão: Cozinha - Apt. 02 Recepção: Cozinha - Apt. 03	45	43	-2
	Emissão: Sala - Apt. 01 Recepção: Sala - Apt. 04	46	46	0
	Emissão: Sala - Apt. 02 Recepção: Sala - Apt. 03	41	46	5
	Emissão: Sala - Apt. 04 TA Recepção: Sala - Apt. 03 TA	40	43	3
	Emissão: Sala - Apt. 04 TB Recepção: Sala - Apt. 03 TB	42	43	1
I-13 (PAR SIMPLES)	Emissão: Sala - Apt. 101 Recepção: Sala - Apt. 104	41	45	4
	Emissão: Sala - Apt. 102 Recepção: Sala - Apt. 103	40	45	5
I-14	Emissão: Sala - Apt. 102 Recepção: Sala - Apt. 101	42	44	2
	Emissão: Sala - Apt. 103 Recepção: Sala - Apt. 104	43	44	1

\* Ensaio I-5 (emissão em campo em sala com falha na vedação – vão aberto)

\*\* Ensaio I-7 (emissão em campo na área gourmet Apt 01 e recepção área gourmet Apt 02-com vãos abertos)

Fonte: REZENDE (2019)

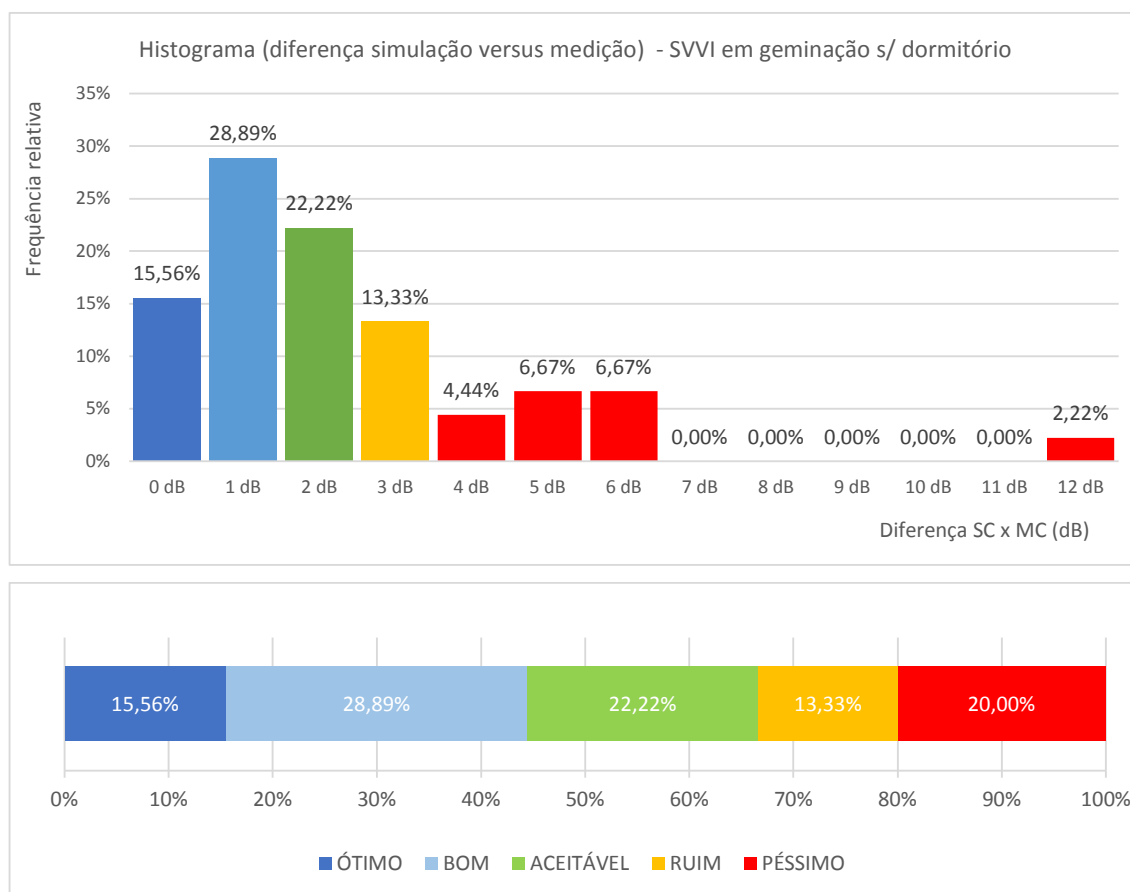
A Figura 111 apresenta um gráfico onde estão plotados os valores da simulação computacional e da medição em campo dos 45 ensaios de SVVI em paredes de geminação sem ambiente dormitório, inclusive a respectiva faixa de incerteza de  $\pm 2$ dB para a medição de campo, dispostos conforme ordem dos casos de estudo indicados na Tabela 24. O gráfico da Figura 112



Para esta condição, observou-se que as maiores variações ocorreram onde na medição de campo um dos ambientes constava de vão aberto ou falha na vedação, fazendo com que o isolamento medido em campo fosse menor que o simulado, conforme destacado na Figura 111.

Da mesma forma como procedeu-se na análise da amostra geral de SVVI, para os casos específicos dos tipos de elemento de separação também foi desprezada a condição de SC ser maior ou menor que MC, sendo considerados os valores em módulo para a diferença simulação computacional *versus* medição de campo (SC x MC), a fim de possibilitar a criação de um histograma das frequências relativas dessa diferença, conforme apresentado na Figura 113, para posterior análise de quanto os resultados SC e MC se distanciam um do outro.

**Figura 114 - Histograma de frequência relativa da diferença SC x MC para ensaios de SVVI em geminação sem dormitório**



Fonte: REZENDE (2019)

Para a condição I dos SVVI, ou seja, em relação aos ensaios das situações em que o elemento de separação dos ambientes foi uma parede de geminação onde não havia um dormitório, dos 45 ensaios dos casos de estudo, 15,56% da amostra apresentou valores iguais em SC e MC, sendo classificado como “ótimo”, 28,89% da amostra apresentou diferença de 1dB entre SC e MC, para a qual classificou-se como resultado “bom” e 22,22% apresentaram diferença de 2dB, cuja classificação adotada foi de “aceitável”, totalizando 66,67% da amostra dentro da faixa de incerteza considerada de  $\pm 2$ dB para a MC, sendo esta a tolerância considerada aceitável para a diferença entre a simulação e a medição.

Além desses percentuais, 13,33% apresentaram diferença de 3dB, considerados, portanto, como resultado “ruim” e 20% apresentaram resultados a partir de 4dB, chegando nessa amostra a alguns valores de até 12dB, cuja classificação recebida foi de nível “péssimo”, totalizando assim 33,33% de ruim a péssimo para a amostra de SVVI - Condição I.

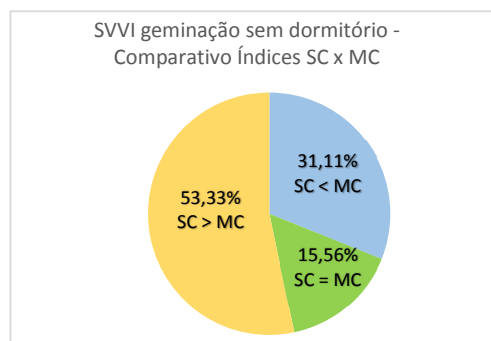
O Quadro 16 apresenta o resumo dessa classificação, resultado do comparativo SC x MC.

**Quadro 16 - Resumo de classificação - SVVI em geminação sem dormitório**

66,67%	ÓTIMO ATÉ ACEITÁVEL
33,33%	RUIM A PÉSSIMO

Fonte: REZENDE (2019)

Em relação à quantidade de resultados em que a SC foi maior que a MC ou vice-versa, ou seja, para essa amostra foi verificado que 53,33% dos 45 ensaios apresentaram resultados de simulação computacional superiores aos resultados da medição de campo ( $SC > MC$ ); 31,11% dos ensaios apresentaram medição de campo maiores que o resultado da simulação computacional ( $SC < MC$ ) e 15,56% dos ensaios apresentaram valores iguais entre medição de campo e simulação computacional ( $SC = MC$ ), conforme ilustrado na Figura 114.

**Figura 115 - Comparativo dos resultados SC x MC - SVVI em geminação sem dormitório**

Fonte: REZENDE (2019)

Assim, esse comparativo repete o apresentado na análise dos resultados de SVVI geral, em que a maioria dos resultados apresentou resultado de simulação superior ao resultado medido em campo, o que comprova a hipótese de que as condições controladas da simulação computacional resultarão em valores superiores aos medidos em campo, razão das inúmeras interferências que o campo pode inferir na situação real, e que trazem prejuízos ao isolamento acústico previsto em projeto, uma vez que projeta-se para atingir os resultados requeridos na norma de desempenho.

### **5.1.2. Condição II - SVVI em paredes entre unidades habitacionais autônomas (paredes de geminação), nas situações onde há dormitório**

A Tabela 26 apresenta os resultados para SVVI dos ensaios de medição de campo e de simulação computacional para os elementos de separação em paredes de geminação nas situações em que há dormitório em pelo menos um dos ambientes analisados, com a respectiva diferença calculada (SC – MC), com um total de 15 amostras analisadas.

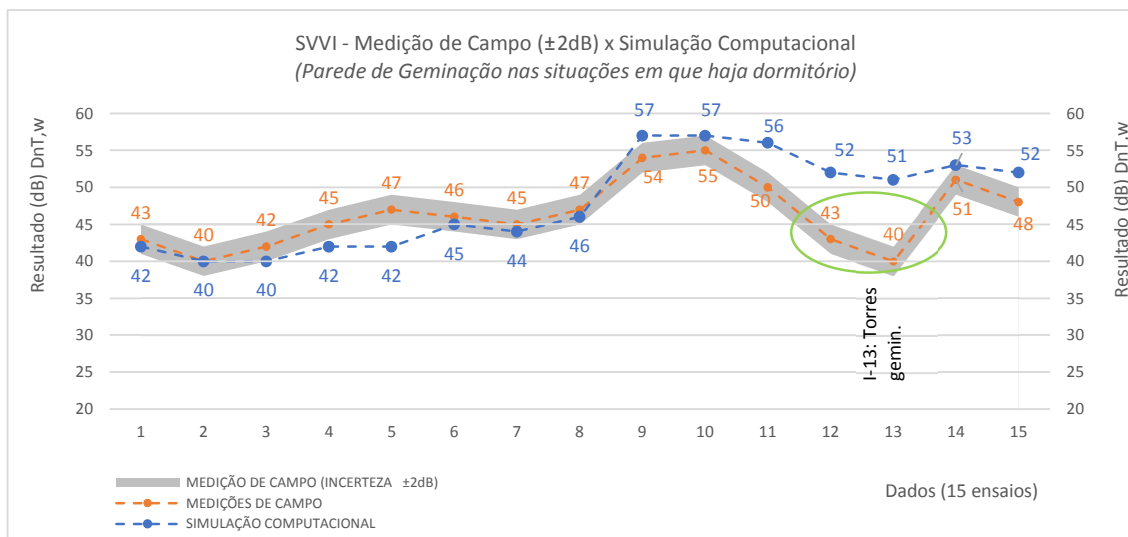
**Tabela 27 - Ensaio de SVVI em parede entre unidades habitacionais autônomas (paredes de geminação), nas situações em que há ambiente dormitório**

Critério (dB) (NBR 15575-4)	Ambiente avaliado	MEDIÇÕES DE CAMPO	SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL	$\Delta$ (dB)
<i>Mínimo: 45 a 49 Intermediário: 50 a 54 Superior: <math>\geq 55</math></i>	<i>Parede de Geminação nas situações em que haja dormitório</i>	<i>Resultado (dB) <math>D_{nT,w}</math></i>	<i>Resultado (dB) <math>D_{nT,w}</math></i>	<i>SC - MC</i>
I-03	Emissão: Cozinha - Apt. 601 Recepção: Suíte - Apt. 606	43	42	-1
	Emissão: Sala - Apt. 504 Recepção: Suíte - Apt. 503	40	40	0
	Emissão: Sala - Apt. 604 Recepção: Suíte - Apt. 603	42	40	-2
I-08	Emissão: Quarto - Apt. 1502 Recepção: Quarto - Apt. 1503	45	42	-3
	Emissão: Quarto - Apt. 1602 Recepção: Quarto - Apt. 1603	47	42	-5
I-09	Emissão: Suíte casal - Apt. 101S Recepção: Suíte casal - Apt. 101N	46	45	-1
	Emissão: Suíte casal - Apt. 101S Recepção: Suíte filha - Apt. 101N	45	44	-1
	Emissão: Suíte filha - Apt. 101S Recepção: Suíte filha - Apt. 101N	47	46	-1
I-12	Emissão: Quarto 1 - Apt. 02 TB Recepção: Quarto 1 - Apt. 03 TA	54	57	-3
	Emissão: Quarto 1 - Apt. 03 TB Recepção: Quarto 1 - Apt. 02 TA	55	57	-2
	Emissão: Quarto 2 - Apt. 03 TB Recepção: Quarto 2 - Apt. 02 TA	50	56	-6
I-13	Emissão: Suíte - Apt. 102 TA Recepção: Quarto - Apt. 104 TB	43	52	-9
	Emissão: Quarto - Apt. 102 TA Recepção: Suíte - Apt. 104 TB	40	51	-11
I-14	Emissão: Quarto 1 - Apt. 103 TA Recepção: Quarto 1 - Apt. 102 TB	51	53	-2
	Emissão: Quarto 2 - Apt. 103 TA Recepção: Quarto 2 - Apt. 102 TB	48	52	-4

Fonte: REZENDE (2019)

A Figura 115 apresenta um gráfico onde estão plotados os valores da simulação computacional e da medição em campo dos 15 ensaios de SVVI em paredes de geminação com pelo menos um ambiente dormitório, inclusive a respectiva faixa de incerteza de  $\pm 2$ dB para a medição de campo, na ordem dos casos de estudo ensaiados conforme Tabela 25. O gráfico da Figura 116 apresenta a dispersão da diferença calculada entre os valores SC e MC para esses casos de geminação, que está nomeado como SVVI - Condição II, em ordem crescente de variação.

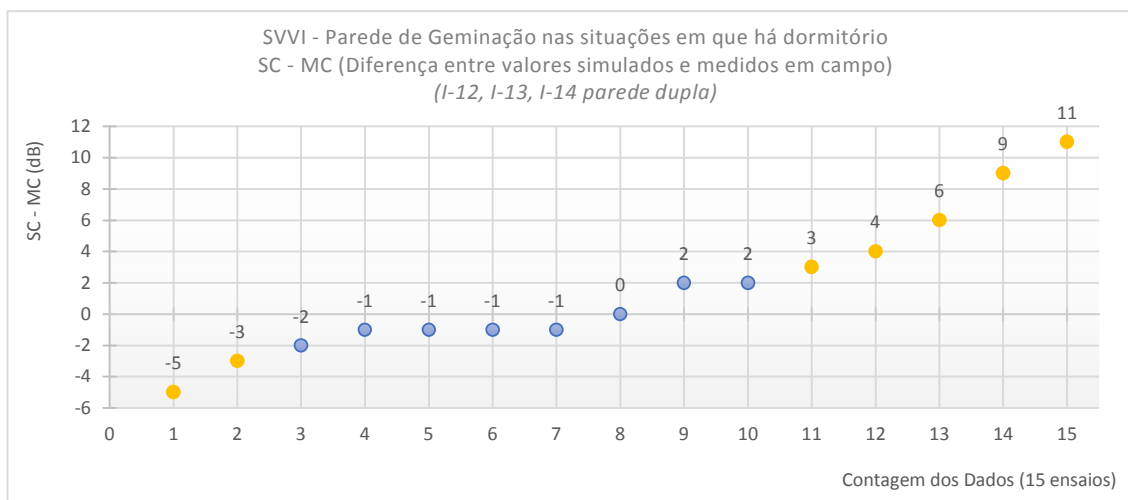
**Figura 116 - Gráfico de dispersão dos resultados (DnT,w) medidos em campo e simulados - SVVI em geminação com dormitório**



Fonte: REZENDE (2019)

Os pontos mais divergentes desta condição se referem à situação específica do imóvel I-13, onde a geminação entre as torres em projeto aparece como parede dobrada e junta de ar, no entanto as simulações realizadas com a variação neste tipo de parede sugerem que a execução não atende ao definido em projeto, o que está discutido adiante no item 5.4.1.

**Figura 117 - Gráfico de dispersão das diferenças (SC-MC) em dB (medição x simulação) - SVVI em geminação com dormitório**



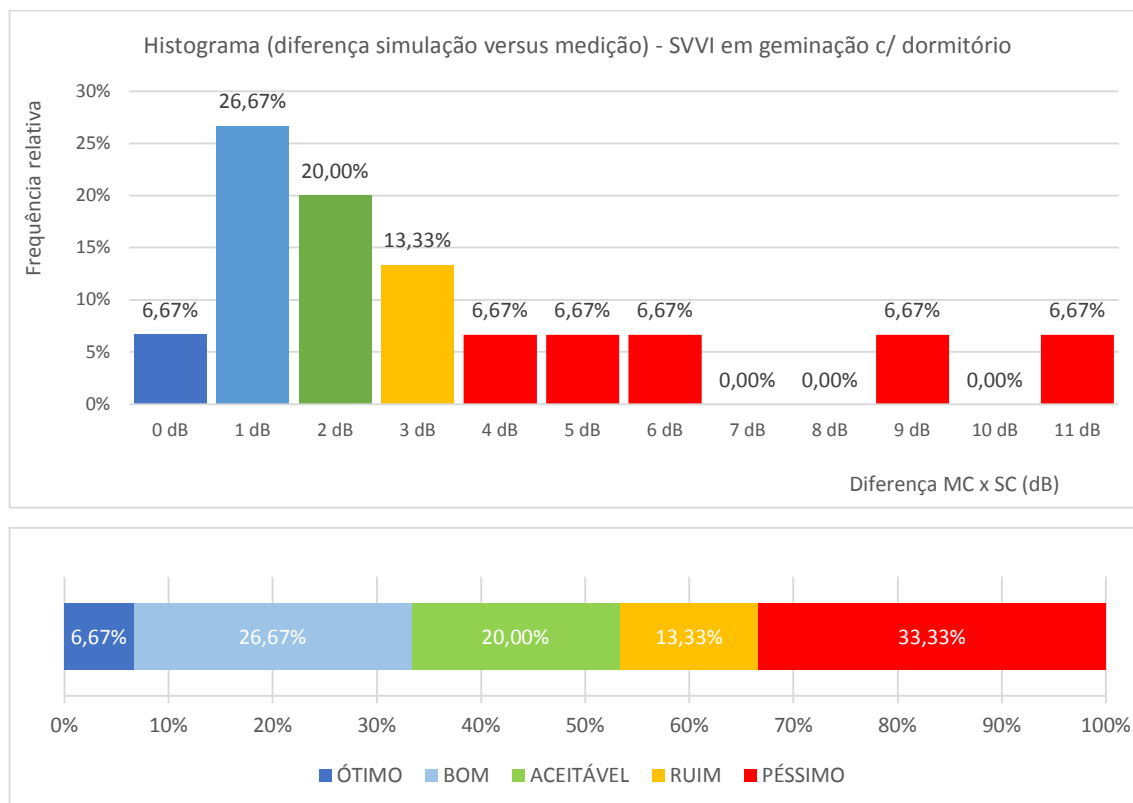
Fonte: REZENDE (2019)

Repetindo a forma de análise comparativa dos demais casos, para a análise comparativa dos valores de SVVI na Condição II, foi desprezado o fato de SC ser maior ou menor que MC,



sendo considerados os valores em módulo para a diferença simulação computacional *versus* medição de campo (SC x MC), a fim de possibilitar a criação de um histograma das frequências relativas dessa diferença, conforme apresentado na Figura 117, para posterior análise de quanto os resultados SC e MC se distanciam um do outro.

**Figura 118 - Histograma de frequência relativa da diferença SC x MC para ensaios de SVVI em geminação com dormitório**



Fonte: REZENDE (2019)

Em relação aos ensaios de SVVI – Condição II, ou seja, nas situações em que o elemento de separação dos ambientes foi uma parede de geminação com pelo menos um dos ambientes dormitório, dos 15 ensaios dos casos de estudo, 6,67% apresentaram resultados de SC iguais aos resultados de MC, sendo classificados como “ótimos”, 26,67% dos resultados apresentaram diferença de 1dB entre SC e MC, para os quais classificou-se como resultado “bom” e 20% da amostra apresentou diferença de 2dB, cuja classificação adotada foi de “aceitável”, totalizando 53,33% dentro da margem denominada aceitável para a diferença SC x MC, correspondendo à faixa de incerteza de  $\pm 2$ dB da medição de campo.

Fora esses, 13,33% dos resultados apresentaram diferença de 3dB, classificados como resultados “ruins” e 33,33% dos resultados apresentaram diferença a partir de 4dB, com maior distância entre SC e MC na ordem de 11dB, sendo esta parcela classificada como “péssima”, totalizando assim 46,67% da amostra entre os níveis “ruim” a “péssimo”, conforme classificação comparativa de análise.

O Quadro 17 apresenta o resumo dessa classificação, resultado do comparativo SC x MC.

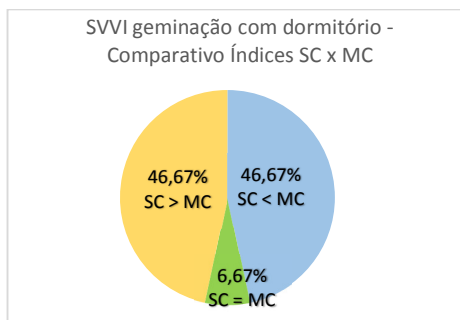
**Quadro 17 - Resumo de classificação - SVVI em geminação com dormitório**

53,33%	ÓTIMO ATÉ ACEITÁVEL
46,67%	RUIM A PÉSSIMO

Fonte: REZENDE (2019)

Em relação à quantidade de resultados em que a SC foi maior que a MC ou vice-versa, ou seja, para essa amostra foi verificado que 46,67% dos 15 ensaios apresentaram resultados de simulação computacional superiores aos resultados da medição de campo ( $SC > MC$ ); 46,67% dos ensaios apresentaram medição de campo maiores que o resultado da simulação computacional ( $SC < MC$ ) e 6,67% dos ensaios apresentaram valores iguais entre medição de campo e simulação computacional ( $SC = MC$ ), conforme ilustrado na Figura 118.

**Figura 119 - Comparativo dos resultados SC x MC - SVVI em geminação com dormitório**



Fonte: REZENDE (2019)

### 5.1.3. Condição III e IV - SVVI em parede cega de dormitórios entre unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual / SVVI em parede cega de salas ou cozinhas entre unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual

As tabelas 27 e 28 apresentam os resultados para SVVI dos ensaios de medição de campo e de simulação computacional, com a respectiva diferença calculada ( $SC - MC$ ), para os seguintes elementos de separação:

- paredes cegas de dormitórios entre unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, tais como corredores e escadaria nos pavimentos, as quais denominamos SVVI - Condição III, com um total de 3 ensaios analisados (Tabela 27), e;
- paredes cegas de salas ou cozinhas e áreas comuns de trânsito eventual, tais como corredores e escadaria nos pavimentos, as quais denominamos SVVI - Condição IV, com um total de 12 ensaios analisados (Tabela 28).

**Tabela 28 - Ensaios de SVVI em parede cega de dormitórios entre unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual – Condição III**

Critério (dB) (NBR 15575-4)	Ambiente avaliado	MEDIÇÕES DE CAMPO	SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL	$\Delta$ (dB)
<i>Mínimo: 40 a 44 Intermediário: 45 a 49 Superior: <math>\geq 50</math></i>	<i>Parede cega de dormitórios entre unidade habitacional e espaços de uso público</i>	<i>Resultado (dB) <math>D_{nT,w}</math></i>	<i>Resultado (dB) <math>D_{nT,w}</math></i>	<i>SC - MC</i>
I-03	Emissão: Hall - 5º Pav. Recepção: Suíte - Apt. 506	41	41	0
	Emissão: Hall - 6º Pav. Recepção: Suíte - Apt. 606	41	41	0
I-04	Emissão: Escada 17º Pav. Recepção: Suíte - Apt. 1702	48	39	-9

Fonte: REZENDE (2019)

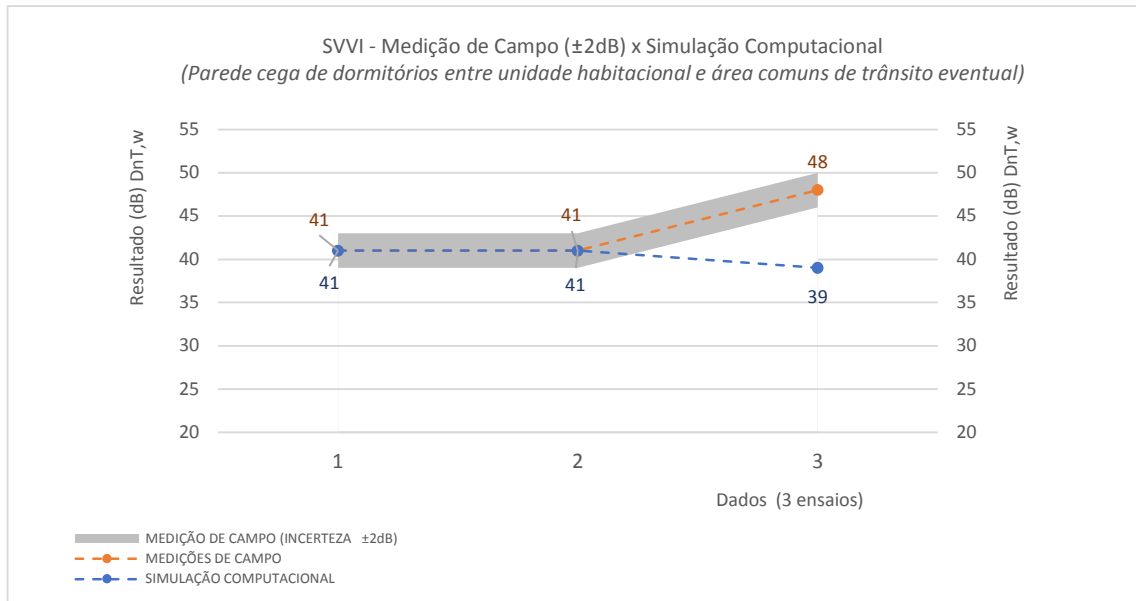
**Tabela 29 - Ensaios de SVVI em parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e área comuns de trânsito eventual – Condição IV**

Critério (dB) (NBR 15575-4)	Ambiente avaliado	MEDIÇÕES DE CAMPO	SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL	$\Delta$ (dB)
<i>Mínimo: 30 a 34 Intermediário: 35 a 39 Superior: <math>\geq 40</math></i>	<i>Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e área comuns de trânsito eventual</i>	<i>Resultado (dB) <math>D_{nT,w}</math></i>	<i>Resultado (dB) <math>D_{nT,w}</math></i>	<i>SC - MC</i>
I-02	Emissão: Escada Recepção: Cozinha - Apt. 101	49	38	-11
	Emissão: Escada Recepção: Cozinha - Apt. 104	50	38	-12
I-03	Emissão: Escada - 5º Pav. Recepção: Sala - Apt. 503	39	44	5
	Emissão: Escada - 6º Pav. Recepção: Sala - Apt. 603	36	44	8
I-06	Emissão: Escada 1º Pav. Recepção: Cozinha - Apt. 103	42	38	-4
	Emissão: Escada 1º Pav. Recepção: Cozinha - Apt. 104	44	38	-6
	Emissão: Escada 2º Pav. Recepção: Cozinha - Apt. 203	33	38	5
I-12	Emissão: Hall Recepção: Cozinha - Apt. 02	24	44	20
	Emissão: Hall Recepção: Cozinha - Apt. 03	25	44	19
	Emissão: Hall Recepção: Cozinha - Apt. 04	26	43	17
I-14	Emissão: Hall Recepção: Cozinha - Apt. 101	27	42	15
	Emissão: Hall Recepção: Cozinha - Apt. 101	25	42	17

Fonte: REZENDE (2019)

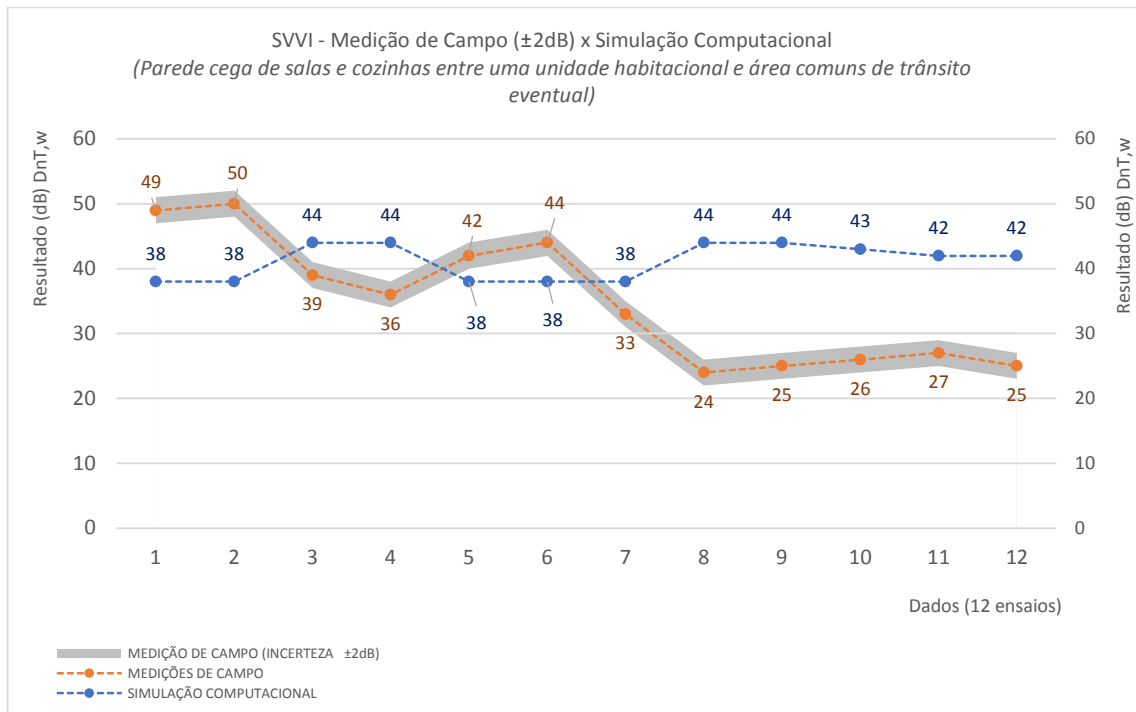
A Figura 119 apresenta um gráfico onde estão plotados os valores da simulação computacional e da medição em campo dos 3 ensaios de SVVI da condição III, ou seja, paredes cegas entre dormitórios e áreas de trânsito eventual, e a Figura 120 os valores dos 12 ensaios de SVVI da condição IV, ou seja, das situações em que o elemento de separação são paredes cegas entre salas e cozinhas e áreas de trânsito eventual, inclusive com a respectiva faixa de incerteza de  $\pm 2$ dB para a medição de campo.

**Figura 120 - Gráfico de dispersão dos resultados (DnT,w) medidos em campo e simulados - SVVI em parede cega de dormitórios e área comum de trânsito eventual**



Fonte: REZENDE (2019)

**Figura 121 - Gráfico de dispersão dos resultados (DnT,w) medidos em campo e simulados - SVVI em parede cega de salas ou cozinhas e área comum de trânsito eventual**

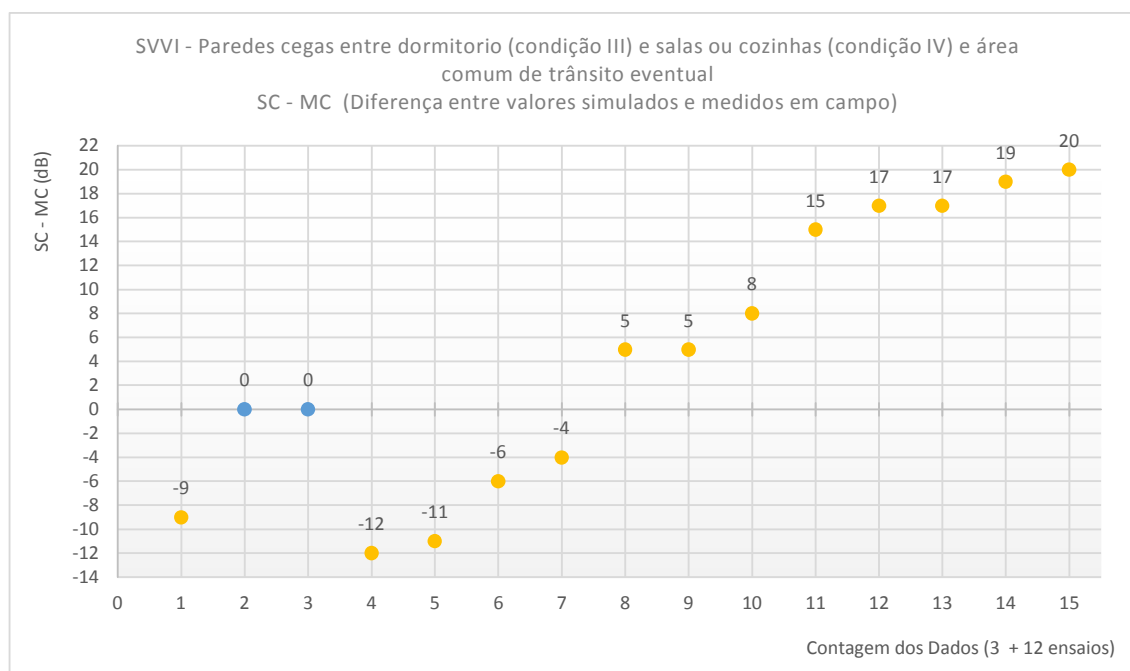


Fonte: REZENDE (2019)

Levando em consideração que na condição III, constam apenas 3 resultados, e que na condição IV, constam 12 resultados, e que ambas situações têm como ambiente contíguo uma área do tipo escadarias e corredores, a análise da dispersão das diferenças entre medição de campo e simulação para esses 15 ensaios está apresentada no mesmo gráfico, visualizado por meio da Figura 121.

A dispersão da diferença calculada entre os valores SC e MC, continua apresentada em ordem crescente de variação, com a ressalva de que para este gráfico onde estão agrupados os valores das duas condições, os 3 primeiros pontos apresentados correspondem à condição III e os 12 pontos seguintes referem-se à condição IV.

**Figura 122 - Gráfico de dispersão das diferenças (SC-MC) em dB (medição x simulação) - SVVI em parede cega de dormitório (condição III) e parede cega de salas e cozinhas (condição IV) e áreas de trânsito eventual**



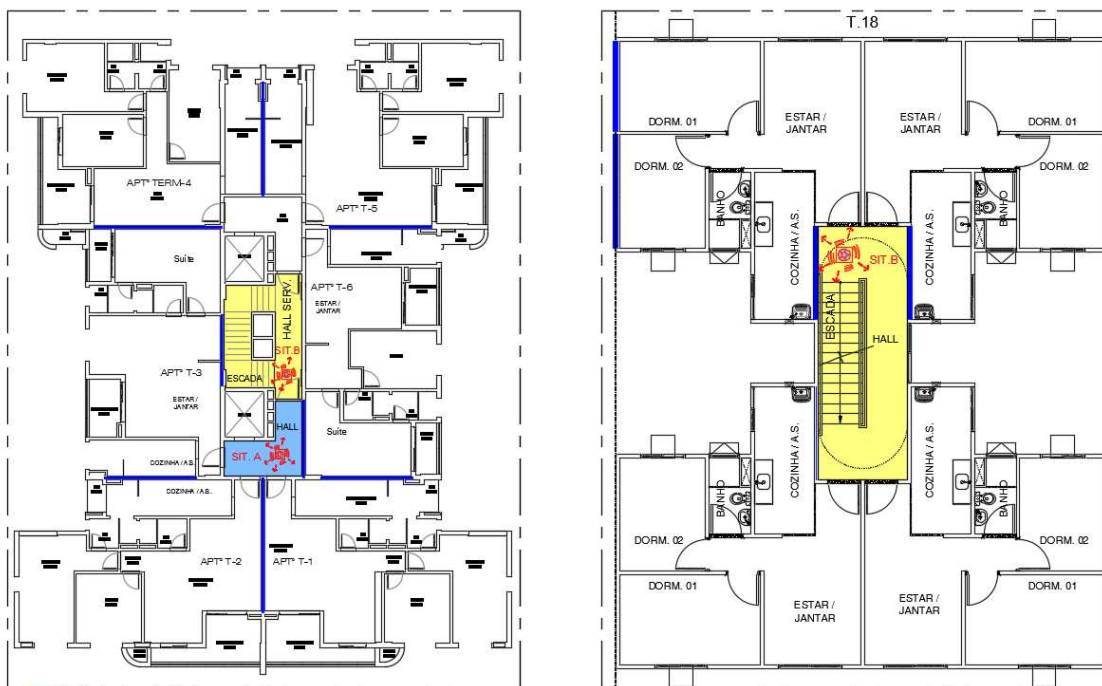
Fonte: REZENDE (2019)

Em todos os ensaios para estas duas condições, a fonte sonora foi localizada na escada ou no espaço de hall dos andares, conforme ilustrado nas as situações A e B na Figura 122.

Apenas no estudo de caso I-03, o hall era um ambiente confinado (sit. A em azul na Figura 122), motivo pelo qual, para esses resultados, os valores medição e simulação são compatíveis, como pode ser visto nos pontos referentes aos dados 2 e 3 do gráfico da Figura 121. Nas demais situações, o ambiente hall (social ou de serviço) divide o mesmo espaço com a escada de acesso

ao pavimento (sit. B da Figura 122), e os valores do comparativo simulação e medição apresentaram grande discrepância, com diferenças que vão dos 5dB aos 20dB, conforme pode ser percebido pelo gráfico da Figura 121.

**Figura 123 - Ambiente Hall nos estudos de caso: hall confinado no estudo de caso I-3 (sit.A, em azul), escada compartilhada com hall social ou hall de serviço nos demais estudos (sit. B, em amarelo)**



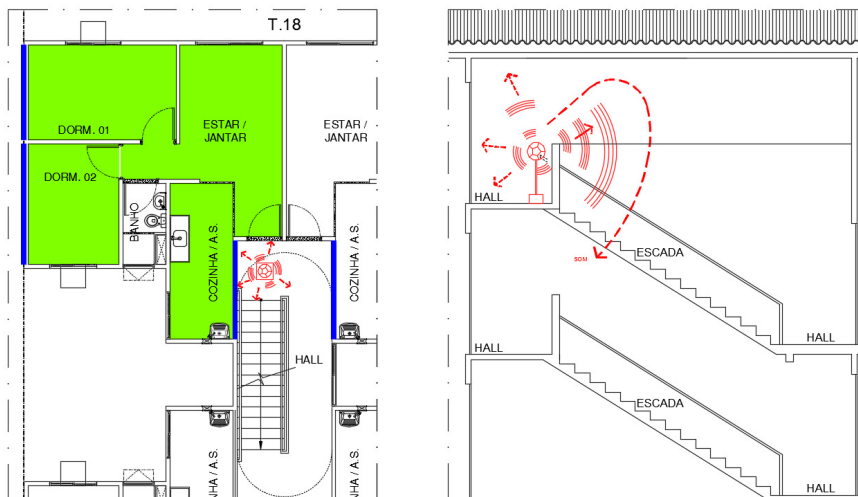
Fonte: REZENDE (2019)

O que ficou evidente na avaliação dos valores apresentados é que a simulação computacional apresenta valores discrepantes quando comparados aos medidos na situação real de campo para os ambientes de escada onde não há confinamento, **pois ocorre dissipação de parte do som emitido através dos pisos interconectados dos vãos das escadas, ou seja**, observa-se fuga de parcela do som emitido através do vão aberto/vazio entre pisos.

Por essa razão, na situação onde a emissão do som ocorre em vãos de escada e a recepção em ambiente adjacente, a comparação da simulação e medição torna-se duvidosa, uma vez que o programa apresenta a limitação de considerar os espaços como confinados, calculando um valor de reverberação e conseqüentemente transmissão do som diferente da situação real, pois as reflexões que ocorreriam no espaço confinado são diferentes num espaço onde vãos abertos fazem dissipar parcela das ondas sonoras que seriam transmitidas pelo elemento separador.

Assim, por não ser considerada a intercomunicação entre os pisos em vãos de escadas e, conseqüentemente, possível fuga parcial do som transmitido, o programa de simulação apresenta valores incompatíveis/conflitantes para o presente estudo, demonstrando a limitação desta análise através da simulação computacional, conforme ilustrado na Figura 123.

**Figura 124 - Exemplo de ensaio acústico em SVVI onde a emissão sonora ocorre em escada ou hall conectado à escada, onde ocorre dissipação de som entrepisos**

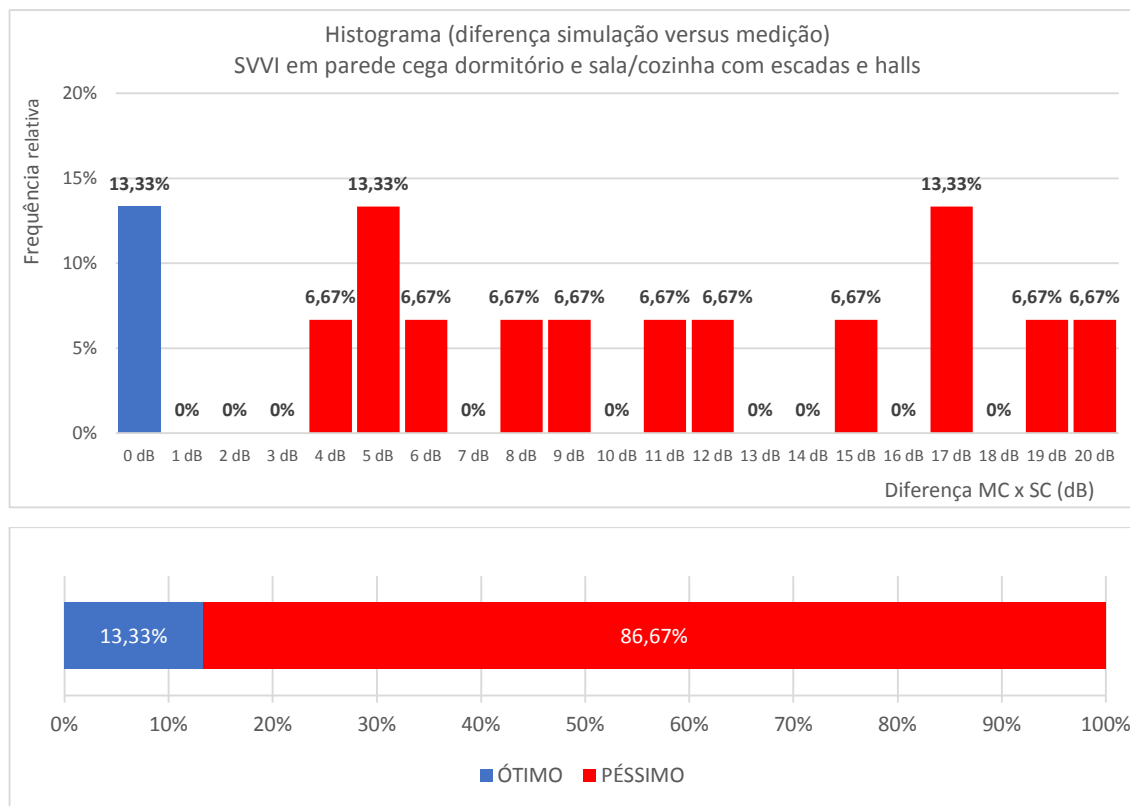


Fonte: REZENDE (2019)

Repetindo a forma de análise comparativa dos demais casos, para a análise comparativa dos valores de SVVI nas Condições III e IV, foi desprezado o fato de SC ser maior ou menor que MC, sendo considerados os valores em módulo para a diferença simulação computacional *versus* medição de campo (SC x MC), a fim de possibilitar a criação de um histograma das frequências relativas dessa diferença, conforme apresentado na Figura 124.



**Figura 125 - Histograma de frequência relativa da diferença SC x MC para ensaios de SVVI em parede cega de dormitório e sala/cozinha com escadas/halls**



Fonte: REZENDE (2019)

Em relação aos ensaios de SVVI – Condição III e IV, dos 15 ensaios dos casos de estudo, 13,33% apresentaram resultados de SC iguais aos resultados de MC, sendo classificados como “ótimos”, que foram especificamente os ensaios em que o Hall era ambiente confinado, sendo esse percentual o único dentro da margem denominada aceitável para a diferença SC x MC, correspondendo à faixa de incerteza de  $\pm 2$ dB da medição de campo.

Os demais 86,67% dos resultados apresentaram diferença a partir de 4dB, com maior distância entre SC e MC na ordem de 20dB, sendo esta parcela classificada como “péssima” para o presente estudo. Esse resultado ratifica a limitação da simulação para o ambiente não confinado.

O Quadro 18 apresenta o resumo dessa classificação, resultado do comparativo SC x MC.

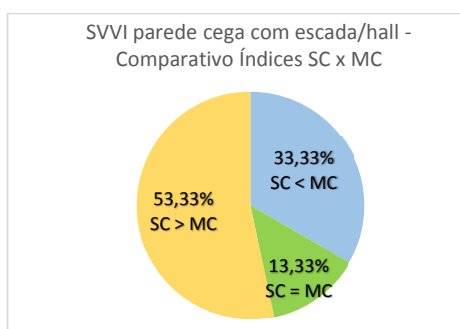
**Quadro 18 - Resumo de classificação - SVVI em parede cega de dormitório e sala/cozinha com escadarias ou halls**

13,33%	ÓTIMO ATÉ ACEITÁVEL
86,67%	RUIM A PÉSSIMO

Fonte: REZENDE (2019)

Em relação à quantidade de resultados em que a SC foi maior que a MC ou vice-versa, ou seja, para essa amostra foi verificado que 53,33% dos 15 ensaios apresentaram resultados de simulação computacional superiores aos resultados da medição de campo ( $SC > MC$ ); 33,33% dos ensaios apresentaram medição de campo maiores que o resultado da simulação computacional ( $SC < MC$ ) e 13,33% dos ensaios apresentaram valores iguais entre medição de campo e simulação computacional ( $SC = MC$ ), conforme ilustrado na Figura 125.

**Figura 126 - Comparativo dos resultados SC x MC - SVVI em parede cega de dormitório e sala/cozinha com área de trânsito eventual (escadas e halls)**



Fonte: REZENDE (2019)

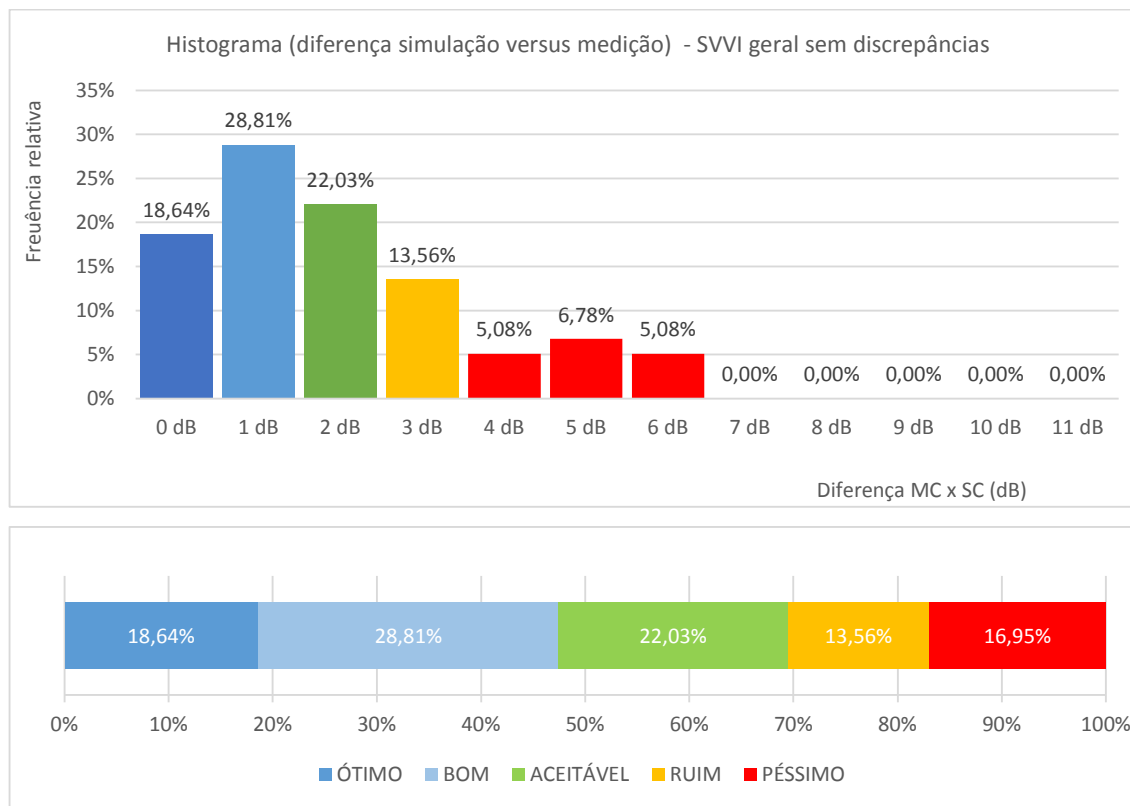
#### 5.1.4. SVVI geral sem discrepâncias

Retirando da análise geral de SVVI, os dados referentes às condições III e IV, cuja simulação computacional não consegue reproduzir a situação real de interconexão de pisos nas escadas, pois considera-os, equivocadamente, como ambientes confinados, reduziremos a massa de dados de SVVI geral de 75 para 59 ensaios, e assim a análise consegue uma maior representatividade quanto à fidelidade da simulação em relação à situação real dos ambientes.

Para esses 59 valores de SVVI geral sem os dados discrepantes, 18,64% da amostra apresentou valores iguais em SC e MC, sendo esta parte classificada como “ótima”, 28,81% apresentaram diferença de 1dB, para a qual classificou-se como resultado “bom” e 22,03% apresentaram diferença de 2dB, cuja classificação adotada foi de “aceitável”, totalizando 69,49% da amostra dentro da faixa de incerteza considerada de  $\pm 2$ dB, sendo esta a margem aceitável considerada para a diferença entre a simulação e a medição.

Além desses percentuais, 13,56% apresentaram diferença de 3dB, classificados como resultado “ruim” e 16,95% apresentaram resultados a partir de 4dB, cuja classificação recebida foi de nível “péssimo”, totalizando 30,51% de ruim a péssimo para essa amostra.

**Figura 127 - Histograma de frequência relativa da diferença SC x MC para ensaios de SVVI geral sem discrepâncias**



Fonte: REZENDE (2019)

Assim, retirando os valores de medição e simulação conflitantes do total da amostra referente aos dados de SVVI geral, 69,49% ficou dentro da faixa aceitável e 30,51% apresentaram resultados considerados de ruim a péssimo, conforme resumido no Quadro 19.

**Quadro 19 - Resumo de classificação - SVVI geral excluídos os valores discrepantes**

69,49%	ÓTIMO ATÉ ACEITÁVEL
30,51%	RUIM A PÉSSIMO

Fonte: REZENDE (2019)

## 5.2. Sistemas de Vedações Horizontais - SVH

Para os sistemas de vedação horizontais – SVH, foram realizadas 228 simulações, sendo 116 estudos de avaliação quanto ao isolamento ao ruído aéreo (SVH-RA) e 102 estudos quanto ao isolamento ao ruído de impacto (SVH-RI), conforme resumo apresentado na Tabela 29 e detalhados em seguida nos subitens 5.2.1 e 5.2.2.

**Tabela 30 - Quantidade de ensaios de SVH realizados**

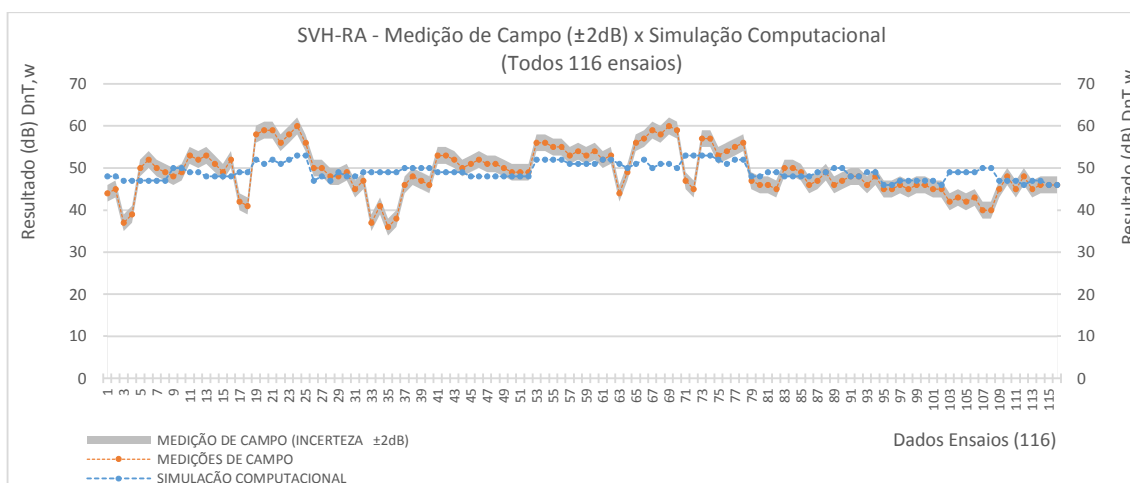
IMÓVEL	SVH	QUANT. AVALIAÇÕES REALIZ.	
		SVH-RA	SVH-RI
I-1	RC (10) + CP (50) + LJ (50) + AR (60) + FG (20) RC (15) + CP (25) + LJ (50) + AR (100) + FG (20)	8	4
I-2	RC (10) + CP (50) + LJ (50) + AR (100) + FG (20) RC (10) + CP (50) + LJ (50) + AR (200) + FG (20)	10	5
I-3	RC (10) + CP (70) + LJ (60) + AR (260) + FG (20) RC (10) + CP (60) + LJ (60) + AR (260) + FG (20)	7	7
I-4	RC (10) + CP (30) + LJ (60) + AR (110) + FG (20) RC (10) + CP (30) + LJ (60) + AR (200) + FG (20)	4	4
I-5	RC (10) + CP (30) + LJ (60) + AR (100) + FG (30) RC (10) + CP (30) + LJ (60) + AR (100) + FG (20)	3	3
I-6	RC (20) + CP (35) + LJ (60) + AR (200) + FG (20)	20	20
I-7	RC (20) + CP (65) + LJ (60) + AR (120) + FG (20)	10	10
I-8	RC (10) + CPE (40) + CP (30) + LJ (50) + AR (120) + FG (20) RC (10) + CP (70) + LJ (50) + AR (120) + FG (20)	8	8
I-9	RC (20) + CP (40) + LJ (70) + AR (120) + FG (20)	8	8
I-10	RC (10) + CP (25) + LJM (100)	8	8
I-11	RC (10) + CP (30) + LJM (100)	8	8
I-12	RC (10) + CP (5) + LJM (100)	8	8
I-13	RC (15) + CP (30) + LJM (100)	6	6
I-14	RC (10) + CP (5) + LJM (100) RC (15) + LJM (100)	8	3
<b>TOTAL DE AVALIAÇÕES REALIZADAS</b>		<b>116</b>	<b>102</b>

Fonte: REZENDE (2019)

### 5.2.1. Sistemas de Vedações Horizontais – Isolamento ao Ruído Aéreo - SVH-RA

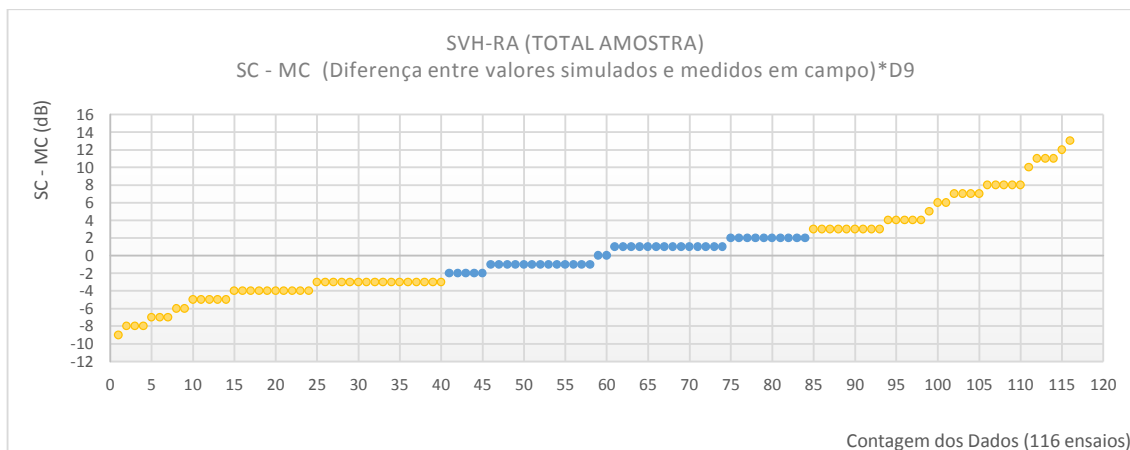
A Figura 127 apresenta um gráfico onde estão plotados os valores da simulação computacional e os valores da medição em campo de todos os 116 ensaios de SVH-RA, inclusive a respectiva faixa de incerteza de  $\pm 2\text{dB}$  para a medição de campo, incerteza explicada no subitem 3.3 dos critérios de avaliação para o comparativo dos resultados. Os dados nesse gráfico estão apresentados na ordem das análises dos casos de estudo. A Figura 128 apresenta a dispersão da diferença calculada entre os valores da simulação computacional e a medição em campo, porém não mais em ordem dos casos de estudo, mas em ordem crescente da variação calculada.

**Figura 128 - Gráfico de dispersão dos resultados (DnT,w) medidos em campo e simulados - SVH-RA**



Fonte: REZENDE (2019)

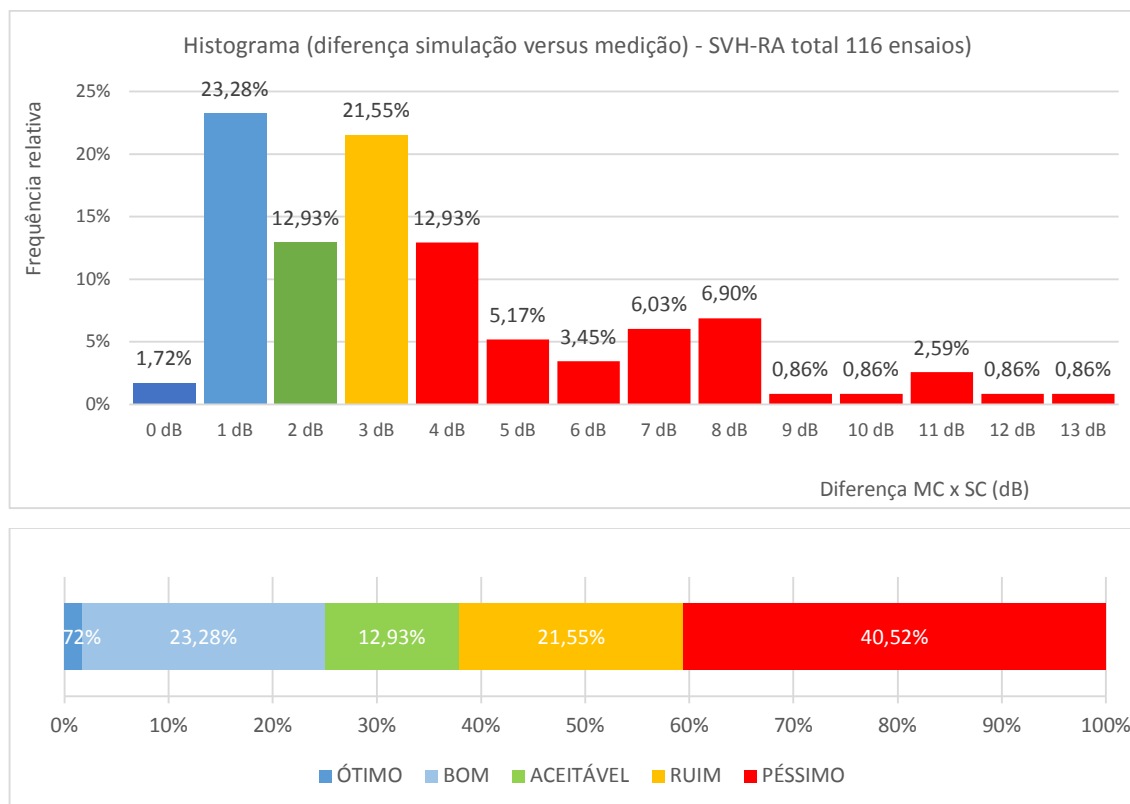
**Figura 129 - Gráfico de dispersão das diferenças (SC-MC) em dB (medição x simulação) em ordem crescente - SVH-RA**



Fonte: REZENDE (2019)

Sobre os valores calculados da diferença simulação computacional *versus* medição de campo (SC x MC), foi desprezada a condição de SC ser maior ou menor que MC, sendo considerados os valores em módulo para essa diferença, e então foi montado um histograma das frequências relativas dessa diferença SC x MC, conforme apresentado na Figura 129.

**Figura 130 - Histograma de frequência relativa da diferença SC x MC para ensaios de SVH-RA geral**



Fonte: REZENDE (2019)

Para a amostra total SVH-RA, ou seja, para o total dos 116 ensaios, 1,72% da amostra apresentou valores iguais em SC e MC, sendo portanto classificados como resultado “ótimo”, 23,28% apresentaram diferença de 1dB, para a qual classificou-se como resultado “bom” e 12,93% apresentaram diferença de 2dB, cuja classificação adotada foi de “aceitável”, totalizando 37,93% da amostra dentro da faixa de incerteza considerada de  $\pm 2$ dB, sendo esta a margem aceitável considerada para a diferença entre a simulação e a medição.

Além desses percentuais, 21,55% apresentaram diferença de 3dB, classificados como resultado “ruim” e 40,52% apresentaram resultados a partir de 4dB, chegando nessa amostra a alguns valores de diferença de até 13dB entre SC e MC, cuja classificação recebida foi de nível “péssimo”, totalizando 62,07% de ruim a péssimo para essa amostra de SVH-RA.

O Quadro 19 apresenta o resumo dessa classificação, resultado do comparativo SC x MC.

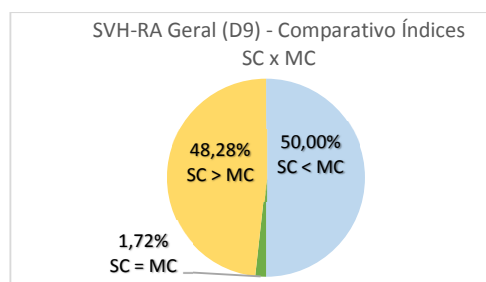
**Quadro 20 - Resumo de classificação – SVH-RA geral**

37,93%	ÓTIMO ATÉ ACEITÁVEL
62,07%	RUIM A PÉSSIMO

Fonte: REZENDE (2019)

Outra análise realizada com os dados da simulação computacional e medição de campo, foi a quantidade de resultados em que a SC foi maior que a MC ou vice-versa, ou seja, para essa amostra foi verificado que, dos 116 ensaios de SVH-RA, 48,28% apresentaram resultados de simulação computacional maiores que os resultados da medição de campo ( $SC > MC$ ); 50% dos ensaios apresentaram medição de campo maiores que o resultado da simulação computacional ( $SC < MC$ ) e 1,72% dos ensaios apresentaram valores iguais entre medição de campo e simulação computacional ( $SC = MC$ ), conforme ilustrado na Figura 130.

**Figura 131 - Comparativo dos resultados SC x MC - SVH-RA**



Fonte: REZENDE (2019)

Esse resultado, desconsiderando qualquer faixa de incerteza, sugere que para SVH-RA, a probabilidade de a simulação computacional ser maior que a medição de campo é igual à situação oposta, ou seja, da medição apresentar valores maiores que a simulação.

Partindo, posteriormente para uma análise mais detalhada, e retirando os casos atípicos de valores discrepantes, poderá ser analisado se, para SVH-RA, a expectativa inicial de que a simulação necessariamente apresentará valores maiores que a medição de campo será válida, uma vez que na simulação computacional as condições para o cálculo do isolamento acústico são controladas, em oposição às condições da medição de campo onde possíveis interferências e falhas nas vedações comprometem o resultado de isolamento acústico esperado.

Fazendo uma distinção na análise quanto ao tipo de elemento de separação constante na norma de desempenho, verificou-se que dos 116 ensaios realizados no estudo do isolamento sonoro em SVH-RA, 65 foram em sistemas de piso separando unidades autônomas de áreas em que um dos recintos fosse dormitório e 51 ensaios foram em sistemas de piso separando unidades autônomas sem que um dos recintos fosse dormitório, atendendo, desta forma, a duas das situações previstas na norma. A Tabela 30 apresenta a quantidade de ensaios realizados para cada classificação dos elementos SVH-RA previstos na norma de desempenho.

**Tabela 3031 - Quantidade de ensaios analisados para o SVH-RA conforme tipos de elementos da Tabela E.2 da norma de desempenho NBR 15575-3 – Limites para o Método de engenharia**

Quantidade de Ensaios realizados	Tipos de Elementos SVH-RA e Limites constantes na NBR 15575-3		
	Elemento	$D_{nT,w}$ (dB)	Nível de Desempenho
65	Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas de áreas em que um dos recintos seja dormitório	45 a 49	M
		50 a 54	I
		$\geq 55$	S
51	Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas de áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria nos pavimentos, bem como em pavimentos distintos ( <i>em unidades autônomas sem que um dos recintos seja dormitório</i> )	40 a 44	M
		45 a 49	I
		$\geq 50$	S
0	Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas de áreas comuns de uso coletivo para atividades de lazer e esportivas, tais como home theater, salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas	45 a 49	M
		50 a 54	I
		$\geq 55$	S

Fonte: REZENDE (2019) (ADAPTADO Tabela E.2 NBR 15575-3, ABNT, 2013)

### 5.2.1.1. Condição I – SVH-RA em sistemas de piso entre unidades habitacionais autônomas em que um dos recintos é um dormitório

A Tabela 31 apresenta os resultados para SVH dos 65 ensaios de medição de campo e de simulação computacional para os sistemas de piso que separam unidades habitacionais autônomas em que um dos recintos é dormitório, com a respectiva diferença calculada (SC – MC).



**Tabela 32 - Ensaio de SVH-RA em sistemas de piso entre unidades habitacionais autônomas, nas situações onde há ambiente dormitório**

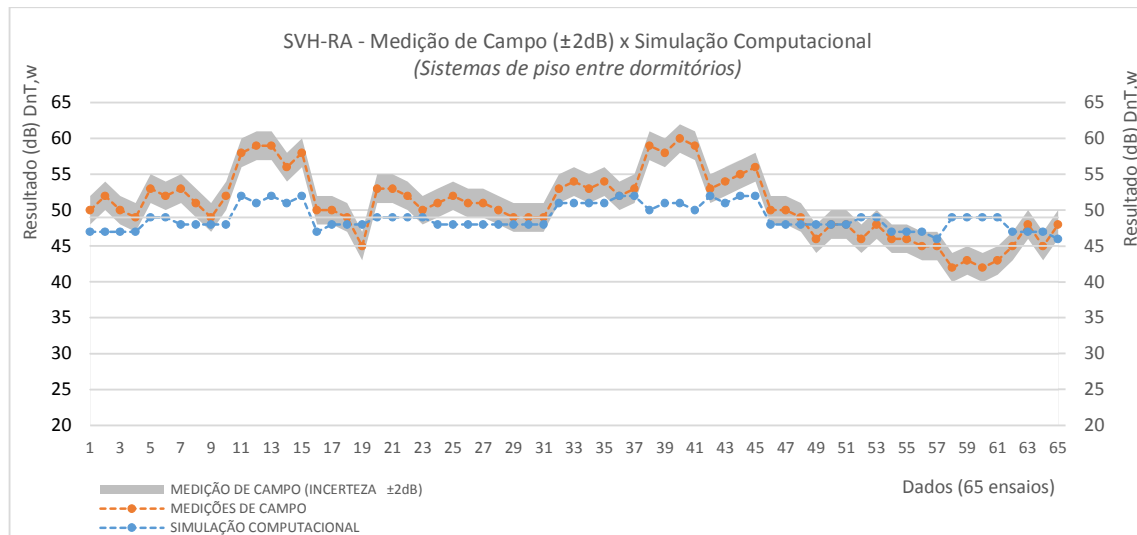
<b>Critério (dB) (NBR 15575-3)</b>	<b>AMBIENTE AVALIADO</b>	<b>MEDIÇÕES DE CAMPO</b>	<b>SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL</b>	<b><math>\Delta</math> (dB)</b>
Mínimo: 45 a 49 Intermediário: 50 a 54 Superior: $\geq 55$	<b>Sistemas entrepisos entre unidades habitacionais em que um ambiente é dormitório</b>	<b>Resultado (dB) <math>D_{nt,w}</math></b>	<b>Resultado (dB) <math>D_{nt,w}</math></b>	<b>SC - MC</b>
I-01	Sistema de Piso - Suíte Emissão Ap.2003 > Recepção Ap.2103	50	47	-3
	Sistema de Piso - Suíte Emissão Ap.2103 > Recepção Ap.2003	52	47	-5
	Sistema de Piso - Quarto Emissão Ap.2103 > Recepção Ap.2003	50	47	-3
	Sistema de Piso - Quarto Emissão Ap.2003 > Recepção Ap.2103	49	47	-2
I-02	Sistema de Piso - Quarto 1 Emissão Ap.102 > Recepção Ap.202	53	49	-4
	Sistema de Piso - Quarto 1 Emissão Ap.103 > Recepção Ap.203	52	49	-3
	Sistema de Piso - Quarto 2 Emissão Ap.102 > Recepção Ap.202	53	48	-5
	Sistema de Piso - Quarto 2 Emissão Ap.103 > Recepção Ap.203	51	48	-3
	Sistema de Piso - Quarto 3 Emissão Ap.102 > Recepção Ap.202	49	48	-1
	Sistema de Piso - Quarto 3 Emissão Ap.103 > Recepção Ap.203	52	48	-4
I-03	Sistema de Piso - Quarto 1 Emissão Ap.504 > Recepção Ap.604	58	52	-6
	Sistema de Piso - Quarto 2 Emissão Ap.504 > Recepção Ap.604	59	51	-8
	Sistema de Piso - Quarto Emissão Ap.506 > Recepção Ap.606	59	52	-7
	Sistema de Piso - Suíte Emissão Ap.504 > Recepção Ap.604	56	51	-5
	Sistema de Piso - Suíte Emissão Ap.506 > Recepção Ap.606	58	52	-6
I-04	Sistema de Piso - Quarto Emissão Ap.1602 > Recepção Ap.1702	50	47	-3
	Sistema de Piso - Suíte Emissão Ap.1602 > Recepção Ap.1702	50	48	-2
I-05	Sistema de Piso - Quarto Emissão Ap.203 > Recepção Ap.103	49	48	-1
	Sistema de Piso - Suíte Emissão Ap.203 > Recepção Ap.103	45	48	3
I-06	Sistema de Piso - Quarto 1 Emissão Ap.101 > Recepção Ap.201	53	49	-4
	Sistema de Piso - Quarto 1 Emissão Ap.102 > Recepção Ap.202	53	49	-4
	Sistema de Piso - Quarto 1 Emissão Ap.103 > Recepção Ap.203	52	49	-3
	Sistema de Piso - Quarto 1 Emissão Ap.203 > Recepção Ap.303	50	49	-1
	Sistema de Piso - Quarto 2 Emissão Ap.101 > Recepção Ap.201	51	48	-3
	Sistema de Piso - Quarto 2 Emissão Ap.102 > Recepção Ap.202	52	48	-4
	Sistema de Piso - Quarto 2 Emissão Ap.103 > Recepção Ap.203	51	48	-3
	Sistema de Piso - Quarto 2 Emissão Ap.203 > Recepção Ap.303	51	48	-3
	Sistema de Piso - Suíte Emissão Ap.101 > Recepção Ap.201	50	48	-2
	Sistema de Piso - Suíte Emissão Ap.102 > Recepção Ap.202	49	48	-1
	Sistema de Piso - Suíte Emissão Ap.103 > Recepção Ap.203	49	48	-1
	Sistema de Piso - Suíte Emissão Ap.203 > Recepção Ap.303	49	48	-1

I-07	Sistema de Piso - Suíte 1 Emissão Ap.101 > Recepção Ap.201	53	51	-2
	Sistema de Piso - Suíte 1 Emissão Ap.102 > Recepção Ap.202	54	51	-3
	Sistema de Piso - Suíte 2 Emissão Ap.101 > Recepção Ap.201	53	51	-2
	Sistema de Piso - Suíte 2 Emissão Ap.102 > Recepção Ap.202	54	51	-3
	Sistema de Piso - Suíte 3 Emissão Ap.101 > Recepção Ap.201	52	52	0
	Sistema de Piso - Suíte 3 Emissão Ap.102 > Recepção Ap.202	53	52	-1
I-08	Sistema de Piso - Quarto Emissão Ap.1503 > Recepção Ap.1603	59	51	-8
	Sistema de Piso - Suíte casal Emissão Ap.1503 > Recepção Ap.1603	58	51	-7
	Sistema de Piso - Suíte Emissão Ap.1504 > Recepção Ap.1604	60	51	-9
	Sistema de Piso - Suíte casal Emissão Ap.1504 > Recepção Ap.1604	59	51	-8
I-09	Sistema de Piso - Suíte casal Emissão Ap.202S > Recepção Ap.302S	53	52	-1
	Sistema de Piso - Suíte filha Emissão Ap.202s > Recepção Ap.302s	54	51	-3
	Sistema de Piso - Suíte filho Emissão Ap.202S > Recepção Ap.302S	55	52	-3
	Sistema de Piso - Suíte visita Emissão Ap.102S > Recepção Ap.202S	56	52	-4
I-10	Sistema de Piso - Quarto 1 Emissão Ap.01 > Recepção Ap.101	50	49	-1
	Sistema de Piso - Quarto 1 Emissão Ap.02 > Recepção Ap.102	50	49	-1
	Sistema de Piso - Quarto 1 Emissão Ap.03 > Recepção Ap.103	49	49	0
	Sistema de Piso - Quarto 1 Emissão Ap.04 > Recepção Ap.104	46	49	3
I-11	Sistema de Piso - Quarto 1 Emissão Ap.01 > Recepção Ap.101	48	49	1
	Sistema de Piso - Quarto 1 Emissão Ap.02 > Recepção Ap.102	48	49	1
	Sistema de Piso - Quarto 2 Emissão Ap.01 > Recepção Ap.101	46	49	3
	Sistema de Piso - Quarto 2 Emissão Ap.02 > Recepção Ap.102	48	49	1
I-12	Sistema de Piso - Quarto 1 Emissão Ap.103 > Recepção Ap.203 TB	46	47	1
	Sistema de Piso - Quarto 1 Emissão Ap.204 > Recepção Ap.304 TA	46	47	1
	Sistema de Piso - Quarto 2 Emissão Ap.103 > Recepção Ap.203 TB	45	47	2
	Sistema de Piso - Quarto 2 Emissão Ap.204 > Recepção Ap.304 TA	45	46	1
I-13	Sistema de Piso - Quarto Emissão Ap.101 > Recepção Ap.201	42	50	8
	Sistema de Piso - Quarto Emissão Ap.104 > Recepção Ap.204	43	50	7
	Sistema de Piso - Suíte Emissão Ap.101 > Recepção Ap.201	42	49	7
	Sistema de Piso - Suíte Emissão Ap.104 > Recepção Ap.204	43	49	6
I-14	Sistema de Piso - Quarto 1 Emissão Ap.103 > Recepção Ap.203	45	47	2
	Sistema de Piso - Quarto 1 Emissão Ap.104 > Recepção Ap.204	48	47	-1
	Sistema de Piso - Quarto 2 Emissão Ap.103 > Recepção Ap.203	45	47	2
	Sistema de Piso - Quarto 2 Emissão Ap.104 > Recepção Ap.204	48	47	-1

Fonte: REZENDE (2019)

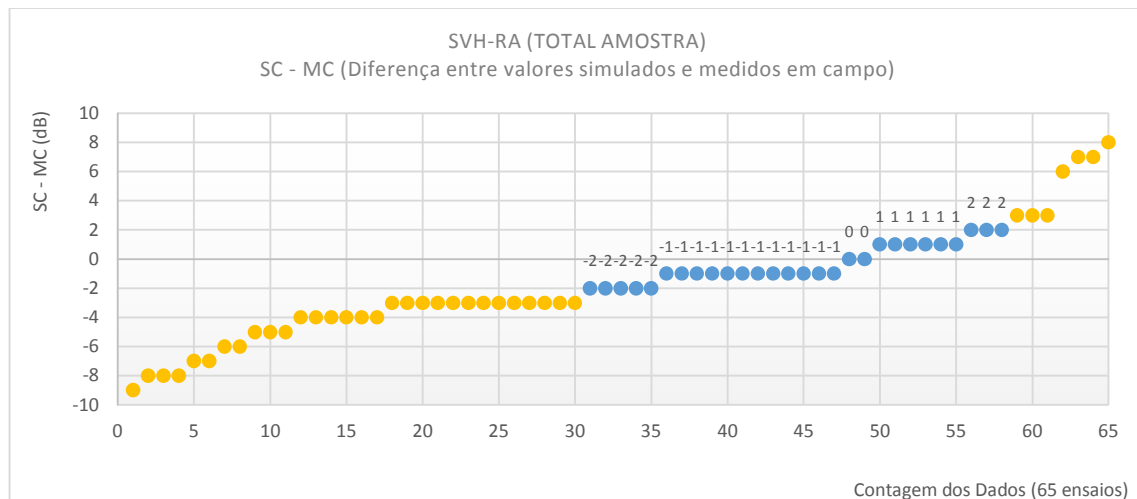
A Figura 131 apresenta um gráfico onde estão plotados os valores da simulação computacional e os valores da medição em campo de todos os 65 ensaios de SVH-RA, para a condição I em que entrepisos há ambiente de dormitório, inclusive a respectiva faixa de incerteza de  $\pm 2$ dB para a medição de campo, incerteza explicada no subitem 3.3 dos critérios de avaliação para o comparativo dos resultados, apresentados na ordem dos ensaios de cada estudo de caso conforme apresentado na Tabela 30. O gráfico da Figura 132 apresenta a dispersão da diferença calculada entre os valores da simulação computacional e a medição em campo, em ordem crescente da variação calculada.

**Figura 132 - Gráfico de dispersão dos resultados (DnT,w) medidos em campo e simulados - SVH-RA (Condição I - sistemas de piso entre dormitórios)**



Fonte: REZENDE (2019)

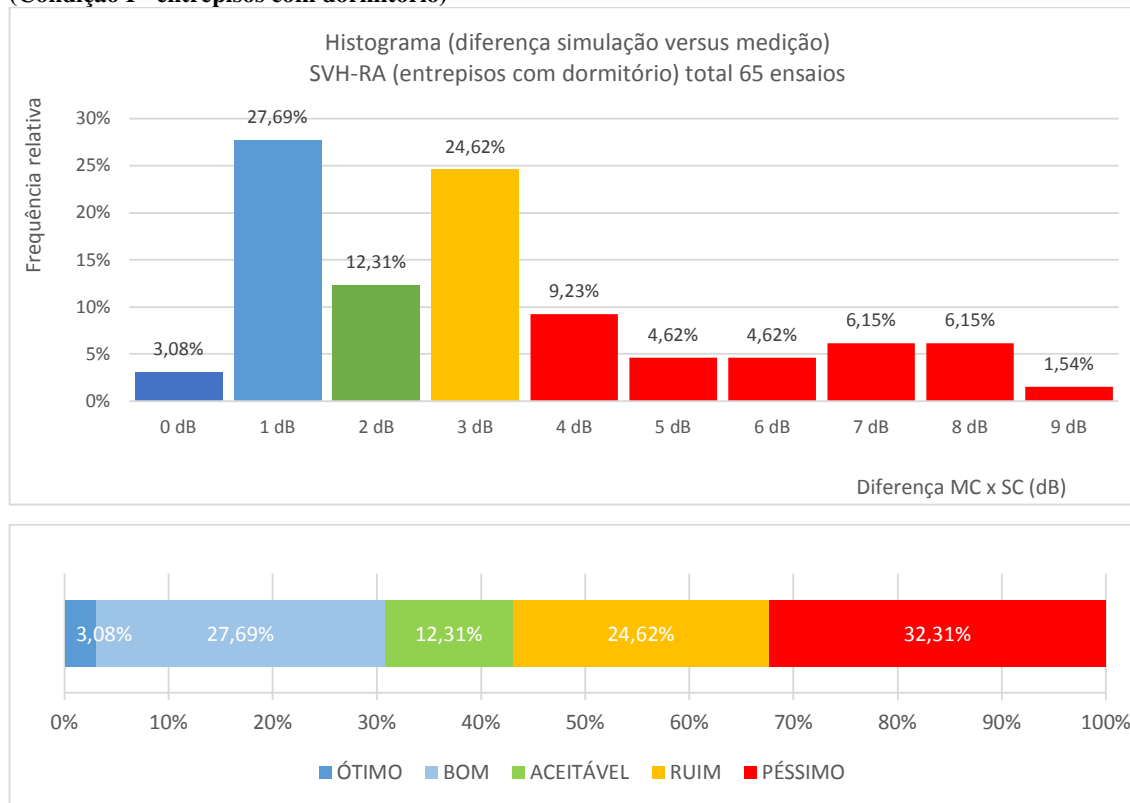
**Figura 133 - Gráfico de dispersão das diferenças (SC-MC) em dB (medição x simulação) em ordem crescente - SVH-RA (Condição I - sistemas entrepisos entre dormitórios)**



Fonte: REZENDE (2019)

Sobre os valores calculadas da diferença simulação computacional *versus* medição de campo (SC x MC), foi desprezada a condição de SC ser maior ou menor que MC, sendo considerados os valores em módulo para essa diferença, e então foi montado um histograma das frequências relativas dessa diferença SC x MC, conforme apresentado na Figura 133.

**Figura 134 - Histograma de frequência relativa da diferença SC x MC para ensaios de SVH-RA (Condição I - entrespisos com dormitório)**



Fonte: REZENDE (2019)

Para a condição I de SVH-RA, entrespisos com ambiente dormitório, do total dos 65 ensaios, 3,08% da amostra apresentou valores iguais em SC e MC, sendo esta parcela da amostra classificada como “ótima”, 27,69% apresentaram diferença de 1dB, para a qual classificou-se como resultado “bom” e 12,31% apresentaram diferença de 2dB, cuja classificação adotada foi de “aceitável”, totalizando 43,08% da amostra dentro da faixa de incerteza considerada de  $\pm 2$ dB, sendo esta a margem aceitável considerada para a diferença entre a simulação e a medição do presente estudo.

Além desses percentuais, 24,62% apresentaram diferença de 3dB, recebendo essa parcela classificação de resultado “ruim” e 32,31% apresentaram resultados a partir de 4dB, chegando

a alguns valores de diferença de até 9dB entre SC e MC, cuja classificação recebida foi de nível “péssimo”, totalizando 56,92% de ruim a péssimo para essa amostra.

O Quadro 20 apresenta o resumo dessa classificação, resultado do comparativo SC x MC.

**Quadro 21 - Resumo de classificação – SVH-RA**

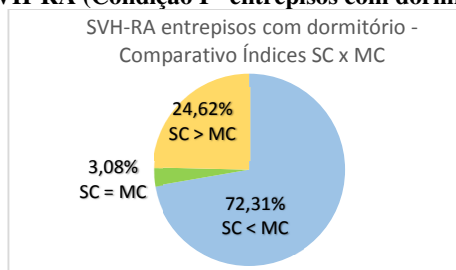
**(Condição I – entrespisos com dormitório)**

43,08%	ÓTIMO ATÉ ACEITÁVEL
56,92%	RUIM A PÉSSIMO

Fonte: REZENDE (2019)

Em relação ao comparativo de quanto os dados da simulação computacional estão distantes da medição de campo, para essa amostra (SVH-RA Condição I), foi verificado que 24,62% dos 65 ensaios apresentaram resultados de simulação computacional maiores que os resultados da medição de campo ( $SC > MC$ ); 72,31% dos ensaios apresentaram medição de campo maiores que o resultado da simulação computacional ( $SC < MC$ ) e 3,08% dos ensaios apresentaram valores iguais entre medição de campo e simulação computacional ( $SC = MC$ ), conforme apresentado na Figura 134.

**Figura 135 - Comparativo dos resultados SC x MC - SVH-RA (Condição I - entrespisos com dormitórios)**



Fonte: REZENDE (2019)

Esse resultado, desconsiderando qualquer faixa de incerteza, vai de encontro ao que se esperava de que a simulação necessariamente apresentaria valores maiores que a medição de campo, uma vez que na simulação computacional as condições para o cálculo do isolamento acústico são previsíveis e controladas, em oposição às condições da medição de campo em que vários fatores imprevisíveis, podem interferir negativamente nos resultados do isolamento acústico real.

### 5.2.1.2. Condição II – SVH-RA em sistemas de piso entre unidades habitacionais autônomas em que um dos recintos não é um dormitório

A Tabela 32 apresenta os resultados para SVH dos 51 ensaios de medição de campo e de simulação computacional para os sistemas de piso que separam unidades habitacionais autônomas em que um dos recintos não é dormitório, com a respectiva diferença calculada (SC – MC).

**Tabela 33 - Ensaios de SVH-RA em sistemas de piso entre unidades habitacionais autônomas, nas situações onde não há ambiente dormitório**

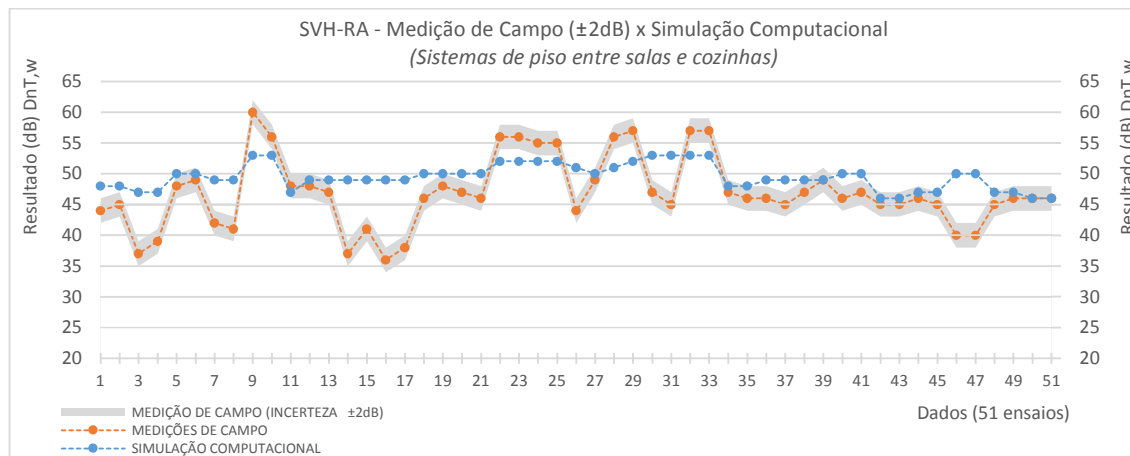
Critério (dB) (NBR 15575-3)	AMBIENTE AVALIADO	MEDIÇÕES DE CAMPO	SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL	$\Delta$ (dB)
Mínimo: 40 a 44 Intermediário: 45 a 49 Superior: $\geq 50$	<b>Sistemas entrepisos entre unidades habitacionais em que um ambiente não é dormitório</b>	<b>Resultado (dB) <math>D_{nt,w}</math></b>	<b>Resultado (dB) <math>D_{nt,w}</math></b>	<b>SC - MC</b>
I-01	Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.2003 > Recepção Ap.2103	44	48	4
	Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.2103 > Recepção Ap.2003	45	48	3
	Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.2003 > Recepção Ap.2103	37	47	10
	Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.2103 > Recepção Ap.2003	39	47	8
I-02	Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.102 > Recepção Ap.202	48	50	2
	Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.103 > Recepção Ap.203	49	50	1
	Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.102 > Recepção Ap.202	42	49	7
	Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.103 > Recepção Ap.203	41	49	8
I-03	Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.504 > Recepção Ap.604	60	53	-7
	Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.506 > Recepção Ap.606	56	53	-3
I-04	Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.1602 > Recepção Ap.1702	48	47	-1
	Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.1602 > Recepção Ap.1702	48	49	1
I-05	Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.203 > Recepção Ap.103	47	49	2
I-06	Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.101 > Recepção Ap.201	37	49	12
	Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.102 > Recepção Ap.202	41	49	8
	Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.103 > Recepção Ap.203	36	49	13
	Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.203 > Recepção Ap.303	38	49	11
	Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.101 > Recepção Ap.201	46	50	4
	Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.102 > Recepção Ap.202	48	50	2

	Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.103 > Recepção Ap.203	47	50	3
	Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.203 > Recepção Ap.303	46	50	4
I-07	Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.101 > Recepção Ap.201	56	52	-4
	Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.102 > Recepção Ap.202	56	52	-4
	Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.101 > Recepção Ap.201	55	52	-3
	Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.102 > Recepção Ap.202	55	52	-3
I-08	Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.1503 > Recepção Ap.1603	44	51	7
	Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.1504 > Recepção Ap.1604	49	51	2
	Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.1503 > Recepção Ap.1603	56	51	-5
	Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.1504 > Recepção Ap.1604	57	52	-5
I-09	Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.102S > Recepção Ap.202S	47	53	6
	Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.202S > Recepção Ap.302S	45	53	8
	Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.102S > Recepção Ap.202S	57	53	-4
	Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.202S > Recepção Ap.302S	57	53	-4
I-10	Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.02 > Recepção Ap.102	47	49	2
	Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.03 > Recepção Ap.103	46	49	3
	Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.02 > Recepção Ap.102	46	50	4
	Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.03 > Recepção Ap.103	45	50	5
I-11	Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.01 > Recepção Ap.101	47	50	3
	Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.02 > Recepção Ap.102	49	50	1
	Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.01 > Recepção Ap.101	46	50	4
	Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.02 > Recepção Ap.102	47	50	3
I-12	Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.103 > Recepção Ap.203 TB	45	46	1
	Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.204 > Recepção Ap.304 TA	45	46	1
	Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.103 > Recepção Ap.203 TB	46	47	1
	Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.204 > Recepção Ap.304 TA	45	47	2
I-13	Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.101 > Recepção Ap.201	40	51	11
	Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.104 > Recepção Ap.204	40	51	11
I-14	Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.103 > Recepção Ap.203	45	48	3
	Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.104 > Recepção Ap.204	46	48	2
	Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.103 > Recepção Ap.203	46	47	1
	Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.104 > Recepção Ap.204	46	47	1

Fonte: REZENDE (2019)

A Figura 135 apresenta um gráfico onde estão plotados os valores da simulação computacional e os valores da medição em campo de todos os 51 ensaios de SVH-RA, para a condição II em que entrepisos não há ambiente dormitório, inclusive a respectiva faixa de incerteza de  $\pm 2\text{dB}$  para a medição de campo, ordenados conforme apresentados na Tabela 31.

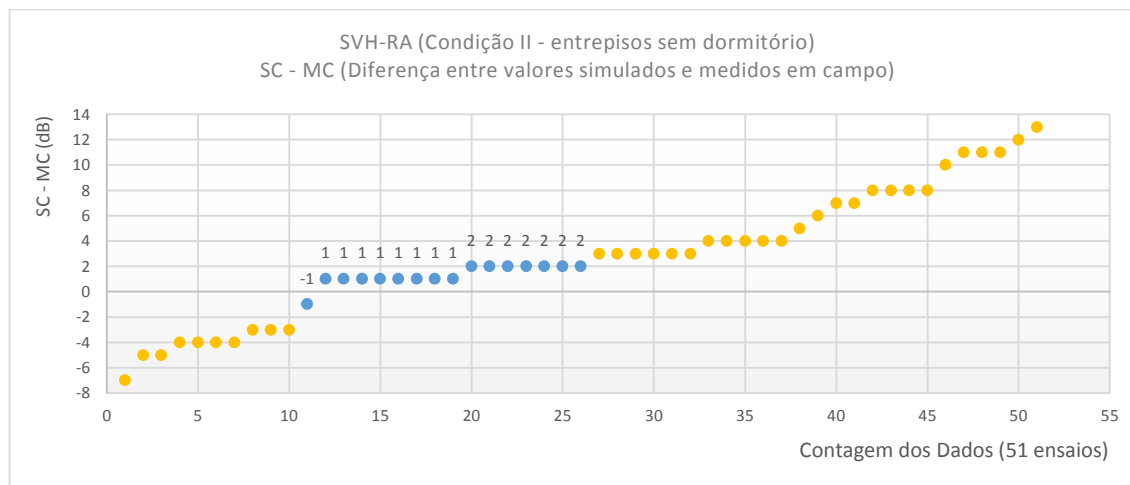
**Figura 136 - Gráfico de dispersão dos resultados ( $\text{DnT,w}$ ) medidos em campo e simulados - SVH-RA (Condição II - entrepisos sem dormitório)**



Fonte: REZENDE (2019)

A Figura 136 apresenta a dispersão, em ordem crescente, da diferença calculada entre os valores da simulação computacional e a medição em campo.

**Figura 137 - Gráfico de dispersão das diferenças (SC-MC) em dB (medição x simulação) em ordem crescente - SVH-RA (Condição II - sistemas entrepisos sem dormitórios)**

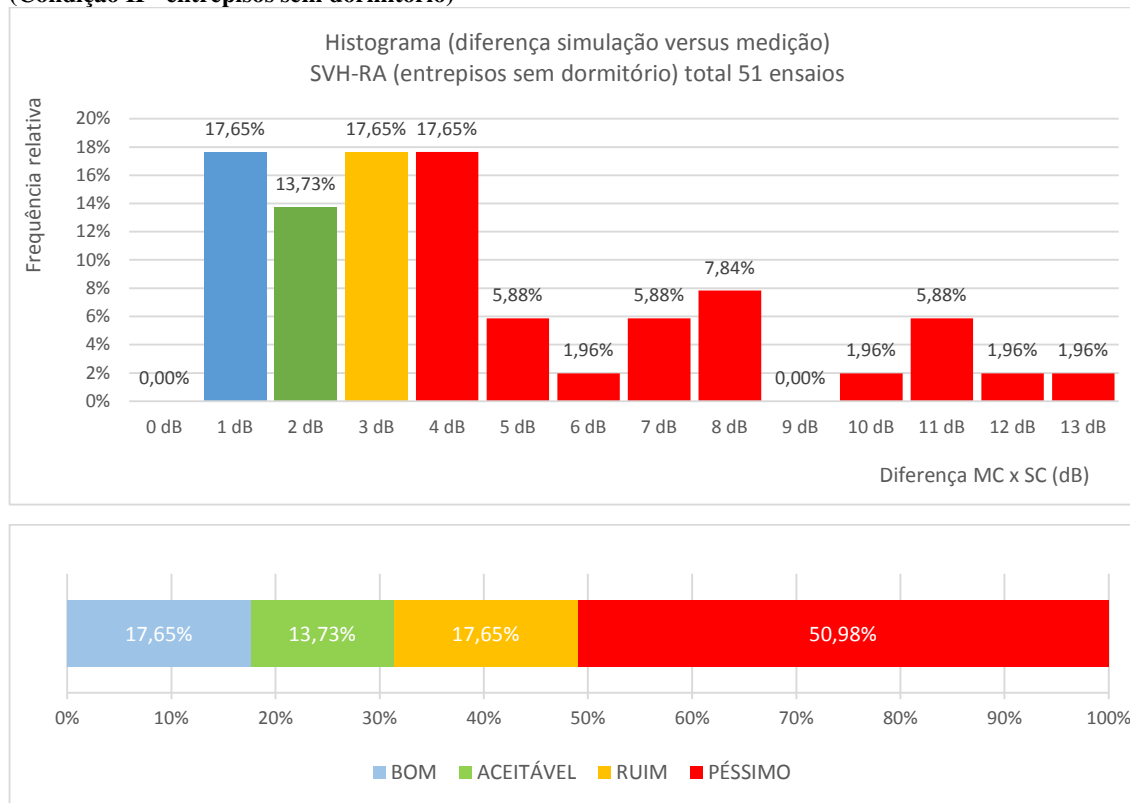


Fonte: REZENDE (2019)



Sobre os valores calculadas da diferença simulação computacional *versus* medição de campo (SC x MC) apresentados na Figura 136, foi desprezada a condição de SC ser maior ou menor que MC, e com os valores em módulo foi montado um histograma das frequências relativas dessa diferença SC x MC, apresentado na Figura 137.

**Figura 138 - Histograma de frequência relativa da diferença SC x MC para ensaios de SVH-RA (Condição II - entrespisos sem dormitório)**



Fonte: REZENDE (2019)

Para a condição II de SVH-RA, ou seja, para o total dos 51 ensaios dos sistemas entrespisos em ambientes sem dormitório, 17,65% do total de ensaios apresentou diferença de 1dB entre SC e MC, para a qual classificou-se como resultado “bom” e 13,73% apresentaram diferença de 2dB, cuja classificação adotada foi de “aceitável”, totalizando 31,37% da amostra dentro da faixa de incerteza considerada de  $\pm 2$ dB, sendo esta a margem aceitável considerada para a diferença entre a simulação e a medição.

Fora esses, 17,65% dessa amostra apresentou diferença de 3dB, recebendo classificação de resultado “ruim” e 50,98% apresentaram resultados a partir de 4dB, chegando nessa amostra a

valores de diferença da ordem de 13dB entre SC e MC, cuja classificação recebida foi de nível “péssimo”, totalizando 68,63% de ruim a péssimo para essa amostra.

O Quadro 21 apresenta o resumo dessa classificação, resultado do comparativo SC x MC.

**Quadro 22 - Resumo de classificação – SVH-RA**

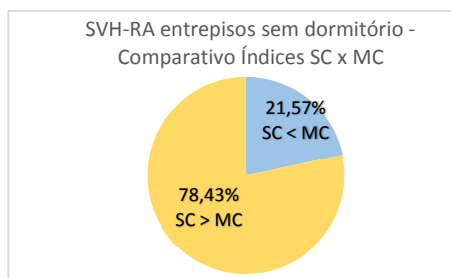
**(Condição II – entrespisos sem dormitório)**

31,37%	ÓTIMO ATÉ ACEITÁVEL
68,63%	RUIM A PÉSSIMO

Fonte: REZENDE (2019)

Quanto à distância entre SC e MC, para a amostra SVH-RA na Condição II, verificou-se que 78,43% dos 51 ensaios apresentou valores de simulação computacional maior que a medição de campo ( $SC > MC$ ) e 21,57% apresentaram valores de medição de campo menores que a simulação computacional ( $SC < MC$ ), conforme Figura 138.

**Figura 139 - Comparativo dos resultados SC x MC - SVH-RA (Condição II - entrespisos sem dormitórios)**



Fonte: REZENDE (2019)

Para a SVH-RA na condição II, esse resultado comparativo dos índices SC e MC, desconsiderando qualquer faixa de incerteza, aponta o esperado inicial de que a simulação produziria valores maiores que a medição de campo, devido às condições controladas na simulação, em detrimento das interferências observadas e possíveis na situação de campo.

## 5.2.2. Sistemas de Vedações Horizontais – Isolação ao Ruído de Impacto - SVH-RI

A Tabela 33 apresenta os resultados para SVH-RI dos ensaios de medição de campo e de simulação computacional em sistemas de piso separando unidades autônomas em pavimentos distintos, com a respectiva diferença calculada (SC – MC), com um total de 102 amostras analisadas.

**Tabela 34 - Ensaios de SVH-RI em sistemas de piso entre unidades habitacionais autônomas**

<b>Critério (dB) (NBR 15575-3)</b>	<b>AMBIENTE AVALIADO</b>	<b>MEDIÇÕES DE CAMPO</b>	<b>SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL</b>	<b>Δ (dB)</b>
Mínimo: 66 a 80 Intermediário: 56 a 65 Superior: ≤ 55	<b>Sistemas de piso separando unidades habitacionais autônomas em pavimentos distintos</b>	<i>Resultado (dB) L'nT,w</i>	<i>Resultado (dB) L'nT,w</i>	<i>SC - MC</i>
I-01	Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.2103 > Recepção Ap.2003	78	80	2
	Sistema de Piso - Quarto Emissão Ap.2103 > Recepção Ap.2003	78	80	2
	Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.2103 > Recepção Ap.2003	77	76	-1
	Sistema de Piso - Suíte Emissão Ap.2103 > Recepção Ap.2003	78	78	0
I-02 (AR 200)	Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.102 > Recepção Ap.202	74	74	0
	Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.102 > Recepção Ap.202	71	70	-1
	Sistema de Piso - Quarto 1 Emissão Ap.102 > Recepção Ap.202	70	75	5
	Sistema de Piso - Quarto 2 Emissão Ap.102 > Recepção Ap.202	72	76	4
	Sistema de Piso - Quarto 3 Emissão Ap.102 > Recepção Ap.202	74	75	1
I-03	Sistema de Piso - Quarto 1 Emissão Ap.604 > Recepção Ap.504	62	72	10
	Sistema de Piso - Quarto 1 Emissão Ap.606 > Recepção Ap.506	60	71	11
	Sistema de Piso - Quarto 2 Emissão Ap.604 > Recepção Ap.504	62	72	10
	Sistema de Piso - Suíte Emissão Ap.604 > Recepção Ap.504	64	70	6
	Sistema de Piso - Suíte Emissão Ap.606 > Recepção Ap.506	63	69	6
	Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.604 > Recepção Ap.504	58	65	7
	Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.606 > Recepção Ap.506	62	65	3
I-04 (AR 200)	Sistema de Piso - Quarto Emissão Ap.1702 > Recepção Ap.1602	80	76	-4
	Sistema de Piso - Suíte Emissão Ap.1702 > Recepção Ap.1602	83	74	-9
	Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.1702 > Recepção Ap.1602	78	79	1
	Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.1702 > Recepção Ap.1602	77	72	-5
I-05	Sistema de Piso - Quarto Emissão Ap.203 > Recepção Ap.103	73	81	8

	Sistema de Piso - Suíte Emissão Ap.203 > Recepção Ap.103	75	81	6
	Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.203 > Recepção Ap.103	75	76	1
	Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.201 > Recepção Ap.101	70	77	7
	Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.202 > Recepção Ap.102	68	77	9
	Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.203 > Recepção Ap.103	65	77	12
	Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.303 > Recepção Ap.203	72	77	5
	Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.201 > Recepção Ap.101	72	72	0
	Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.202 > Recepção Ap.102	71	72	1
	Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.203 > Recepção Ap.103	71	71	0
	Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.303 > Recepção Ap.203	72	71	-1
	Sistema de Piso - Quarto 1 Emissão Ap.201 > Recepção Ap.101	74	76	2
	Sistema de Piso - Quarto 1 Emissão Ap.202 > Recepção Ap.102	76	76	0
I-06	Sistema de Piso - Quarto 1 Emissão Ap.203 > Recepção Ap.103	63	76	13
	Sistema de Piso - Quarto 1 Emissão Ap.303 > Recepção Ap.203	74	76	2
	Sistema de Piso - Quarto 2 Emissão Ap.201 > Recepção Ap.101	75	79	4
	Sistema de Piso - Quarto 2 Emissão Ap.202 > Recepção Ap.102	72	79	7
	Sistema de Piso - Quarto 2 Emissão Ap.203 > Recepção Ap.103	74	79	5
	Sistema de Piso - Quarto 2 Emissão Ap.303 > Recepção Ap.203	80	79	-1
	Sistema de Piso - Suíte Emissão Ap.201 > Recepção Ap.101	77	76	-1
	Sistema de Piso - Suíte Emissão Ap.202 > Recepção Ap.102	76	76	0
	Sistema de Piso - Suíte Emissão Ap.203 > Recepção Ap.103	77	76	-1
	Sistema de Piso - Suíte Emissão Ap.303 > Recepção Ap.203	79	76	-3
	Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.201 > Recepção Ap.101	69	71	2
	Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.202 > Recepção Ap.102	69	71	2
	Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.201 > Recepção Ap.101	72	68	-4
	Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.202 > Recepção Ap.102	72	68	-4
	Sistema de Piso - Suíte 1 Emissão Ap.201 > Recepção Ap.101	73	73	0
	Sistema de Piso - Suíte 1 Emissão Ap.202 > Recepção Ap.102	69	73	4
	Sistema de Piso - Suíte 2 Emissão Ap.201 > Recepção Ap.101	74	74	0
	Sistema de Piso - Suíte 2 Emissão Ap.202 > Recepção Ap.102	72	74	2
	Sistema de Piso - Suíte 3 Emissão Ap.201 > Recepção Ap.101	75	70	-5
	Sistema de Piso - Suíte 3 Emissão Ap.202 > Recepção Ap.102	73	70	-3
I-08 (CPE)	Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.1603 > Recepção Ap.1503	66	70	4

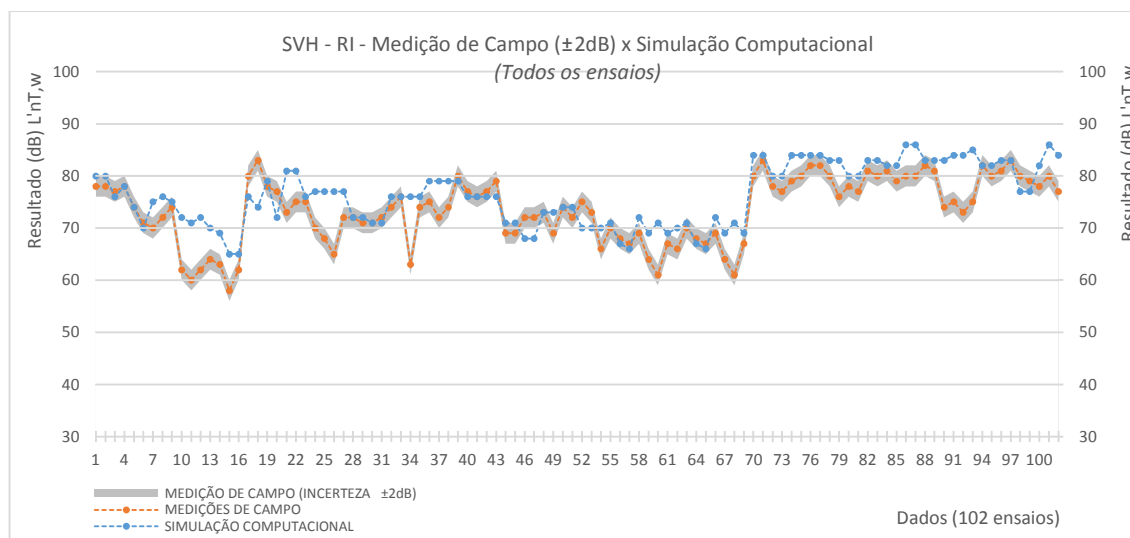
	Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.1604 > Recepção Ap.1504	70	71	1
	Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.1603 > Recepção Ap.1503	68	67	-1
	Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.1604 > Recepção Ap.1504	67	66	-1
	Sistema de Piso - Quarto Emissão Ap.1603 > Recepção Ap.1503	69	72	3
	Sistema de Piso - Suíte casal Emissão Ap.1603 > Recepção Ap.1503	64	69	5
	Sistema de Piso - Suíte Emissão Ap.1604 > Recepção Ap.1504	61	71	10
	Sistema de Piso - Suíte casal Emissão Ap.1604 > Recepção Ap.1504	67	69	2
I-09	Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.202S > Recepção Ap.102S	66	70	4
	Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.302S > Recepção Ap.202S	70	71	1
	Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.202S > Recepção Ap.102S	68	67	-1
	Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.302S > Recepção Ap.202S	67	66	-1
	Sistema de Piso - Suíte casal Emissão Ap.302S > Recepção Ap.202S	69	72	3
	Sistema de Piso - Suíte filha Emissão Ap.302s > Recepção Ap.202s	64	69	5
	Sistema de Piso - Suíte filho Emissão Ap.302S > Recepção Ap.202S	61	71	10
	Sistema de Piso - Suíte visita Emissão Ap.202S > Recepção Ap.102S	67	69	2
I-10 (D9)	Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.102 > Recepção Ap.02	80	84	4
	Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.103 > Recepção Ap.03	83	84	1
	Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.102 > Recepção Ap.02	78	80	2
	Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.103 > Recepção Ap.03	77	80	3
	Sistema de Piso - Quarto 1 Emissão Ap.101 > Recepção Ap.01	79	84	5
	Sistema de Piso - Quarto 1 Emissão Ap.102 > Recepção Ap.02	80	84	4
	Sistema de Piso - Quarto 1 Emissão Ap.103 > Recepção Ap.03	82	84	2
	Sistema de Piso - Quarto 1 Emissão Ap.104 > Recepção Ap.04	82	84	2
I-11 (D9)	Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.101 > Recepção Ap.01	80	83	3
	Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.102 > Recepção Ap.02	76	83	7
	Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.101 > Recepção Ap.01	78	80	2
	Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.102 > Recepção Ap.02	77	80	3
	Sistema de Piso - Quarto 1 Emissão Ap.101 > Recepção Ap.01	81	83	2
	Sistema de Piso - Quarto 1 Emissão Ap.102 > Recepção Ap.02	80	83	3
	Sistema de Piso - Quarto 2 Emissão Ap.101 > Recepção Ap.01	81	82	1
	Sistema de Piso - Quarto 2 Emissão Ap.102 > Recepção Ap.02	79	82	3
I-12 (D9)	Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.203 > Recepção Ap.103 TB	80	86	6
	Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.304 > Recepção Ap.204 TA	80	86	6

	Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.203 > Recepção Ap.103 TB	82	83	1
	Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.304 > Recepção Ap.204 TA	81	83	2
	Sistema de Piso - Quarto 1 Emissão Ap.203 > Recepção Ap.103 TB	74	83	9
	Sistema de Piso - Quarto 1 Emissão Ap.304 > Recepção Ap.204 TA	75	84	9
	Sistema de Piso - Quarto 2 Emissão Ap.203 > Recepção Ap.103 TB	73	84	11
	Sistema de Piso - Quarto 2 Emissão Ap.304 > Recepção Ap.204 TA	75	85	10
I-13 (D9)	Sistema de Piso - Quarto Emissão Ap.201 > Recepção Ap.101	82	82	0
	Sistema de Piso - Quarto Emissão Ap.204 > Recepção Ap.104	80	82	2
	Sistema de Piso - Suíte Emissão Ap.201 > Recepção Ap.101	81	83	2
	Sistema de Piso - Suíte Emissão Ap.204 > Recepção Ap.104	83	83	0
	Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.201 > Recepção Ap.101	80	77	-3
	Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.204 > Recepção Ap.104	79	77	-2
I-14 (D9)	Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.203 > Recepção Ap.103	78	82	4
	Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.203 > Recepção Ap.103	80	86	6
	Sistema de Piso - Quarto 1 Emissão Ap.203 > Recepção Ap.103	77	84	7

Fonte: REZENDE (2019)

A Figura 139 apresenta um gráfico onde estão plotados os valores da simulação computacional e os valores da medição em campo de todos os 102 ensaios de SVH-RI, inclusive a respectiva faixa de incerteza de  $\pm 2\text{dB}$  para a medição de campo, apresentados na ordem dos estudos de caso conforme a Tabela 32.

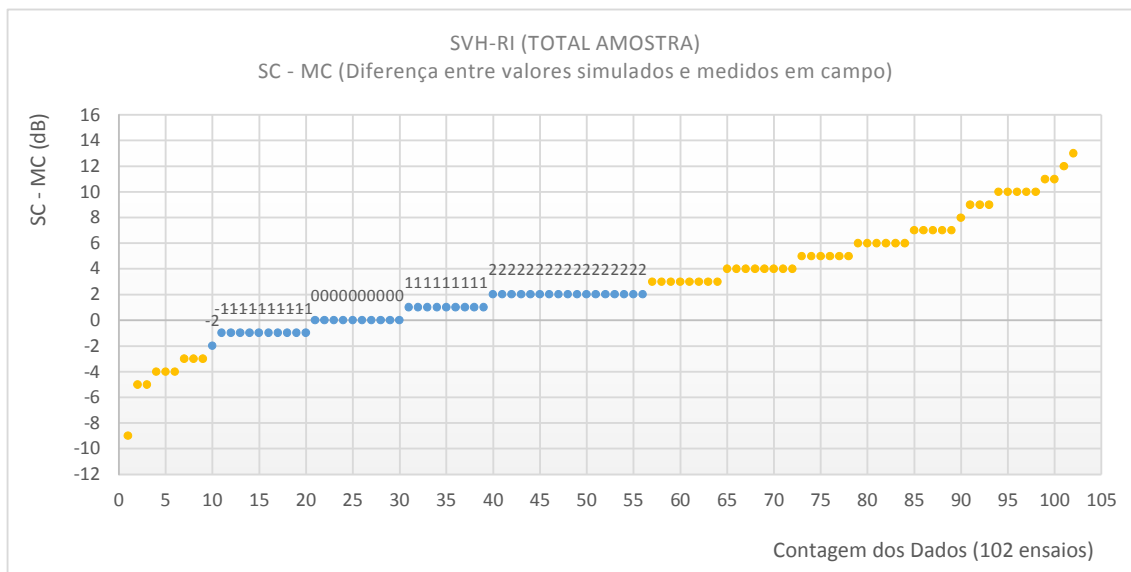
**Figura 140 - Gráfico de dispersão dos resultados ( $L'nT,w$ ) medidos em campo e simulados - SVH-RI**



Fonte: REZENDE (2019)

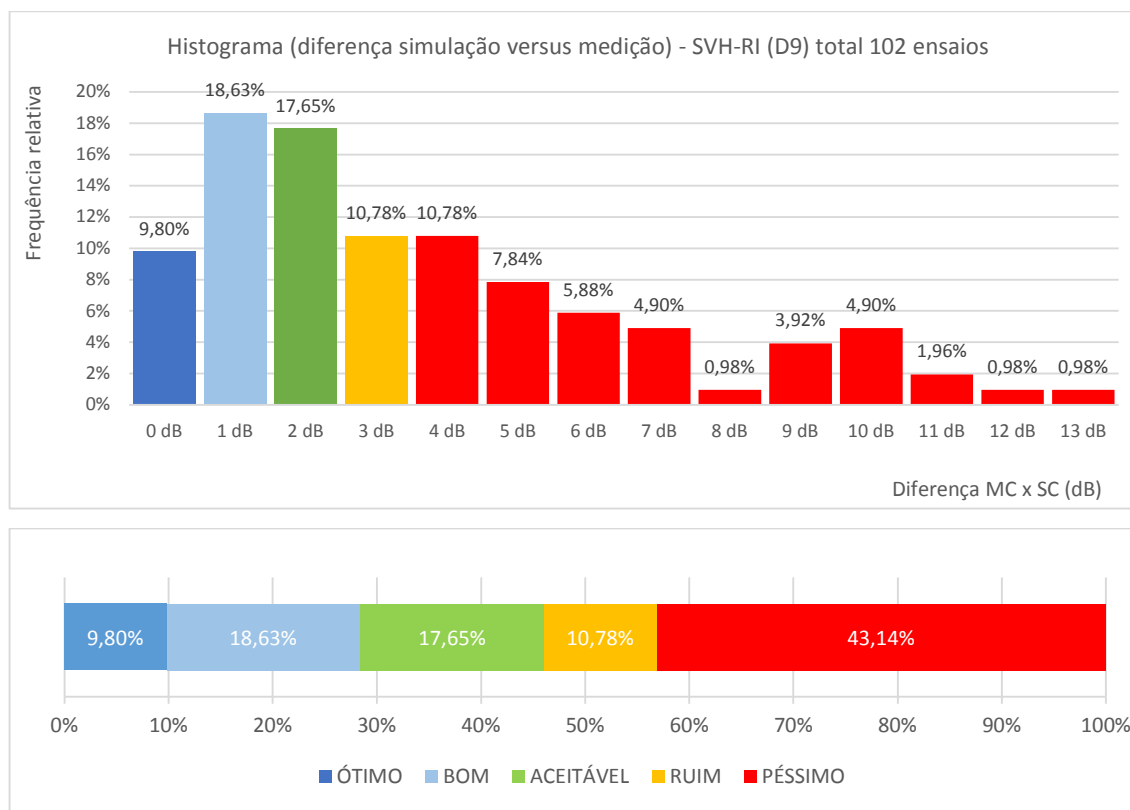
O gráfico da Figura 140 apresenta a dispersão, em ordem crescente, da diferença calculada entre os valores da simulação computacional e a medição em campo, dispostas desta forma para facilitar a compreensão da proximidade SC x MC da massa de dados.

**Figura 141 - Gráfico de dispersão das diferenças (SC-MC) em dB (medição x simulação) em ordem crescente - SVH-RI geral**



Fonte: REZENDE (2019)

Sobre os valores calculadas da diferença simulação computacional *versus* medição de campo (SC x MC) apresentados na Figura 140, foi desprezada a condição de SC ser maior ou menor que MC, sendo considerados os valores em módulo para essa diferença, e então seguiu-se montando um histograma das frequências relativas dessa diferença SC x MC, conforme apresentado na Figura 141.

**Figura 142 - Histograma de frequência relativa da diferença SC x MC para ensaios de SVH-RI geral**

Fonte: REZENDE (2019)

Para a amostra total SVH-RI, ou seja, para o total dos 102 ensaios, 9,80% da amostra apresentou valores iguais em SC e MC, sendo esta parcela classificada como “ótima”, 18,63% apresentaram diferença de 1dB, para a qual classificou-se como resultado “bom” e 17,65% apresentaram diferença de 2dB, cuja classificação adotada foi de “aceitável”, totalizando 46,08% da amostra dentro da faixa de incerteza considerada de  $\pm 2$ dB, sendo esta a margem aceitável considerada para a diferença entre a simulação e a medição.

Além desses percentuais, 10,78% apresentaram diferença de 3dB, considerado como resultado “ruim” e 43,14% apresentaram resultados a partir de 4dB, chegando a valores de diferença de até 13dB entre SC e MC, cuja classificação recebida foi de nível “péssimo”, totalizando 53,92% de ruim a péssimo para a amostra de SVH-RI.

O Quadro 22 apresenta o resumo dessa classificação, resultado do comparativo SC x MC.

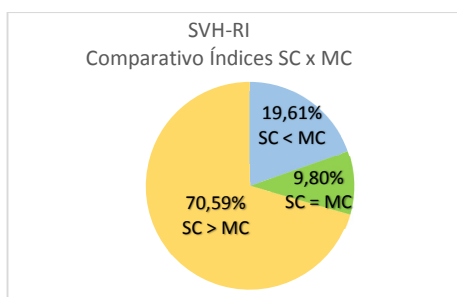


**Quadro 23 - Resumo de classificação – SVH-RI geral**

46,08%	ÓTIMO ATÉ ACEITÁVEL
53,92%	RUIM A PÉSSIMO

Fonte: REZENDE (2019)

Quanto à distância entre SC e MC, para a amostra SVH-RI, verificou-se que 70,59% dos 102 ensaios apresentou valores de simulação computacional maior que a medição de campo ( $SC > MC$ ); 21,57% apresentaram valores de medição de campo menores que a simulação computacional ( $SC < MC$ ) e 9,80% dos ensaios apresentaram valores iguais entre medição de campo e simulação computacional ( $SC = MC$ ), conforme ilustrado na Figura 142.

**Figura 143 - Comparativo dos resultados SC x MC SVH-RI**

Fonte: REZENDE (2019)

Para a parcela do estudo referente a amostra SVH-RI, esse resultado comparativo dos índices SC e MC, desconsiderando qualquer faixa de incerteza, vai de encontro ao que se esperava como hipótese inicial de que a simulação necessariamente apresentaria valores melhores que a medição de campo, uma vez que na simulação computacional as condições para o cálculo do isolamento acústico são previsíveis e controladas, em oposição às condições da medição de campo, cujas imprevisibilidades de fatores externos podem interferir negativamente nos resultados esperados.

Para o SVH-RI, quanto menor o resultado, melhor o isolamento ao ruído de impacto, pois o índice  $L'nT_w$  refere-se ao nível de pressão sonora de impacto padrão que é transmitido ao ambiente adjacente. Sendo assim, se a SC apresenta valores maiores que a MC, significa que a medição obteve melhor resultado que o esperado na simulação, contrariando o esperado inicial.

---

Imagina-se que as simplificações realizadas para a simulação dos sistemas de vedações horizontais têm parcela significativa na divergência entre os valores medidos e simulados, uma vez que as aproximações de caráter empírico não demonstraram convergência com a medição de campo, cujos valores de isolamento são necessariamente os reais para os estudos de casos dos sistemas construtivos analisados.

### 5.3. Resumo dos resultados apresentados

A Tabela 34 apresenta, sinteticamente, a classificação adotada no presente estudo para todos os resultados do comparativo SC *versus* MC em relação à variação da diferença  $\Delta$ (dB) calculada SC-MC.

**Tabela 35 - Resumo de classificação dos sistemas estudados**

SVVI geral	53,33%	ÓTIMO ATÉ ACEITÁVEL – <b>0dB a 2 dB</b>
	46,67%	RUIM A PÉSSIMO <b>3 dB e &gt;4dB</b>
SVVI (Condição I - geminação sem dormitório)	66,67%	ÓTIMO ATÉ ACEITÁVEL <b>0dB a 2 dB</b>
	33,33%	RUIM A PÉSSIMO <b>3 dB e &gt;4dB</b>
SVVI (Condição II - geminação com dormitório)	53,33%	ÓTIMO ATÉ ACEITÁVEL <b>0dB a 2 dB</b>
	46,67%	RUIM A PÉSSIMO <b>3 dB e &gt;4dB</b>
SVVI (Condição III e IV - parede cega de dormitório e sala/cozinha com escadarias ou hall)	13,33%	ÓTIMO ATÉ ACEITÁVEL <b>0dB a 2 dB</b>
	86,67%	RUIM A PÉSSIMO <b>3 dB e &gt;4dB</b>
<b>SVVI geral, excluídas as discrepâncias</b>	<b>69,49%</b>	<b>ÓTIMO ATÉ ACEITÁVEL – 0dB a 2 dB</b>
	<b>30,51%</b>	<b>RUIM A PÉSSIMO 3 dB e &gt;4dB</b>
<b>SVH-RA geral</b>	<b>37,93%</b>	<b>ÓTIMO ATÉ ACEITÁVEL 0dB a 2 dB</b>
	<b>62,07%</b>	<b>RUIM A PÉSSIMO 3 dB e &gt;4dB</b>
SVH-RA (Condição I – entrespos com dormitório)	43,08%	ÓTIMO ATÉ ACEITÁVEL <b>0dB a 2 dB</b>
	56,92%	RUIM A PÉSSIMO <b>3 dB e &gt;4dB</b>
SVH-RA (Condição II – entrespos sem dormitório)	31,37%	ÓTIMO ATÉ ACEITÁVEL <b>0dB a 2 dB</b>
	68,63%	RUIM A PÉSSIMO <b>3 dB e &gt;4dB</b>
<b>SVH-RI geral</b>	<b>46,08%</b>	<b>ÓTIMO ATÉ ACEITÁVEL 0dB a 2 dB</b>
	<b>53,92%</b>	<b>RUIM A PÉSSIMO 3 dB e &gt;4dB</b>

Fonte: REZENDE (2019)

Em relação ao distanciamento de SC e MC, a Tabela 34 apresenta o resumo do comparativo dos índices SC *versus* MC para todos os sistemas estudados, ou seja, o quanto os resultados da SC foram maiores, menores ou iguais aos resultados da MC.

**Tabela 36 - Resumo comparativo (distância SC x MC)**

SVVI geral	52,00%	SC > MC
	13,33%	SC = MC
	34,67%	SC < MC
SVVI (Condição I - geminação sem dormitório)	53,33%	SC > MC
	15,56%	SC = MC
	31,11%	SC < MC
SVVI (Condição II - geminação com dormitório)	46,67%	SC > MC
	6,67%	SC = MC
	46,67%	SC < MC
SVVI (Condição III e IV - parede cega de dormitório e sala/cozinha com escadarias ou hall)	53,33%	SC > MC
	13,33%	SC = MC
	33,33%	SC < MC
<b>SVVI geral sem discrepâncias</b>	<b>48,00%</b>	SC > MC
	<b>18,00%</b>	SC = MC
	<b>34,00%</b>	SC < MC
<b>SVH-RA geral</b>	<b>48,28%</b>	SC > MC
	<b>1,72%</b>	SC = MC
	<b>50,00%</b>	SC < MC
SVH-RA (Condição I – entrepisos com dormitório)	24,62%	SC > MC
	3,08%	SC = MC
	72,31%	SC < MC
SVH-RA (Condição II – entrepisos sem dormitório)	78,43%	SC > MC
	0%	SC = MC
	21,57%	SC < MC
<b>SVH-RI geral</b>	<b>70,59%</b>	SC > MC
	<b>9,80%</b>	SC = MC
	<b>19,61%</b>	SC < MC

Fonte: REZENDE (2019)

## 5.4. Situações específicas – Discussões das particularidades

Durante a etapa de simulação computacional, algumas especificidades foram observadas na avaliação dos resultados esperados.

A mais importante observação diz respeito aos dados de entrada, os quais são primordiais para a confiabilidade da etapa de simulação. Dados de entrada divergentes dos dados reais de execução, produzirão resultados incompatíveis.

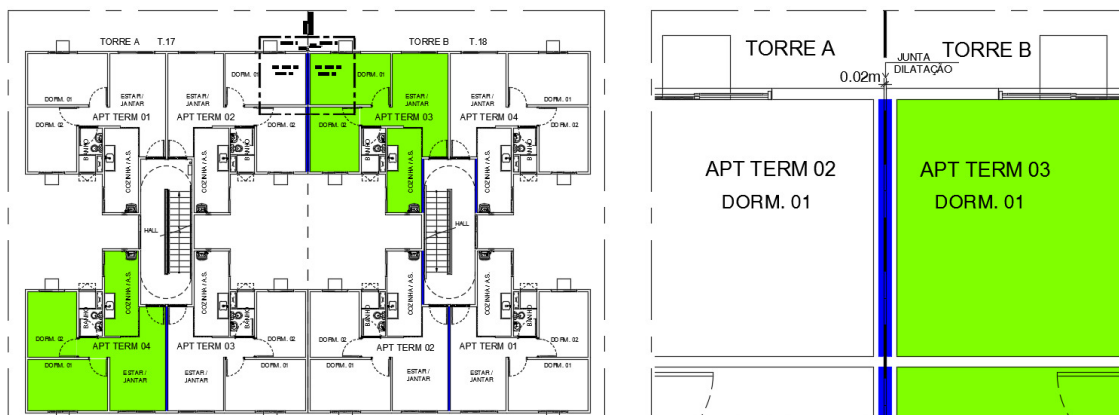
Em alguns estudos de caso, a simulação foi refeita após observar grande distanciamento entre os resultados SC e MC, uma vez que os resultados da MC já eram conhecidos. Ora os dados foram ratificados, ora eles foram corrigidos.

Sendo assim, ocorreram situações em que a nova simulação não apresentou nenhuma diferença da inicial, porém ocorreram outras em que algumas particularidades demandaram remodelagens que geraram novos valores de isolamento, o que revelou algumas especificidades.

### 5.4.1. SVVI – Espaço de ar (junta de dilatação) entre torres geminadas

Para o sistema SVVI dos estudos de caso I-12, I-13 e I-14, foi observado, na análise dos projetos, que entre as torres geminadas estava prevista uma junta de dilatação de 20mm, exemplificada na Figura 143, que foi desconsiderada numa primeira simulação, o que permitiu variações nesse dado de entrada e algumas conclusões quanto ao comportamento acústico.

**Figura 144 - Caso de estudo I-12 com detalhe de junta de dilatação entre torres (Planta da lâmina e detalhe da junta entre torres)**

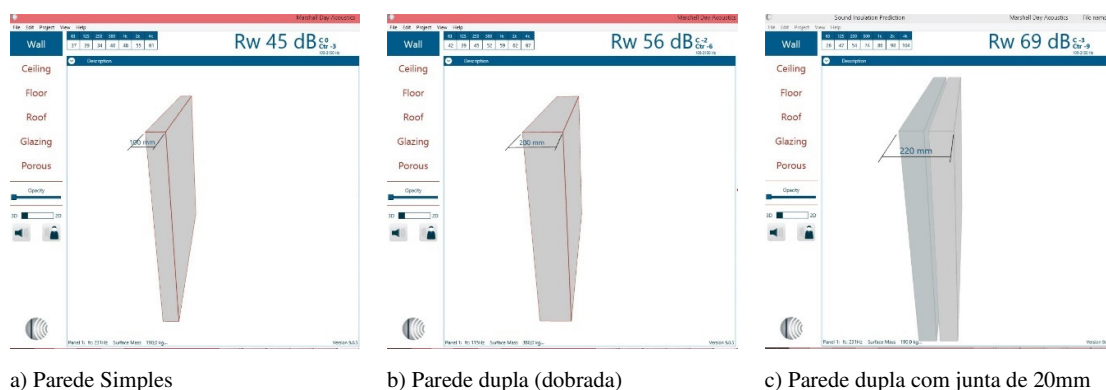


Fonte: REZENDE (2019)

Na simulação inicial dos projetos dos referidos estudos de caso, a parede entre as torres geminadas foi considerada como parede simples, de modo que o resultado desta simulação resultou em dados de isolamento acústico aéreo para o elemento parede simples, situação divergente ao encontrado em campo, e nesse caso específico, os valores de medição em campo apresentaram-se bem superiores aos valores simulados.

Refazendo a simulação computacional, foram testadas outras duas situações: parede dobrada e parede dupla com junta (espaço de ar) de 20mm, a fim de verificar o comportamento acústico nos projetos, conforme ilustrado na Figura 144.

**Figura 145 - Variação de simulação de SVVI em torres geminadas**



Fonte: REZENDE (2019)

A variação dos dados de entrada possibilitou novos valores de redução sonora  $R_w$  para este elemento de separação e, conseqüentemente, demonstrou a relação da redução de intensidade sonora com a espessura e composição do elemento estudado, confirmando o estudo de Souza et al (2013) de que o isolamento ao ruído aéreo tem estreita concordância com a lei das massas. Pela modelagem computacional apenas do elemento de separação parede de concreto simples sem revestimento, a variação demonstrou incremento de isolamento de 11dB entre o tipo parede simples de 10cm e parede dobrada de 20cm ( $\Delta = 56\text{dB} - 45\text{dB}$ ), e 13dB entre parede dobrada de 20cm e parede dupla de 10cm cada com junta (espaço de ar) de 20mm ( $\Delta = 69\text{dB} - 56\text{dB}$ ).

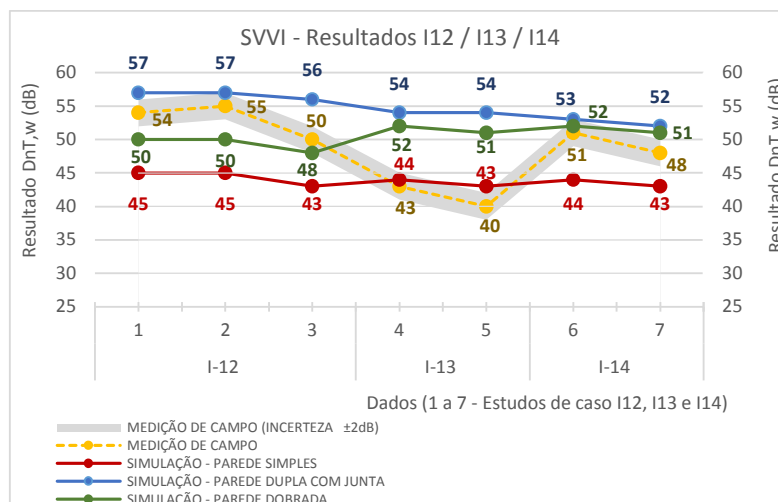
A Tabela 35 apresenta os resultados da simulação computacional dos SVVI desses casos (I-12, I-13 e I-14) entre torres geminadas, considerando a variação parede simples, parede dobrada e parede dupla com junta (espaço de ar) de 20mm, com um total de 7 amostras analisadas.

**Tabela 37 - Ensaio de SVVI entre torres geminadas, variando o tipo de elemento parede**

Critério (dB) (NBR 15575-4)	Ambiente avaliado	MEDIÇÕES DE CAMPO	SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL $\Delta$ (dB)		
			PAR SIMPLES	PAR DOBRADA	PAR DUPLA
<i>Mínimo: 45 a 49 Intermediário: 50 a 54 Superior: <math>\geq 55</math></i>	<i>Parede de Geminção nas situações em que haja dormitório</i>	<i>Resultado (dB) <math>D_{nT,w}</math></i>	<i>Resultado (dB) <math>D_{nT,w}</math></i>		
I-12 (PAR SIMPLES/ PAR DOBRADA/ PAR DUPLA)	Emissão: Quarto 1 - Apt. 02 TB Recepção: Quarto 1 - Apt. 03 TA	54	45	50	57
	Emissão: Quarto 1 - Apt. 03 TB Recepção: Quarto 1 - Apt. 02 TA	55	45	50	57
	Emissão: Quarto 2 - Apt. 03 TB Recepção: Quarto 2 - Apt. 02 TA	50	43	48	56
I-13 (PAR SIMPLES/ PAR DOBRADA/ PAR DUPLA)	Emissão: Suíte - Apt. 102 TA Recepção: Quarto - Apt. 104 TB	43	44	52	54
	Emissão: Quarto - Apt. 102 TA Recepção: Suíte - Apt. 104 TB	40	43	51	54
I-14 (PAR SIMPLES/ PAR DOBRADA/ PAR DUPLA)	Emissão: Quarto 1 - Apt.103 TA Recepção: Quarto 1 - Apt.102 TB	51	44	52	53
	Emissão: Quarto 2 - Apt. 103 TA Recepção: Quarto 2 - Apt.102 TB	48	43	51	52

Fonte: REZENDE (2019)

Conforme gráfico de dispersão apresentado na Figura 145, correspondentes aos ensaios do comportamento acústico dos projetos I-12, I-13 e I-14, após a modificação dos dados de entrada no software para a simulação (de parede simples para parede dobrada e parede dupla com junta entre torres), percebe-se claramente o incremento no isolamento sonoro nos ambientes analisados, convergindo mais com os resultados experimentais da medição de campo. Ou seja, observou-se maior convergência dos resultados simulados no software aos resultados medidos em campo, quando ajustou-se o tipo de parede simples para parede dobrada ou dobrada com junta de ar, conforme especificado no projeto dos imóveis I-12 e I-14.

**Figura 146 - Caso particular - junta de dilatação entre torres - SVVI para I-12, I-13 e I-14**

Fonte: REZENDE (2019)

Esta observação apontada é com relação à diferença entre os valores SC e MC, cuja nova simulação, considerando a simulação conforme o projeto (incluindo o espaço de ar referente ao que foi chamado de junta de dilatação no projeto de arquitetura), apontou maior proximidade entre SC e MC, evidentes nos casos I-12 e I-14 (entre 2dB e 6dB), o que não ocorreu nos dois ensaios dos casos I-13, que após a inclusão da junta, resultaram em valores bem distantes entre SC e MC (entre 11dB e 14dB).

Essa situação específica nos estudos de caso do I-13 sugere a incerteza de cumprimento em campo das dimensões de projeto, seja da junta de dilatação projetada, seja do sistema de vedação e revestimento executados, como também pela falta de dados corretos de entrada ou falha no procedimento de medição de campo, que necessitariam ser conferidos e vistoriados para comprovação dos valores, ou seja, supõe-se que pode ter havido erro no experimento I-13, motivo pelo qual seus resultados foram considerados discrepantes e retirados na amostra final. A Figura 146 ilustra fotos do referido imóvel na fase da execução da obra e na entrega, cujo registro sugere dúvida quanto à execução da referida junta.

**Figura 147 - Registro fotográfico do imóvel I-13 nas fases de execução da obra e entrega**



Fonte: REZENDE (adaptado de acervo da construtora)



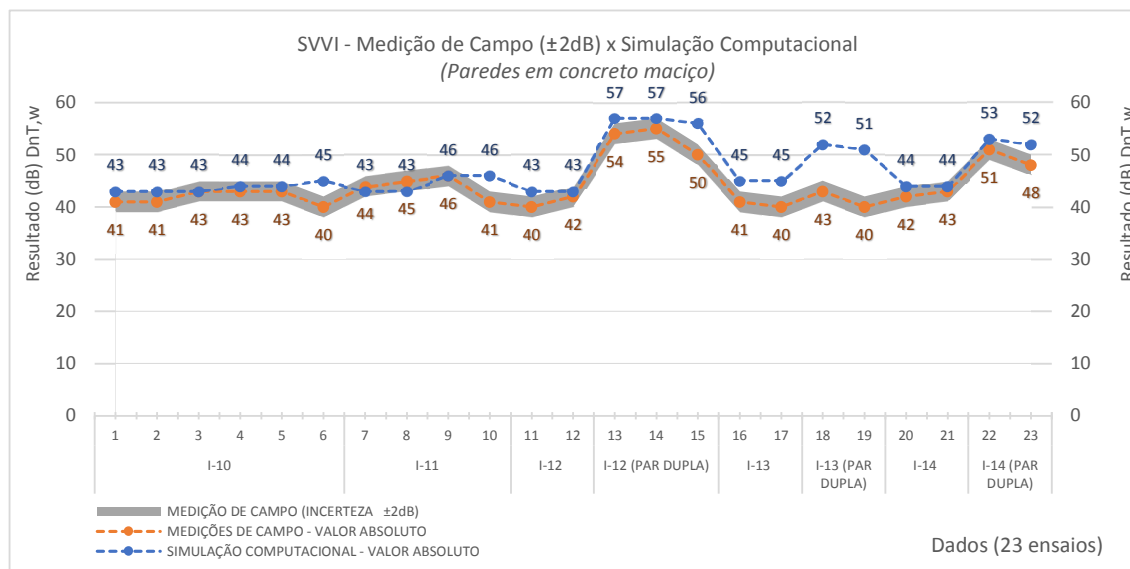
#### 5.4.2. SVVI e SVH nos casos de Paredes e Lajes maciças de concreto – Ajuste dos dados

Para os estudos de caso I-10, I-11, I-12, I-13 e I-14, cuja composição dos elementos de parede e de sistema de piso constava de concreto maciço, foi observado que os dados de densidade específica do concreto de 2400 kg/m<sup>3</sup> para os casos de SVVI, inseridos no programa Insul para a modelagem dos elementos, promoveram valores inferiores ao indicativo nos estudos da UNICAMP (NETO, 2009; NETO; BERTOLLI; HARRY, 2010) e do Guia CBIC (2013) quanto ao isolamento sonoro de 45dB para o ruído aéreo.

Ajustando a densidade específica do concreto para 1900 kg/m<sup>3</sup>, nos casos dos elementos de paredes – SVVI, chegou-se ao valor de referência de 45dB de isolamento para esse tipo de elemento parede maciça de concreto e, daí os valores modelados no Insul foram aplicados ao programa Sonar para prosseguir com o cálculo o comportamento acústico entre os ambientes estudados. Esse ajuste da densidade se deu junto à variação no fator de amortecimento acústico (damping) para que chega-se ao valor indicativo do índice de redução sonora deste tipo de parede, conforme estudos citados anteriormente na Tabela 8 indicado pelo CBIC (2013).

Para os casos de SVVI, com o ajuste da densidade específica do concreto, os resultados da SC tenderam a ficar bem próximos a MC, conforme demonstrado na dispersão apresentada por meio do gráfico da Figura 147 e dados ordenados na Tabela 37.

**Figura 148 - Gráfico de dispersão dos resultados (DnT,w) medidos em campo e simulados - SVVI (Paredes em concreto maciço)**



Fonte: REZENDE (2019)

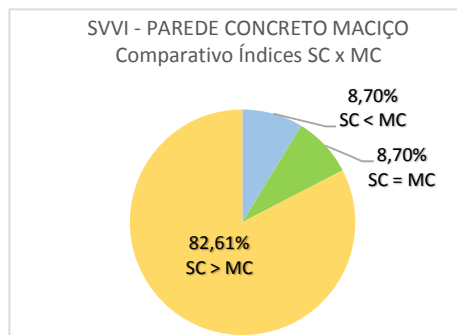
Tabela 38 - Resultados SVVI para os casos de estudo de paredes de concreto

AMBIENTE AVALIADO		MEDIÇÕES DE CAMPO	SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL	$\Delta$ (dB)
		Resultado (dB) $D_{nT,w}$	Resultado (dB) $D_{nT,w}$	SC - MC
I-10	Emissão: Cozinha - Apt. 01 Recepção: Cozinha - Apt. 03	41	43	2
	Emissão: Cozinha - Apt. 02 Recepção: Cozinha - Apt. 04	41	43	2
	Emissão: Cozinha - Apt. 104 Recepção: Cozinha - Apt. 102	43	43	0
	Emissão: Sala - Apt. 01 Recepção: Sala - Apt. 03	43	44	1
	Emissão: Sala - Apt. 02 Recepção: Sala - Apt. 04	43	44	1
	Emissão: Sala - Apt. 104 Recepção: Sala - Apt. 102	40	45	5
I-11	Emissão: Cozinha - Apt. 01 Recepção: Cozinha - Apt. 04	44	43	-1
	Emissão: Cozinha - Apt. 02 Recepção: Cozinha - Apt. 03	45	43	-2
	<b>Emissão: Sala - Apt. 01 Recepção: Sala - Apt. 04</b>	<b>46</b>	46	<b>0</b>
	<b>Emissão: Sala - Apt. 02 Recepção: Sala - Apt. 03</b>	<b>41</b>	46	<b>5</b>
I-12	Emissão: Sala - Apt. 04 TA Recepção: Sala - Apt. 03 TA	40	43	3
	Emissão: Sala - Apt. 04 TB Recepção: Sala - Apt. 03 TB	42	43	1
I-12 (PAR DUPLA)	Emissão: Quarto 1 - Apt. 02 TB Recepção: Quarto 1 - Apt. 03 TA	54	57	3
	Emissão: Quarto 1 - Apt. 03 TB Recepção: Quarto 1 - Apt. 02 TA	55	57	2
	Emissão: Quarto 2 - Apt. 03 TB Recepção: Quarto 2 - Apt. 02 TA	50	56	6
I-13	Emissão: Sala - Apt. 101 Recepção: Sala - Apt. 104	41	45	4
	Emissão: Sala - Apt. 102 Recepção: Sala - Apt. 103	40	45	5
I-13 (PAR DUPLA)	<b>Emissão: Suíte - Apt. 102 TA Recepção: Quarto - Apt. 104 TB</b>	43	<b>52</b>	<b>9</b>
	<b>Emissão: Quarto - Apt. 102 TA Recepção: Suíte - Apt. 104 TB</b>	40	<b>51</b>	<b>11</b>
I-14	Emissão: Sala - Apt. 102 Recepção: Sala - Apt. 101	42	44	2
	Emissão: Sala - Apt. 103 Recepção: Sala - Apt. 104	43	44	1
I-14 (PAR DUPLA)	Emissão: Quarto 1 - Apt.103 TA Recepção: Quarto 1 - Apt.102 TB	51	53	2
	Emissão: Quarto 2 - Apt. 103 TA Recepção: Quarto 2 - Apt.102 TB	48	52	4

Fonte: REZENDE (2019)

Observou-se ainda que, 82,6% dos ensaios apresentaram resultados da simulação superiores aos resultados da medição de campo, conforme apresentado no gráfico da Figura 148.

**Figura 149 - Comparativo dos resultados SC x MC - SVVI (Paredes em concreto)**



Fonte: REZENDE (2019)

O mesmo ajuste foi feito para as simulações dos sistemas de piso - SVH dos elementos de concreto, só que nesse caso ajustando o fator de amortecimento padronizado de 0,003 para 0,009 e, então, foram refeitas as modelagens no Insul e, em seguida, aplicados os resultados calculados de redução sonora aos elementos na simulação computacional do edifício com fins de avaliar o comportamento acústico dos ambientes que possuíam as medições de campo e possibilitar, portanto uma análise comparativa. Esse ajuste permitiu ao software Insul estimar o índice de redução sonora similar aos valores indicados pela Tabela 34 do CBIC (2013), reproduzida na Tabela 8 citada neste estudo.

Para os casos de SVH, com o ajuste do amortecimento, observou-se que para os ensaios de isolamento ao ruído aéreo (SVH-RA), houve em geral um incremento de apenas 1dB nos valores resultantes da simulação.

Já para a simulação em relação à isolamento ao ruído de impacto (SVH-RI), o ajuste no amortecimento favoreceu uma redução sonora na ordem de 4dB, embora quase a totalidade dos resultados na simulação, para esta condição, tenham sido maiores que a medição de campo, contrariando a hipótese inicial de que a simulação deveria resultar em valores melhores em relação aos valores da medição de campo, o que para a isolamento ao ruído aéreo importaria valores de simulação menores que os medidos no campo.

A Tabela 38 e os gráficos das Figuras 149 e 150 apresentam os resultados de medição de campo e de simulação computacional com a variação do amortecimento (*damping*) utilizada na análise comparativa dos dados de SVH-RI para os casos de estudo I-10 a I-14.

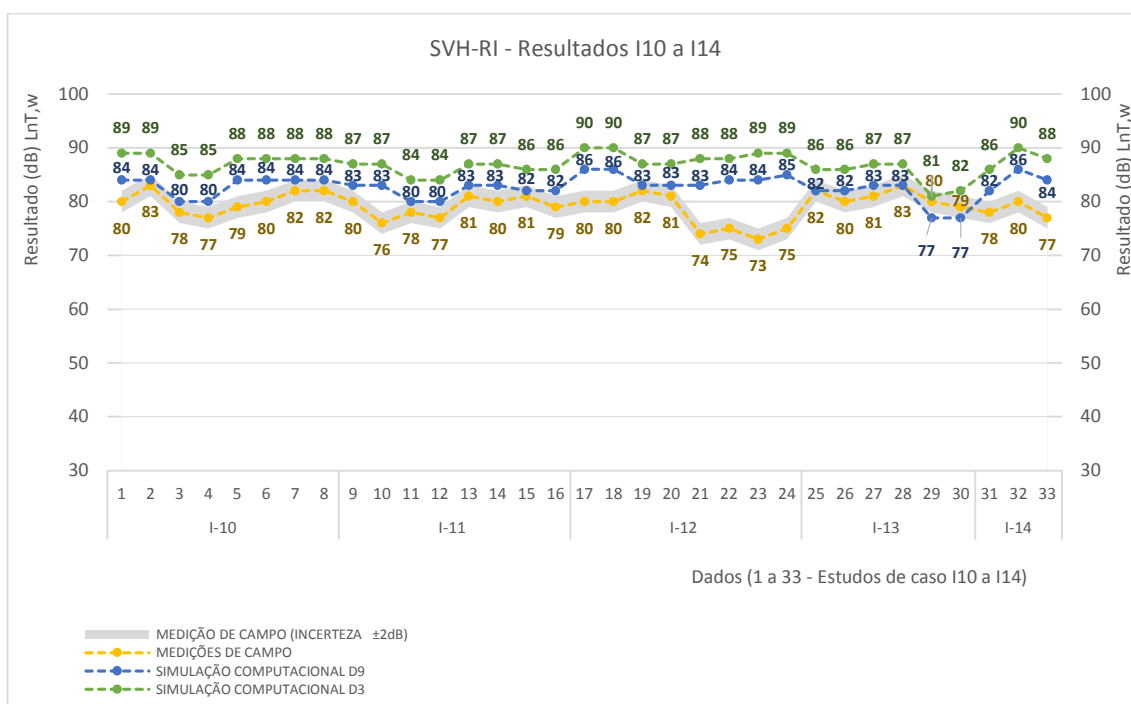
**Tabela 39 - Resultados de SVH-RI para os casos de estudo de lajes de concreto (casos particulares de ajuste de dados no software– ajuste no amortecimento - *damping*)**

AMBIENTE AVALIADO		MEDIÇÕES DE CAMPO	SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL Damping 0,003	SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL Damping 0,009	$\Delta$ (dB)	$\Delta$ (dB)
		Resultado (dB) $L_{nT,w}$	Resultado (dB) $L_{nT,w}$	Resultado (dB) $L_{nT,w}$	SC 1 - MC	SC 2 - MC
I-10	Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.102 > Recepção Ap.02	80	89	84	9	4
	Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.103 > Recepção Ap.03	83	89	84	6	1
	Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.102 > Recepção Ap.02	78	85	80	7	2
	Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.103 > Recepção Ap.03	77	85	80	8	3
	Sistema de Piso - Quarto 1 Emissão Ap.101 > Recepção Ap.01	79	88	84	9	5
	Sistema de Piso - Quarto 1 Emissão Ap.102 > Recepção Ap.02	80	88	84	8	4
	Sistema de Piso - Quarto 1 Emissão Ap.103 > Recepção Ap.03	82	88	84	6	2
Sistema de Piso - Quarto 1 Emissão Ap.104 > Recepção Ap.04	82	88	84	6	2	
I-11	Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.101 > Recepção Ap.01	80	87	83	7	3
	Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.102 > Recepção Ap.02	76	87	83	11	7
	Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.101 > Recepção Ap.01	78	84	80	6	2
	Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.102 > Recepção Ap.02	77	84	80	7	3
	Sistema de Piso - Quarto 1 Emissão Ap.101 > Recepção Ap.01	81	87	83	6	2
	Sistema de Piso - Quarto 1 Emissão Ap.102 > Recepção Ap.02	80	87	83	7	3
	Sistema de Piso - Quarto 2 Emissão Ap.101 > Recepção Ap.01	81	86	82	5	1
Sistema de Piso - Quarto 2 Emissão Ap.102 > Recepção Ap.02	79	86	82	7	3	
I-12	Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.203 > Recepção Ap.103 TB	80	90	86	10	6
	Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.304 > Recepção Ap.204 TA	80	90	86	10	6
	Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.203 > Recepção Ap.103 TB	82	87	83	5	1
	Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.304 > Recepção Ap.204 TA	81	87	83	6	2
	Sistema de Piso - Quarto 1 Emissão Ap.203 > Recepção Ap.103 TB	74	88	83	14	9
	Sistema de Piso - Quarto 1 Emissão Ap.304 > Recepção Ap.204 TA	75	88	84	13	9
	Sistema de Piso - Quarto 2 Emissão Ap.203 > Recepção Ap.103 TB	73	89	84	16	11
Sistema de Piso - Quarto 2 Emissão Ap.304 > Recepção Ap.204 TA	75	89	85	14	10	
I-13	Sistema de Piso - Quarto Emissão Ap.201 > Recepção Ap.101	82	86	82	4	0
	Sistema de Piso - Quarto Emissão Ap.204 > Recepção Ap.104	80	86	82	6	2
	Sistema de Piso - Suíte Emissão Ap.201 > Recepção Ap.101	81	87	83	6	2
	Sistema de Piso - Suíte Emissão Ap.204 > Recepção Ap.104	83	87	83	4	0

	Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.201 > Recepção Ap.101	80	81	77	1	-3
	Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.204 > Recepção Ap.104	79	82	77	3	-2
I-14	Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.203 > Recepção Ap.103	78	86	82	8	4
	Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.203 > Recepção Ap.103	80	90	86	10	6
	Sistema de Piso - Quarto 1 Emissão Ap.203 > Recepção Ap.103	77	88	84	11	7

Fonte: REZENDE (2019)

**Figura 150 - Caso particular - Ajuste no amortecimento do concreto - SVH-RI para I-10, I-11, I-12, I-13 e I-14**



Fonte: REZENDE (2019)

Utilizando o amortecimento padronizado de 0,003 para os elementos de concreto maciço, a amostra analisada apresentou valor máximo de 16dB para a diferença SC-MC, com média na ordem de 7,8dB sugerindo para esses casos analisados incompatibilidade entre simulação e medição em SVH-RI. Com o ajuste no amortecimento do elemento para 0,009 o valor máximo dessa diferença calculada caiu para 11dB e média na ordem de 3,5dB, sugerindo que o ajuste dos dados na simulação permitirá conseguir resultados simulados potencialmente mais próximos dos medidos em campo.

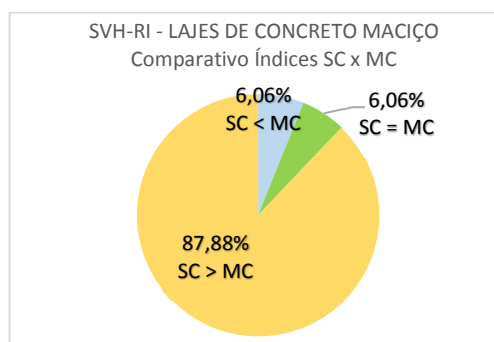
Mesmo ajustando essa condição do amortecimento do elemento, os resultados da SC para os SVH-RI nas lajes de concreto maciço analisadas ficaram piores que a MC, na ordem de 87,88%,

permitindo inferir que, a escolha pelo uso da simulação computacional de comportamento acústico de SVH-RI em lajes maciças de concreto, resultarão em valores de isolamento piores em oposição aos medidos em campo, permitindo então que se trabalhe em prol da segurança, pois na simulação se buscará o nível mínimo da norma de desempenho, e no campo, potencialmente serão medidos valores melhores.

Na prática, esse experimento mostrou que os resultados da simulação computacional para as amostras resultaram em menor isolamento acústico no ruído de impacto que o isolamento acústico real medido em campo, para os estudos de caso dos sistemas estudados, induzindo desta forma que, se essa simulação for utilizada para a fase de projeto, onde se busca os níveis mínimos exigidos na norma de desempenho, na medição de campo os resultados reais serão melhores.

A Figura 150 apresenta o comparativo total da distância entre os resultados de SC e MC para esses casos específicos de SVH-RI em lajes de concreto.

**Figura 151 - Comparativo dos resultados SC x MC - SVH-RI (Lajes em concreto maciço)**



Fonte: REZENDE (2019)

O ajuste no software dos dados de entrada na fase de modelagem permitiu demonstrar que a assertividade (objetividade/clareza/segurança) destes dados é de fundamental relevância para a credibilidade da simulação computacional como ferramenta de predição acústica nos projetos.

Do contrário, dados duvidosos sugerem resultados ilegítimos, colocando em prova a confiabilidade esperado desse processo.

---

## 6. Conclusões e considerações Finais

A partir das análises dos resultados dos estudo de caso desse trabalho experimental, pode-se concluir que a simulação computacional de comportamento acústico apresenta potencial de compatibilidade com a medição de campo de mais de 50% para a avaliação dos sistemas de vedações verticais (SVVI), em torno de 38% para os sistema de avaliação das vedações horizontais quanto ao isolamento ao ruído aéreo (SVH-RA) e na ordem de 46% para os sistemas de avaliação das vedações horizontais quanto à isolação ao ruído de impacto (SVH-RI).

Essa compatibilidade está vinculada ao percentual de valores da diferença dos resultados de SC *versus* resultados de MC que ficaram dentro da faixa classificada como aceitável de  $\pm 2$ dB, referente à margem de incerteza da medição de campo prevista na NBR ISO 16283-1 (ABNT, 2018) e ISO 12999-1 (ISO, 2014), o que induz a uma interpretação de que os valores dentro dessa faixa são potencialmente iguais.

Observou-se que, embora uma parcela da análise comparativa demonstrou distanciamento acima de 3dB entre medição de campo MC e simulação computacional SC, pelo qual adotou-se neste trabalho o critério de classificação de valores dessa ordem como resultados ruins, uma vez que estavam fora da margem de incerteza de  $\pm 2$ dB, essa parcela a partir de 3dB permitiu duas interpretações, a saber:

- nos casos em que os valores da simulação computacional tenham sido menores que os resultados da medição de campo  $SC < MC$ , admite-se sugerir que ao utilizar a simulação computacional esteja-se trabalhando a favor da segurança, com grandes possibilidades de não apenas atingir o índice previsto pela norma de desempenho, mas de superá-lo, garantindo então uma qualidade superior à requerida na norma. Significa então que, se na simulação o empreendimento foi previsto para atender a um determinado nível de desempenho, que para o requisito de isolamento acústico a norma de desempenho exige apenas o nível mínimo, no campo será encontrado um isolamento melhor, com potencialidade de atender aos níveis intermediário ou superior da referida norma, conferindo, portanto, uma maior qualidade ao empreendimento. Esta seria a situação ideal, pois do ponto de vista projetual o que vale é a simulação na fase de projeto para que se execute a obra e atinja-se ou supere-se os índices mínimos exigidos na norma;
- nos casos em que os resultados da simulação computacional tenham sido maiores que os resultados da medição de campo  $SC > MC$ , admite-se sugerir que laboratório e

---

simulação computacional não refletem todas as condições reais de campo. É a faixa de incerteza que pode significar modificações em processos executivos, falhas construtivas, falhas de vedações nos ambientes e as potenciais interferências de campo que diminuem o potencial de isolamento acústico dos elementos construtivos, previstos em situações relativamente “controladas” da simulação computacional, que poderiam ser as situações ideais.

Em relação aos sistemas de vedações verticais internas (SVVI) em que o elemento de separação estava entre ambiente de trânsito eventual do tipo escadaria ou hall conjugado a escadas, observou-se que a simulação computacional não consegue reproduzir a particularidade da interconexão de pisos e possível fuga parcial do som emitido através do vão vazio da escada, o que compromete o resultado da simulação. A limitação do programa em considerar o vão confinado ao invés de vão interligado, produzirá valores discrepantes à realidade da medição de campo, logo demonstrando contraindicação dessa ferramenta enquanto não houver atualização que corrija tal restrição.

Retirando, portanto, esses casos conflitantes, o percentual de aceitabilidade do sistema SVVI subirá para 69%, conduzindo à assertividade e eficiência no uso da ferramenta estudada para essa condição.

Outra particularidade encontrada na análise realizada nos sistemas SVVI consistiu nos casos de estudos em que foram previstos espaços de ar entre torres geminadas (nomeados como juntas de dilatação no projeto de arquitetura), onde observou-se o quanto a variação nos dados de entrada induz a valores de isolamento divergentes.

Foi possível testar situações de parede simples, parede dobrada e parede dupla com espaço de ar entre elas, e chegou-se à conclusão de que a variação nos dados de entrada do elemento parede de concreto possibilitou um incremento de 11dB, se comparar parede simples com parede dobrada, e 13dB, se comparar parede dobrada e parede dupla com junta de 20mm apenas como espaço de ar entre as paredes, para esse estudo, comprovando a analogia do isolamento ao ruído aéreo à lei das massas.

Essa variação no tipo de sistema de parede permitiu uma maior convergência nos resultados da simulação computacional aos resultados da medição de campo, exceto no estudo de caso I-13 onde os valores divergiram ao adotar a parede dobrada, mesmo essa sendo a especificação do projeto de arquitetura disponibilizada do empreendimento. Sendo assim, devido à incerteza de



---

execução na obra do detalhamento apontado na arquitetura, optou-se por desconsiderar os resultados apresentados devido à grande dispersão apresentada.

Em relação aos sistemas de vedações horizontais, a análise de isolamento ao ruído aéreo (SVH-RA) da massa total de dados demonstrou não haver tendência dos resultados da simulação serem maiores ou menores que a medição, pois o percentual de  $SC < MC$  e  $SC > MC$  foram, respectivamente, de 50% e 48,28%, considerados praticamente iguais. No entanto, analisando em separado os tipos de ambientes, para o caso em que os sistemas entrepisos foi entre dormitórios, a análise dos dados apontou uma tendência dos valores da simulação computacional estarem menores que os dados medidos em campo, fazendo com que na prática se garanta em campo resultados melhores que o nível mínimo requerido na norma de desempenho, que será o previsto na simulação.

Em relação a análise de ruído de impacto, o comparativo dos dados revelou que 70% da simulação computacional resultou em valores de isolamento piores que os valores de isolamento da medição de campo, ou seja,  $SC > MC$ , o que para essa condição a simulação deveria, como hipótese inicial, apresentar valores menores que a medição, uma vez que a verificação é do ruído que passa de um ambiente ao outro. Isto posto, conclui-se que usar os dados da simulação nos projetos possibilitará melhor qualidade após a execução, pois na simulação o projeto indica que determinado sistema passa mais ruído do que o real medido em campo.

Nos casos particulares dos elementos de concreto maciço, tanto paredes como lajes, o estudo permitiu concluir que o ajuste dos dados de entrada nos sistemas são cruciais para a confiabilidade da simulação. A variação de dados como, densidade específica no caso da análise das paredes, e amortecimento (*damping*) no caso das lajes maciças, permitiu verificar que:

- para as paredes simples de concreto, o ajuste permitiu na modelagem chegar aos valores indicativos de 45dB encontrados em pesquisas anteriores para as paredes de concreto de 10cm de espessura, e assim, modelar os elementos dos projetos com base nos dados de entrada específicos de cada projeto, no entanto, compatíveis com os modelos ensaiados em laboratório por outros pesquisadores, para então avaliar o comportamento acústico global dos casos de estudo desse trabalho;
- para os pisos, o ajuste da taxa de amortecimento possibilitou um incremento médio de 1dB no isolamento ao ruído aéreo e de 4dB na isolação ao ruído de impacto. No entanto, esse incremento de 1dB para o sistema SVH-RA fez com que a parcela de dados dentro da faixa aceitável (considerada até 2dB) baixasse de 41% para 38%, enquanto que para

---

SVH-RI, o ajuste no amortecimento permitiu uma aproximação dos resultados para dentro da faixa aceitável, que era de 32% no amortecimento de 0,003 e cresceu para 46% quando considerado 0,009. No entanto, mesmo após o incremento, a simulação apresentou resultados de redução sonora piores que os reais medidos em campo, com maior diferença absoluta nos casos de SVH-RI.

Assim, conclui-se neste trabalho que pode ser positiva a utilização da simulação computacional como ferramenta de previsão do comportamento acústico dos imóveis, à medida que permite prever, antes da execução da obra, como o empreendimento se comportará em termos de isolamento acústico, ajustando, na fase de concepção projetual, o tipo e espessura de elementos, a alteração materiais e características destes, cujas novas soluções favoreçam melhor amortecimento e potencializem o sistema massa/mola/massa para sons de alta frequência ou maior massa para atenuar os sons de baixa frequência, objetivando, portanto, o cumprimento dos níveis de desempenho esperados, mas é necessário mais estudos para aprofundar melhor as análises.

Entendeu-se que para os sistemas de vedações verticais internas há uma maior convergência entre a simulação e a medição de campo, comprovando a expectativa de que os resultados fossem próximos, concluindo pela possibilidade positiva da simulação na fase projetual. Já para os sistemas de vedações horizontais, a incompatibilidade de reprodução no software das condições de projeto reporta à incerteza pela falta de dados, fragilidade do estudo e divergência com as condições reais de campo para esta condição.

### **6.1 Sugestões para trabalhos futuros**

Em sequência a esse estudo, algumas análises poderão ser feitas quanto as especificidades encontradas nessa amostra.

Sugere-se realizar a análise comparativa com tipos de sistemas construtivos mais similares, além de uma maior quantidade de dados amostrais, de forma a permitir um tratamento estatístico dos resultados encontrados.

Sugere-se, ainda, que seja feita a medição em laboratório dos elementos dos sistemas construtivos adotados, conforme método de precisão constante da NBR 15575, com o propósito de melhor representatividade dos dados de entrada utilizados nas modelagens, o que permitirá,

portanto, maior assertividade na simulação computacional do comportamento acústico do imóvel estudado em comparação a veracidade de sua execução.

Sugere-se avaliar os tipos de sistemas em separado, ou seja, apenas sistemas de alvenaria cerâmica, apenas sistemas de alvenaria de bloco de concreto, apenas sistemas de paredes de concreto maciço, apenas lajes nervuradas, apenas lajes maciças, apenas lajes pré-moldadas etc.

Em vistas aos sistemas de vedações horizontais, sugere-se avaliar o quanto o revestimento de piso pode determinar melhoria no nível de isolamento sonoro.

Devido a incerteza na reprodução na simulação computacional das condições reais de campo dos sistemas de vedações horizontais, sugere-se estudo específico com ensaios de laboratório que permitam eficiência na entrada de dados e menor simplificação que reduzam a fragilidade nos experimentos.

Como os imóveis já tinham sido entregues aos proprietários, não foi possível refazer algumas medições que sugeriram erro de medição, nesse sentido, sugere-se para os próximos trabalhos que esse comparativo de simulação em imóveis com medição de campo, permita que a simulação seja feita em paralelo à finalização da obra para possibilitar confirmação de valores duvidosos antes da ocupação dos imóveis.

Ainda em relação a esse aspecto de ocupação, pode-se ampliar o estudo, avaliando a diferença dos resultados de medição de campo em imóveis vazios e em imóveis ocupados, para analisar o quanto a ocupação impacta no desempenho esperado de isolamento acústico.

---

## Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS ESCRITÓRIOS DE ARQUITETURA (ASBEA). **Guia para Arquitetos na aplicação da Norma de Desempenho ABNT NBR 15.575**. São Paulo, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 10.151: Acústica - Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas - Aplicação de uso geral Rio de Janeiro: ABNT, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 10.152: Acústica — Níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15.575: Edificações Habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA A QUALIDADE ACÚSTICA (PROACUSTICA). **Manual ProAcústica sobre a Norma de Desempenho**. São Paulo, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA A QUALIDADE ACÚSTICA (PROACUSTICA). **Manual ProAcústica para classe de ruído das edificações habitacionais**. São Paulo, 2017.
- AGOPYAN, V.; JOHN, V. M. **O desafio da sustentabilidade na construção civil: volume 5**. São Paulo: Blucher, 2011.
- ALMEIDA, M.; SILVA, S.; FERREIRA, T. **Física das Construções**. Acústica Ambiental e de Edifícios. Portugal: Universidade do Minho, 2006.
- ARIZMENDI, L. J. **Tratado Fundamental de acústica em la edificacion**. Pamplona, 1980.
- ARNDT, L. T.; PHILIPS, J.W.; BARBOSA, W. A. **Sistema de informações geográficas para mapeamento do ruído urbano**. Artigo. In: III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife: SIMGEO, 2010. Disponível em: [https://www3.ufpe.br/cgtg/SIMGEOIII/IIISIMGEO\\_CD/artigos/CartografiaeSIG/SIG/A\\_243.pdf](https://www3.ufpe.br/cgtg/SIMGEOIII/IIISIMGEO_CD/artigos/CartografiaeSIG/SIG/A_243.pdf). Acesso em: 17 out. 2018
- BERRIO, W. B.; CASTRO, S. S. **Evaluación de impacto sonoro en la Pontificia Universidad Católica del Perú**. Tese. Lima: Pontificia Universidad Católica del Peru, 2012.
- BISTAFA, S. R. **Acústica aplicada ao controle de ruído**. São Paulo: Blucher, 2011.
- BEZERRA, A. F. D.; BRITO, A. C.; AQUILINO, M. M.; AKUTSU, M.; VITTORINO, F. V. **Caixas elétricas de tomadas e falhas na isolamento sonora de paredes**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais[...]** Porto Alegre: ANTAC, 2018.
- BORGES, C. A. de M. **O conceito de desempenho de edificações e sua importância para o setor da construção civil no Brasil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

---

BORGES, C. A.de M. **O que são as normas de desempenho e como entrarão em vigor?** SINDUSCON: Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <https://slideplayer.com.br/slide/1256955/> Acesso em: 21 jan. 2019.

BORGES, C.A.M.; SABBATINI, F.H. **O conceito de desempenho de edificações e a sua importância para o setor da construção civil no Brasil.** Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/515. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. Disponível em: [http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/BT\\_00515.pdf](http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/BT_00515.pdf). Acesso em: 26 jan. 2018.

BORGES, P. D. **Acústica.** In: Apostila de Física. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2009.

BOSELLI, T.; DUNOWICZ, R. **La calidad y la conservación de la vivienda social: bases para el aseguramiento de la sustentabilidad del hábitat.** In. V Encontro Nacional e III Encontro Latino-Americano Sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis. Anais ... Recife, 2009.

BOUFLEUR, V. **Desempenho acústico de edificações habitacionais: desafios para implementação da norma de desempenho.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

BRUEL & KJAER. **A medição do som.** Dinamarca: BRUEL & KJAER, 1984.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (CBIC). **Desempenho de edificações habitacionais: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013.** Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013.

CARRARO, F.; JUCÁ, T. Norma De Desempenho cheira a Oportunidade. **Revista Construir Mais – SINDUSCON.** Goiás, jul. 2014.

CARTA ACÚSTICA DE FORTALEZA. Prefeitura de Fortaleza. Secretaria Municipal de Meio ambiente. Disponível em: <https://urbanismoemeioambiente.fortaleza.ce.gov.br/images/urbanismo-e-meio-ambiente/planejamento/Apresentao-da-Carta-Acstica-de-Fortaleza.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2019.

CARVALHO, A. P. **Acústica ambiental e de edifícios.** Portugal: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2004.

CARVALHO, L. N. **Ruído de impacto em lajes: Análise comparativa entre desempenho de modelos computacionais e ensaios de campo.** Artigo (Atualização em Acústica de Edificações e Ambiental). USP, São Paulo, 2015. Disponível em: <http://poli-integra.poli.usp.br/library/pdfs/33970684f1bbfc1c4e7924028c0b69f7.pdf>. Acesso em: 11 jun. 2019.

CATAI, R. E.; PENTEADO, A. P.; DALBELLO, P. F. **Materiais, técnicas e processos para isolamento acústico.** In: 17 CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS - CBECiMat, Foz do Iguaçu, PR, 2006. **Anais [...]**, 2006. Disponível em: <http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/17747/material/Engenharia%20de%20Produ%C3%A7%C3%A3o,%20Engenharia%20Civil,%20Mecatr%C3%B4nica.pdf>. Acesso em: 05 jan. 2019.

---

CORNACCHIA, G. M. M. **Investigação in-situ do isolamento sonoro ao ruído de impacto em edifícios residenciais**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

COSTA, E. C. da. **Acústica Técnica**. São Paulo: Blucher, 2003.

COSTA, J. J. L.; OLIVEIRA, L. N. Simulações semi-empíricas em acústica: Inovação tecnológica na predição de níveis de pressão sonora no interior de edificações. **Revista GEINTEC**. São Cristóvão, v.6, n.2, p.3128-3142, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.7198/geintec.v6i2.908>. Acesso em: 11 jan. 2019.

COTTA, A. C.; ANDERY, P. R. P. As alterações no processo de projeto das empresas construtoras e incorporadoras devido à NBR 15575 – Norma de Desempenho. **Ambiente Construído**. Porto Alegre, v.18, n.1, jan./mar. 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.15190/s1678-86212018000100213>. Acesso em: 17 jan. 2019.

CRUSIUS, A. D. Metodologia para implantação da norma ABNT NBR 15575/2013 – Desempenho de edificações habitacionais – nas empresas da construção civil e de projetos arquitetônico com foco no mercado imobiliário. **Revista Especialize, Goiânia**, v.1, n.10, p.1-18, dez. 2015.

EVEREST, F. A. **Master Handbook of Acoustics**. Fourth Edition. McGraw-Hill, 2001.

FERNANDES, J. C. **Acústica e ruídos**. Apostila. Faculdade de Engenharia, UNESP, Bauru, 2005.

FERREIRA, J. A. C. **Avaliação acústica de residências: resultados medidos e simulados**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

FERREIRA, J. A. C.; ZANNIN, P. H. T. Determinação de coeficientes de isolamento acústico: medições in situ e simulação computacional. **Ambiente Construído**. Porto Alegre, v.7, n.2, p.15-29, abr./jun. 2007. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/viewFile/3734/2087>. Acesso em: 12 jan. 2019.

FREITAS, R. M. **Entre mitos e limites: as possibilidades do adensamento construtivo face à qualidade de vida no ambiente urbano**. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2005.

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

GIUNTA, M. B. **Análise de modelagem de previsão acústica e mapeamento sonoro para a cidade de São Carlos – SP**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana). Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2013.

GUEDES, I. C. M.; BERTOLI, S. R. **Mapa acústico como ferramenta de avaliação de ruído de tráfego veicular em Aracaju – Brasil**. PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção, Campinas, v. 5, n. 2, p. 40-51, jul./dez. 2014.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 717-1**: acoustics: rating of sound insulation in buildings and of building elements: part 1: airborne sound insulation. Genève, 2013.

---

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 3382-2**: Acoustics — Measurement of room acoustic parameters — Part 2: Reverberation time in ordinary rooms. Genève, 2008.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 10052**: Acoustics — Field measurements of airborne and impact sound insulation and of service equipment sound — Survey method. Genève, 2004.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 10140-2**: Acoustics — Laboratory measurement of sound insulation of building elements — Part 2: Measurement of airborne sound insulation. Genève, 2010.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 12354-1**: Building acoustics — Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements — Part 1: Airborne sound insulation between rooms. Genève, 2017.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 12354-2**: Building acoustics — Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements — Part 2: Impact sound insulation between rooms. Genève, 2017.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 12354-3**: Building acoustics — Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements — Part 3: Airborne sound insulation against outdoor sound. Genève, 2017.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 12999-1**: Acoustics — Determination and application of measurement uncertainties in building acoustics — Part 1: Sound insulation. Genève, 2014.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 16283-1**: Acoustics — Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements — Part 1: Airborne sound insulation — Amendment 1. Genève, 2017.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 16283-2**: Acoustics — Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements — Part 2: Impact sound insulation. Genève, 2018.

JENSEN, H.A.R., RASMUSSEN, B. & EKHOLM, O. Neighbour noise annoyance is associated with various mental and physical health symptoms: results from a nationwide study among individuals living in multi-storey housing. **BMC Public Health** 19, 2019. Disponível em: <https://bmcpublikealth.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12889-019-7893-8>. Acesso em: 13 nov. 2019

JORNAL OFICIAL DAS COMUNIDADES EUROPEIAS. **Directiva 2002/49/CE do planejamento europeu e do conselho**. 25 de junho de 2002. Disponível em://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2002:189:0012:0025:PT:PDF. Acesso em: 18 mar. 2019.

KERN, A. P.; SILVA, A.; KAZMIERCZAK, C. de S. O Processo de Implantação de Normas de Desempenho na Construção: um Comparativo entre a Espanha (CTE) e Brasil (NBR 15575/2013). **Gestão e Tecnologia de Projetos**, São Carlos, v.9, n.1, p.89-102, jan/jun 2014. São Carlos: USP, 2014. Disponível em <<https://doi.org/10.11606/gtp.v9i1.89989>>. Acesso em: 12 dez. 2018.

---

LIEVENS, M. **Structure-borne Sound Sources in Building**. Dissertation. Aachen: RWTH Aachen University, Berlin Logos Berlin 2013. Disponível em: <http://publications.rwth-aachen.de/record/229320/files/4748.pdf>. Acesso em: 08 jan. 2019.

MAHMOOD, S. F. **Das palafitas aos conjuntos habitacionais: um estudo sobre o conforto térmico no conjunto Via Mangue II, Recife – PE**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Urbano). Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.

MARROS, F. **Caracterização acústica de salas para prática e ensino musical**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

MATEUS, D. **Acústica de edifícios e controlo de ruído**. Apontamentos de disciplina. Estudos Avançados em Reabilitação do Património Edificado FCTUC - Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra: Universidade de Coimbra, 2008. Disponível em: <https://paginas.fe.up.pt/~earpe/conteudos/ARE/Apontamentosdadisciplina.pdf>. Acesso em: 18 out. 2018.

MÉNDEZ, Antonio M. **Acustica arquitectonica**. Buenos Aires:UMSA,1994.

MÉNDEZ, A.; STORNINI, A. J.; SALAZAR, E. B. et al. **Acústica arquetônica**. Buenos Aires: UMSA, 1994.

MENTONE, F. J. **Impactos da norma nos demais projetos da edificação habitacional e nos serviços de gerenciamento e fiscalização de obras**. SINAENCO-SP. Disponível em: <https://slideplayer.com.br/slide/1834944/>. Acesso em: 21 jan. 2019.

MICHALSKI, R. L. X. N. **Metodologias para medição de isolamento sonoro em campo e para a expressão da incerteza de medição na avaliação do desempenho acústico de edificações**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

MORAIS, G.; LIRA, V.; PEREIRA, A.; NASCIMENTO, E.; LORDSLEEM JR., A.; MELHADO, S. **O desempenho acústico e as empresas de projeto de arquitetura à luz da norma de desempenho**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais[...]** Porto Alegre: ANTAC, 2018.

MOREIRA, F. S.; LIMA, R. F.; CÂNDIDO, L. F. **Os desafios para a implementação dos requisitos de desempenho acústico de acordo com a ABNT NBR 15.575/2013: um estudo de caso com construtoras do nordeste brasileiro**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais[...]** Porto Alegre: ANTAC, 2018.

NA, S.; PAIK, I.; YUN, S.; TRUONG, H. C.; ROH, Y. Evaluation of the Floor Impact Sound Insulation Performance of a Voided Slab System Applied to a High-Rise Commercial Residential-Complex Building. **International Journal of Concrete Structures and Materials**, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s40069-018-0315-y>. Acesso em: 24 jan. 2019.

NARDI, A. S. L. V. **Mapeamento sonoro em ambiente urbano. Estudo de caso: área central de Florianópolis**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2008.



---

NETO, M. de F. F. **Nível de conforto acústico: uma proposta para edifícios residenciais.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

NETO, M. de F. F.; BERTOLI, S. R. Desempenho acústico de paredes de blocos e tijolos cerâmico: uma comparação entre Brasil e Portugal. **Ambiente Construído.** Porto Alegre, v.10, n.4, out./dez. 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1678-86212010000400012>. Acesso em: 10 mai. 2019

NETO, M. de F. F.; BERTOLI, S. R.; BARRY, P. J. **Diferença entre testes de desempenho acústico em laboratório e campo em paredes de alvenaria.** In XXIII Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica. Salvador, 2010. Disponível em: [http://www.minhajaneladepvc.com.br/uploads/ac\\_stico%202.pdf](http://www.minhajaneladepvc.com.br/uploads/ac_stico%202.pdf). Acesso em: 13 mai. 2019

NETO, Nestor A. S. **Caracterização do isolamento acústico de uma parede de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

NZCMN (NEW ZEALAND CONCRETE MASONRY MANUAL). **2.4 Acoustic Performance.** New Zealand Concrete Masonry Association Inc. Nova Zelândia: 2013. Disponível em: <http://www.nzcma.org.nz/masonry-manual.aspx>. Acesso em: 18 dez. 2018.

OLIVEIRA, N. F. **Avaliação acústica de salas de aula de dimensões reduzidas através da técnica impulsiva.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

PARK, S. H.; LEE, P. J. Effects of floor impact noise on psychophysiological responses. **Building and Environment.** v.116, p. 173-181, mai. 2017. Disponível em <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.02.005>. Acesso em: 24 mai. 2019

PATRICIO, J. **Acústica nos edifícios.** 6. ed. Lisboa: Verlag Dashofer, 2010.

PATRICIO, J. Acústica de edifícios: índice de isolamento a sons de percussão utilizados no espaço europeu. **Revista de Acústica.** v. 36, n.1-2, 2005. Disponível em: [http://www.sea-acustica.es/fileadmin/publicaciones/revista\\_VOL36-12\\_06\\_01.pdf](http://www.sea-acustica.es/fileadmin/publicaciones/revista_VOL36-12_06_01.pdf). Acesso em 15 out. 2018.

PAIXÃO, D. X. **Análise das condições acústicas em sala de Aula.** 1996. Dissertação (Mestrado em Educação). Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 1997.

PIFFER, V.S. **Vida útil e desempenho das construções na ABNT: NBR 15575/13.** USP, São Paulo, 2013. Disponível em: <https://ecivilufes.wordpress.com/tag/nbr-1557513/>. Acesso em: 21 jan. 2019.

PINTO, R. B. **Determinação experimental e numérica da redução sonora aérea em paredes de alvenaria utilizadas em habitações.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

PRADO FILHO, H. R. do. Os parâmetros do som para a saúde humana. **Revista Digital AdNormas.** v.1, n.41, fev 2019. São Paulo: Target, 2019. Disponível em: <https://revistaadnormas.com.br/2019/02/12/os-parametros-do-som-para-a-saude-humana/>. Acesso em: 27 nov. 2018.

---

RADAVELLI, G. F.; PAUL, S. **Isolamento sonoro de paredes em lighth steel frame com placas cimentícias vs. Isolamento sonoro de paredes convencionais.** XII Encontro Nacional e IX Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído. **Anais[...]** Campinas, 2015.

RASMUSSEN, B. **Sound Insulation between dwellings – Classification schemes and building regulations in Europe.** In: The international Congress and exposition on noise control engineering, 33., 2004. **Proceedings[...]** Praga, 2004.

RESENDE, J. M. S.; MORAIS FILHO, J. C. G.; NASCIMENTO, N. L. F. **O desempenho acústico segundo a norma de desempenho ABNT NBR 15575.** Monografia (conclusão de curso). Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.

RIBAS, R. A. de J. **Método para avaliação do desempenho térmico e acústico de edificações aplicado em painéis de fechamento industrializados.** Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Civil). Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2013.

RUI, L. R.; STEFFANI, M. H. **Física: Som e audição humana.** Simpósio Nacional de Ensino de Física (17.: 2007 jan. 29/fev. 02: São Luís, MA) [Anais]. São Luís: SBF, 2007. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/30450/000675255.pdf>. Acesso em: 05 nov. 2018.

SALES, E. M.; BRITO, A. C.; AQUILINO, M. M.; AKUTSU, M. **Desenvolvimento de método para mapeamento sonoro da cidade de São Paulo.** In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais[...]** Porto Alegre: ANTAC, 2018

SALIBA, T. M. **Manual prático de avaliação e controle do ruído: PPRA.** São Paulo: LTr, 2018.

SANTANA, W. B. **Desempenho acústico das edificações segundo a NBR 15575 (ABNT, 2013): Desempenho das vedações e validação dos requisitos normativos com base na opinião dos usuários.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Pará, Belém, 2016.

SANTOS FILHO, V. M. dos; SPOSTO, R. M.; CALDAS, L. R. Análise do desempenho acústico de fachadas ventiladas de porcelanato à luz da norma de desempenho: estudo de caso em um edifício habitacional em Brasília – DF. **REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v.13, n.2, p.116-130, jul/dez. 2017. Disponível em: <https://researchgate.net/publication/317107018>. Acesso em: 30 mar. 2019.

SCHIAVI, A. Improvement of impact sound insulation: A constitutive model for floating floors. **Applied Acoustics**, v. 129, p.64-71, jan. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2017.07.013>. Acesso em: 18 mar. 2019.

SEDDEQ, H. S. Factors Influencing Acoustic Performance of Sound Absorptive Materials. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, 3(4), p. 4610-4617, 2009. Disponível em: <https://www.gearsclutz.com/board/attachments/studio-building-acoustics/770544d1538165004-broadband-absorbers-homatherm-flexcl-how-thick-4610-4617-seddeq.pdf>. Acesso em: 14 mar. 2019

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO À MICRO E PEQUENA EMPRESA (SEBRAE). **Cenários Prospectivos: O setor de construção no Brasil, de 2016 a 2018.** SEBRAE, 2016.

---

SHARLAND, I.; LORD, P. **Woods practical guide to noise control**. 3<sup>rd</sup> ed. England: oods of Colchester Limited, 1979.

SIQUEIRA, A. P. L. **Análise do desempenho acústico de pisos flutuantes: uso de camada resiliente à base de pneus reciclados**. Artigo (Especialização). Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2018.

SILVA, A. T.; KERN, A. P.; PICCOLI, R.; GONZÁLEZ, M. A. S. Novas exigências decorrentes de programas de certificação ambiental de prédios e de normas de desempenho na construção. **Arquiteturarevista**. São Leopoldo, v.10, n.2, p. 105-114, jul./dez. 2014.

SILVA JUNIOR, O. J. da. **Avaliação de intensidade sonora em edificações**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012.

SINDICATO DA ARQUITETURA E DA ENGENHARIA (SINAENCO). **Os impactos da Norma de Desempenho no Setor da Arquitetura e Engenharia Consultiva**. SINAENCO, São Paulo, 2015.

SIPARI, P. **Studies on impact sound insulation of floors**. In Proceedings Forum Acusticum Sevilla, jan. 2002. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/237794989>. Acesso em 17 dez. 2018.

SOUZA, L. C. de; ALMEIDA, M. G. de; BRAGANÇA, L. **Bê a bá da acústica arquitetônica: ouvindo a arquitetura**. São Carlos: Edufscar, 2013.

SOUZA, T. B. de. **Avaliação dos sistemas construtivos usuais quanto aos requisitos acústicos segundo à Norma ABNT NBR 15575 – Desempenho das edificações**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

STEWART, M. A.; CRAIK, R. J. M. Impact sound transmission through a floating floor on a concrete slab. **Applied Acoustics**. v.59, i.4, p.353-372, apr, 2000. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0003-682X\(99\)00030-4](https://doi.org/10.1016/S0003-682X(99)00030-4). Acesso em: 22 fev. 2019.

TAKAHASHI, V. F. de M.; BERTOLI, S. R. Relação entre atributos acústicos e características arquitetônicas de salas de concerto aplicando o método da síntese da forma. **Ambiente Construído**. Porto Alegre, v.12, n.1, p. 193-205, jan./mar., 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ac/v12n1/v12n1a13.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2019.

TAKAHASHI, V. F. de M. **Desempenho acústico de edificações: ferramenta computacional para avaliação**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016.

TUTIKIAN, B. F.; ZUCHETTO, L. K.; SOUZA, R. P. de; OLIVEIRA, M. F. de. Uso de agregado leve de EVA em contrapiso argamassado para isolamento ao ruído de impacto em edificações residenciais. **Ambiente Construído**. Porto Alegre, v. 17, n. 3, p. 295-306, jul./set., 2017. Disponível em <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212017000300177>. Acesso em: 22 mar. 2019

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Burden of Disease from Environmental Noise: Quantification of healthy life years lost in Europe**. Copenhagen-Europe, 2011.

---

ZANNIN, P. H. T.; FERREIRA, A. M. C.; ZWIRTES, D. P.; NUNES, E.; STUMM, S.B.; TOWS, M. Comparação entre tempos de reverberação calculados e medidos. **Ambiente Construído**. Porto Alegre, v.5, n.4, p. 75-85, out./dez. 2005. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/3658/2014>. Acesso em: 19 mar. 2019.

**BRIGA de vizinhos por causa de barulho termina em morte em Bauru**. G1 Bauru e Marília, São Paulo, 18 de junho de 2019. Disponível em: <https://g1.globo.com/sp/bauru-marilia/noticia/2019/06/18/briga-de-vizinhos-por-causa-de-barulho-termina-em-morte-em-bauru.ghtml>. Acesso em: 20 jun. 2019.

**BRIGA entre vizinhos por causa de som alto termina em morte**. Cidade Alerta. Minas Gerais, 31 de julho de 2016. Disponível em: <https://noticias.r7.com/minas-gerais/mg-no-ar/videos/briga-entre-vizinhos-por-causa-de-som-alto-termina-em-morte-31072016>. Acesso em: 18 mai. 2019.

**BRIGA de vizinhos termina em morte; mulher reclamava do excesso de barulho**. Cidade Alerta. São Paulo, 09 de abril de 2016. Disponível em: <https://recordtv.r7.com/cidade-alerta/videos/briga-de-vizinhos-termina-em-morte-mulher-reclamava-do-excesso-de-barulho-20102018>. Acesso em: 18 mai. 2019.

SANTIAGO, Tatiana. **Vizinhos executados brigavam por barulho havia um ano, diz polícia**. G1 São Paulo, São Paulo, 24 de março de 2013. Disponível em: <http://g1.globo.com/sao-paulo/noticia/2013/05/vizinhos-mortos-apos-discussao-por-barulho-brigavam-ha-um-ano.html>. Acesso em: 18 mai. 2019.

---

## **Apêndice A - Definições previstas na NBR 15575**

---

**CONDIÇÕES DE EXPOSIÇÃO:** Conjunto de ações atuantes sobre a edificação habitacional, incluindo cargas gravitacionais, ações externas e ações resultantes da ocupação.

**USUÁRIO:** proprietário, titular de direitos ou pessoa que ocupa a edificação habitacional.

**EXIGÊNCIAS DO USUÁRIO:** Conjunto de necessidades do usuário da edificação habitacional a serem satisfeitas por este (e seus sistemas), de modo a cumprir com suas funções.

**RETROFIT:** Remodelação ou atualização do edifício ou de sistemas, através da incorporação de novas tecnologias e conceitos, normalmente visando valorização do imóvel, mudança de uso, aumento da vida útil, eficiência operacional e energética.

**REQUISITOS de DESEMPENHO:** Condições que expressam qualitativamente os atributos que a edificação habitacional e seus sistemas devem possuir, a fim de que possam atender as exigências do usuário.

**CRITÉRIOS DE DESEMPENHO:** Especificações quantitativas dos requisitos de desempenho, expressos em termos de quantidades mensuráveis, a fim de possam ser objetivamente determinados.

**ESPECIFICAÇÕES DE DESEMPENHO:** Conjunto de requisitos e critérios de desempenho estabelecido para edificação ou seus sistemas. As especificações de desempenho são expressão das funções exigidas da edificação ou de seus sistemas e que correspondem a um uso claramente definido; no caso desta Norma, referem-se ao uso habitacional de edificações.

**DURABILIDADE:** Capacidade da edificação e de seus sistemas de desempenhar suas funções, ao longo do tempo e sob condições de uso e manutenção especificadas no Manual de Uso, Operação e Manutenção.

**VIDA ÚTIL – VU:** Período de tempo em que um edifício e/ou seus sistemas se prestam às atividades para as quais foram projetados e construídos, com atendimento dos níveis de desempenho previstos na Norma de Desempenho, considerando a periodicidade e a correta execução dos processos de

*manutenção especificados no respectivo Manual de Uso, Operação e Manutenção.”*

*MANUTENÇÃO: Conjunto de atividades a serem realizadas ao longo da vida total da edificação para conservar ou recuperar a sua capacidade funcional e de seus sistemas constituintes a fim de atender às necessidades e segurança dos seus usuários.*

*MANUTENIBILIDADE: Grau de facilidade de um sistema, elemento ou componente de ser mantido ou recolocado no estado no qual possa executar suas funções requeridas, sob condições de uso especificadas, quando a manutenção é executada sob condições determinadas, procedimento e meios prescritos.*

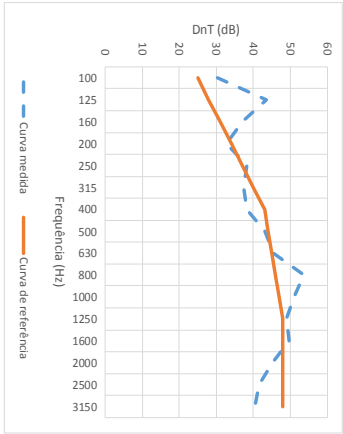
---

**Apêndice B – Cálculo da incerteza da medição de campo,  
conforme modelo da NBR ISO 16283 (2018)**



Frecuencia	L11	L12	L13	L14	L15	L16	L17	L18	L19	L20	L1	L21	L22	L23	L24	L25	L26	L27	L28	L29	L30	L2	L31	L32	L33	L34	L35	L36	L37	L38	L39	L40	L41	L42	L43	L44	L45	L46	L47	L48	L49	L50	D	DnT
50	706	761	724	658	649	756	712	653	651	700	715,4133	543	429	499	534	510	52,0	448	458	50,8	53,1	52,0228	914E+01	534E+00	488E+00	4,98E+00	6,2E+00	0,6262	2033905	21,61648														
63	727	823	808	721	843	786	761	752	763	751	791,9077	508	528	593	552	45,2	452	467	46,2	46,6	52,54576	914E+01	534E+00	488E+00	4,98E+00	6,2E+00	0,6262	2033905	21,61648															
80	853	925	918	871	988	924	884	877	880	872	918,1055	698	706	759	707	69,1	688	665	64,7	64,0	64,7703215	916E+01	131E+00	4,02E+00	1,39E+00	2,01E+00	2,46E+01	25,7984	2,67305	31,68888														
100	883	825	825	825	854	841	828	826	856	811	84,29129	585	571	594	53,3	55,8	609	54,3	57,4	54,1	58,92659	919E+01	121E+00	4,02E+00	1,39E+00	2,01E+00	1,51E+01	1,5485	25,3464	30,27411	36,800													
125	1023	1023	1015	1023	1005	1034	1023	1041	1034	1034	102,3	696	744	668	724	681	680	718	656	69,4	67,0	70,1377	925E+01	234E+00	2,19E+00	2,48E+00	2,34E+00	6,0066	32,5885	43,48902	48,900													
160	1034	1044	1016	1002	1051	1026	993	1024	1034	102,3	102,5665	717	727	679	721	713	701	701	681	70,7	71,67	70,97122	796E+01	1,65E+00	2,39E+00	2,56E+00	1,8612	37,2987	31,67975	37,1872	43,823													
200	969	971	972	977	945	979	946	978	956	960	96,69026	654	646	706	660	701	705	681	694	69,6	68,1	69,89799	546E+01	1,67E+00	1,78E+00	1,79E+00	1,79E+00	1,78E+00	2,2487	27,2487	32,67975	36,2965	40,823											
250	997	999	975	968	974	1002	994	981	962	957	96,39891	701	680	705	674	701	706	700	696	69,6	67,2	71,6	68,97979	546E+01	1,67E+00	1,78E+00	1,79E+00	1,78E+00	2,2487	27,2487	32,67975	36,2965	40,823											
315	975	989	1003	957	978	980	991	981	967	973	97,040619	667	667	673	662	669	704	694	690	67,4	68,1	68,54165	728E+01	2,09E+00	2,20E+00	2,01E+00	2,01E+00	3,0654	30,31678	36,19051	40,823	43,823												
400	976	973	967	964	978	978	974	966	979	970	97,0	664	669	673	662	669	675	668	668	67,4	68,1	68,54165	728E+01	2,09E+00	2,20E+00	2,01E+00	2,01E+00	3,0654	30,31678	36,19051	40,823	43,823												
500	981	970	960	966	953	984	964	966	973	962	967	664	669	673	662	669	675	668	668	67,4	68,1	68,54165	728E+01	2,09E+00	2,20E+00	2,01E+00	2,01E+00	3,0654	30,31678	36,19051	40,823	43,823												
630	976	976	955	959	952	975	965	967	973	962	967	664	669	673	662	669	675	668	668	67,4	68,1	68,54165	728E+01	2,09E+00	2,20E+00	2,01E+00	2,01E+00	3,0654	30,31678	36,19051	40,823	43,823												
800	955	953	962	962	963	961	964	954	956	960	97,15986	619	618	610	596	628	608	612	608	60,3	62,0	61,30912	807E+01	1,65E+00	1,59E+00	1,77E+00	1,90E+00	4,53167	35,89075	45,44372	50,86059	55,6282												
1000	962	964	972	968	976	976	972	976	972	972	97,11743	588	572	575	568	579	578	576	568	56,9	56,4	57,13199	830E+01	1,79E+00	1,67E+00	1,67E+00	1,84E+00	6,14367	39,98594	50,86059	55,6282	60,8059												
1250	980	975	975	976	973	971	971	976	972	972	97,11743	588	572	575	568	579	578	576	568	56,9	56,4	57,13199	830E+01	1,79E+00	1,67E+00	1,67E+00	1,84E+00	6,14367	39,98594	50,86059	55,6282	60,8059												
1600	986	979	975	977	968	984	984	979	979	979	97,49337	566	558	552	550	554	551	554	554	55,4	56,5	56,52868	830E+01	1,72E+00	1,54E+00	1,48E+00	1,51E+00	2,91466	42,56279	49,5779	54,803	59,779												
2000	992	977	982	978	981	991	980	980	979	982	98,24500	582	575	572	568	570	572	574	569	56,7	56,5	57,1288	924E+01	1,42E+00	1,40E+00	1,40E+00	1,38E+00	1,31583	41,07518	45,2803	49,5779	54,803	59,779											
2500	980	964	971	974	971	971	967	962	962	962	97,09001	608	601	599	592	591	592	588	597	593	59,0	58,6	59,59566	924E+01	1,42E+00	1,40E+00	1,40E+00	1,38E+00	1,22885	37,53533	41,88231	45,2803	49,5779	54,803										
3150	953	951	955	964	952	972	951	952	969	963	96,01626	598	593	593	591	592	577	593	585	58,4	58,0	58,60723	931E+01	1,16E+00	1,02E+00	1,06E+00	1,14E+00	1,0061	37,09403	40,38231	43,823	47,352	50,86059											
4000	960	948	955	954	962	952	952	952	952	952	96,541	571	565	565	562	562	562	562	565	565	55,0	56,0722	931E+01	1,16E+00	1,02E+00	1,06E+00	1,14E+00	1,0061	37,09403	40,38231	43,823	47,352	50,86059											
5000	955	947	949	947	952	950	945	952	947	947	96,52013	538	532	528	527	522	509	522	511	512	50,1	52,13985	931E+01	1,16E+00	1,02E+00	1,06E+00	1,14E+00	1,0061	37,09403	40,38231	43,823	47,352	50,86059											

Frecuencia	DnT	Valores de Referencia	Valores de referencia destacados	desviros desfavorables	Espectro no 1	Espectro no 2
100	30,27	33	25	0,0	L1 - R1	L2 - R1
125	43,41	36	28	0,0	-59,27	-50,27
160	37,19	39	31	0,0	-69,41	-63,41
200	32,68	42	34	0,0	-60,19	-55,19
250	38,23	45	37	1,3	-53,68	-48,68
315	37,41	48	40	0,0	-57,23	-53,23
400	38,19	51	43	2,6	-54,41	-51,41
500	43,16	52	44	4,8	-53,19	-51,19
630	45,42	53	45	0,8	-56,16	-55,16
800	53,62	54	46	0,0	-57,42	-56,42
1000	50,88	55	47	0,0	-64,62	-62,62
1250	49,07	56	48	0,0	-60,88	-58,88
1600	49,58	56	48	0,0	-58,07	-56,07
2000	45,28	56	48	0,0	-58,58	-56,58
2500	41,44	56	48	2,7	-54,28	-52,28
3150	40,38	56	48	6,6	-50,44	-48,44
4000				7,6	-49,38	-47,38
5000				26,5	-49,38	-47,38



10log(sum) x (-1)	10 <sup>(L1 - Ri) / 10</sup> x 10 <sup>5</sup>	10log(sum) x (-1)	10 <sup>(L2 - Ri) / 10</sup> x 10 <sup>5</sup>
43	0,12	43	0,12
C = -1	0,01	-20	0,94
	0,10	-18	0,05
	0,43	-16	0,30
	0,19	-15	1,36
	0,36	-14	0,48
	0,36	-14	0,72
	0,48	-13	0,76
	0,24	-12	0,30
	0,18	-11	0,23
	0,03	-9	0,05
	0,08	-8	0,13
	0,16	-8	0,16
	0,14	-10	0,11
	0,37	-9	0,24
	0,90	-13	0,36
	0,90	-13	0,36
	1,15	-15	0,29
	4,95		6,47
SUM = 43,05		SUM = 41,89	
aproxima		aproxima	
C = -1		Ctr = -2	

Frequencia	Ri	Ui	Li	Li-Ri+Ui	Li-Ri-Ui
100	30,27	3,0	33	3,7	0,9
125	43,41	2,7	36	0,3	0,1
160	37,19	2,4	39	2,6	0,9
200	32,68	2,1	42	13,9	5,3
250	38,23	1,8	45	7,2	3,1
315	37,41	1,8	48	17,4	7,6
400	38,19	1,8	51	28,9	12,6
500	43,16	1,8	52	11,6	5,1
630	45,42	1,8	53	8,7	3,8
800	53,62	1,8	54	1,7	0,7
1000	50,88	1,8	55	3,9	1,7
1250	49,07	1,8	56	7,5	3,3
1600	49,58	1,8	56	6,6	2,9
2000	45,28	1,8	56	17,9	7,8
2500	41,44	1,9	56	44,3	18,5
3150	40,38	2,0	56	57,8	23,0
SOMA				233,9	97,2
				-23,6894	-19,8762

U=	1,906615 dB
----	-------------

\*\* Planilha de cálculo elaborada pela Tecomat Engenharia / Setor - Tecnologia

---

**Apêndice C - Tabelas comparativas de cada estudo de caso  
(Dados completos de medição de campo *versus* simulação  
computacional)**

## C-1 Tabela comparativa completa (medição *versus* simulação) – Estudo de caso I-01

I-01

VI

Resultados da Diferença Padronizada de Nível Ponderada (DnT,w) Ruído aéreo de vedação vertical interna

MEDIÇÕES DE CAMPO

SIMULAÇÃO SONARCHITECT ISSO

Parede de Geminação nas situações em que não haja dormitório

Ambiente avaliado	Critério (dB) (NBR 15575-4)	Resultado (dB) $D_{nT,w}$	Análise	Resultado (dB) $D_{nT,w}$	Análise	$\Delta$ (dB)
Emissão: Cozinha - Apt. 2102 Recepção: Sala - Apt. 2103	Mínimo: 40 a 44 Interm.: 45 a 49 Superior: $\geq 50$	44	Atende Nível Mínimo	38	Não Atende	-6
Emissão: Sala - Apt. 2103 Recepção: Cozinha - Apt. 2102		42	Atende em nível mínimo de desempenho	36	Não Atende	-6

VH

Resultados da Diferença Padronizada de Nível Ponderada (DnT,w) Ruído aéreo de vedação horizontal (Sistema de piso)

Ambiente avaliado	Critério (dB) (NBR 15575-3)	Resultado (dB) $D_{nT,w}$	Análise	Resultado (dB) $D_{nT,w}$	Análise	$\Delta$ (dB)
Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.2003 > Recepção Ap.2103	Mínimo: 40 a 44 Interm.: 45 a 49 Superior: $\geq 50$	44	Atende em nível mínimo	48	Atende em nível intermediário	4
Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.2103 > Recepção Ap.2003		45	Atende em nível intermediário	48	Atende em nível intermediário	3
Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.2003 > Recepção Ap.2103		37*	Não Atende	47	Atende em nível intermediário	10
Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.2103 > Recepção Ap.2003		39*	Não Atende	47	Atende em nível intermediário	8
Sistema de Piso - Suite Emissão Ap.2003 > Recepção Ap.2103	Mínimo: 45 a 49 Interm.: 50 a 54 Superior: $\geq 55$	50	Atende em nível intermediário	47	Atende em nível mínimo	-3
Sistema de Piso - Suite Emissão Ap.2103 > Recepção Ap.2003		52	Atende em nível intermediário	47	Atende em nível mínimo	-5
Sistema de Piso - Quarto Emissão Ap.2103 > Recepção Ap.2003		50	Atende em nível intermediário	47	Atende em nível mínimo	-3
Sistema de Piso - Quarto Emissão Ap.2003 > Recepção Ap.2103		49	Atende em nível mínimo	47	Atende em nível mínimo	-2

RI

Resultados do nível de pressão sonora de impacto-padrão ponderado ( $L'_{nT,w}$ ) - Ruído de impacto de vedação horizontal (Sistem

Ambiente avaliado	Critério (dB) (NBR 15575-3)	Resultado (dB) $L'_{nT,w}$	Análise	Resultado (dB) $D_{nT,w}$	Análise	$\Delta$ (dB)
Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.2103 > Recepção Ap.2003	Mínimo: 66 a 80 Interm.: 56 a 65 Superior: $\leq 55$	78	Atende em nível mínimo	80	Atende em nível mínimo	2
Sistema de Piso - Quarto Emissão Ap.2103 > Recepção Ap.2003		78	Atende em nível mínimo	80	Atende em nível mínimo	2
Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.2103 > Recepção Ap.2003		77	Atende em nível mínimo	76	Atende em nível mínimo	-1
Sistema de Piso - Suite Emissão Ap.2103 > Recepção Ap.2003		78	Atende em nível mínimo	78	Atende em nível mínimo	0

## C-2 Tabela comparativa completa (medição versus simulação) – Estudo de caso I-02

I-02

VVI Resultados da Diferença Padronizada de Nível Ponderada (DnT,w) Ruído aéreo de vedação vertical interna

Ambiente avaliado	Critério (dB) (NBR 15575-4)	MEDIÇÕES DE CAMPO		SIMULAÇÃO SONARCHTECT ISSO		Δ (dB)
		Resultado (dB) D <sub>nT,w</sub>	Análise	Resultado (dB) D <sub>nT,w</sub>	Análise	
cozinhas entre uma unidade habitacional e área comuns de trânsito eventual	Mínimo: 30 a 34 Interm.: 35 a 39 Superior: ≥ 40	49	Atende em nível superior de desempenho	38	Atende em nível intermediário de desempenho	-11
		50	Atende em nível superior de desempenho	38	Atende em nível intermediário de desempenho	-12
Parede de Geminação nas situações em que não haja dormitório	Mínimo: 40 a 44 Interm.: 45 a 49 Superior: ≥ 50	41	Atende em nível mínimo de desempenho	42	Atende em nível mínimo de desempenho	1
		44	Atende em nível mínimo de desempenho	42	Atende em nível mínimo de desempenho	-2
		43	Atende em nível mínimo de desempenho	42	Atende em nível mínimo de desempenho	-1
		42	Atende em nível mínimo de desempenho	42	Atende em nível mínimo de desempenho	0
		41	Atende em nível mínimo de desempenho	42	Atende em nível mínimo de desempenho	1

VH Resultados da Diferença Padronizada de Nível Ponderada (DnT,w) Ruído aéreo de vedação horizontal (Sistema de piso)

Ambiente avaliado	Critério (dB) (NBR 15575-3)	Resultado (dB) D <sub>nT,w</sub>	Análise	Resultado (dB) D <sub>nT,w</sub>	Análise	Δ (dB)	
Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.102 > Recepção Ap.202	Mínimo: 40 a 44 Interm.: 45 a 49 Superior: ≥ 50	48	Atende em nível intermediário	50	Atende em nível superior	2	
Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.103 > Recepção Ap.203		49	Atende em nível intermediário	50	Atende em nível superior	1	
Sistema de Piso - Quarto 1 Emissão Ap.102 > Recepção Ap.202	Mínimo: 45 a 49 Interm.: 50 a 54 Superior: ≥ 55	53	Atende em nível intermediário	49	Atende em nível mínimo	-4	
Sistema de Piso - Quarto 1 Emissão Ap.103 > Recepção Ap.203		52	Atende em nível intermediário	49	Atende em nível mínimo	-3	
Sistema de Piso - Quarto 2 Emissão Ap.102 > Recepção Ap.202		53	Atende em nível intermediário	48	Atende em nível mínimo	-5	
Sistema de Piso - Quarto 2 Emissão Ap.103 > Recepção Ap.203		51	Atende em nível intermediário	48	Atende em nível mínimo	-3	
Sistema de Piso - Quarto 3 Emissão Ap.102 > Recepção Ap.202		49	Atende em nível mínimo	48	Atende em nível mínimo	-1	
Sistema de Piso - Quarto 3 Emissão Ap.103 > Recepção Ap.203		52	Atende em nível intermediário	48	Atende em nível mínimo	-4	
Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.102 > Recepção Ap.202		Mínimo: 40 a 44 Interm.: 45 a 49 Superior: ≥ 50	42	Atende em nível mínimo	49	Atende em nível intermediário	7
Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.103 > Recepção Ap.203			41	Atende em nível mínimo	49	Atende em nível intermediário	8

RI Resultados do nível de pressão sonora de impacto-padrão ponderado (L'nT,w) - Ruído de impacto de vedação horizontal (Sistema de piso)

Ambiente avaliado	Critério (dB) (NBR 15575-3)	Resultado (dB) L'nT,w	Análise	Resultado (dB) L'nT,w	Análise	Δ (dB)	Resultado (dB) L'nT,w	Δ (dB)
Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.102 > Recepção Ap.202	Mínimo: 66 a 80 Interm.: 56 a 65 Superior: ≤ 55	74	Atende em nível mínimo	76	Atende em nível mínimo	2	74	0
Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.102 > Recepção Ap.202		71	Atende em nível mínimo	72	Atende em nível mínimo	1	70	-1
Sistema de Piso - Quarto 1 Emissão Ap.102 > Recepção Ap.202		70	Atende em nível mínimo	77	Atende em nível mínimo	7	75	5
Sistema de Piso - Quarto 2 Emissão Ap.102 > Recepção Ap.202		72	Atende em nível mínimo	78	Atende em nível mínimo	6	76	4
Sistema de Piso - Quarto 3 Emissão Ap.102 > Recepção Ap.202		74	Atende em nível mínimo	76	Atende em nível mínimo	2	75	1

AR (100)

AR (200)

## C-3 Tabela comparativa completa (medição versus simulação) – Estudo de caso I-03

I-03

VII

Resultados da Diferença Padronizada de Nível Ponderada (DnT,w) Ruído aéreo de vedação vertical interna  
 MEDIÇÕES DE CAMPO SIMULAÇÃO SONARCHITECT ISSO

Ambiente avaliado	Critério (dB) (NBR 15575-4)	Resultado (dB) D <sub>nT,w</sub>	Análise	Resultado (dB) D <sub>nT,w</sub>	Análise	Δ (dB)	
Parede de Geminção nas situações em que não haja dormitório	Mínimo: 40 a 44 Interm.: 45 a 49 Superior: ≥ 50	Emissão: Cozinha - Apt. 503 Recepção: Cozinha - Apt. 502	45	Atende em nível intermediário	41	Atende em nível mínimo	-4
		Emissão: Cozinha - Apt. 504 Recepção: Cozinha - Apt. 505	43	Atende em nível mínimo	40	Atende em nível mínimo	-3
		Emissão: Cozinha - Apt. 603 Recepção: Cozinha - Apt. 602	44	Atende em nível mínimo	41	Atende em nível mínimo	-3
		Emissão: Cozinha - Apt. 604 Recepção: Cozinha - Apt. 605	40	Atende em nível mínimo	40	Atende em nível mínimo	0
		Emissão: Cozinha - Apt. 506 Recepção: Sala - Apt. 505	47	Atende em nível intermediário de desempenho	45	Atende em nível intermediário de desempenho	-2
		Emissão: Cozinha - Apt. 606 Recepção: Sala - Apt. 605	43	Atende em nível mínimo	45	Atende em nível intermediário de desempenho	2
		Emissão: Sala - Apt. 601 Recepção: Sala - Apt. 602	43	Atende em nível mínimo	42	Atende em nível mínimo	-1
		Emissão: Hall - 5º Pav. Recepção: Suite - Apt. 506	41	Atende em nível mínimo	41	Atende em nível mínimo	0
Parede cega entre unidade habitacional e espaços de uso público	Mínimo: 40 a 44 Interm.: 45 a 49 Superior: ≥ 50	Emissão: Hall - 6º Pav. Recepção: Suite - Apt. 606	41	Atende em nível mínimo	41	Atende em nível mínimo	0
		Emissão: Cozinha - Apt. 601 Recepção: Suite - Apt. 606	43	Não Atende	42	Não Atende	-1
Parede de Geminção nas situações em que haja dormitório	Mínimo: 45 a 49 Interm.: 50 a 54 Superior: ≥ 55	Emissão: Sala - Apt. 504 Recepção: Suite - Apt. 503	40	Não Atende	40	Não Atende	0
		Emissão: Sala - Apt. 604 Recepção: Suite - Apt. 603	42	Não Atende	40	Não Atende	-2
		Emissão: Escada - 5º Pav. Recepção: Sala - Apt. 503	39	Atende em nível intermediário de desempenho	44	Atende em nível superior de desempenho	5
Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e área comuns de trânsito eventual	Mínimo: 30 a 34 Interm.: 35 a 39 Superior: ≥ 40	Emissão: Escada - 6º Pav. Recepção: Sala - Apt. 603	36	Atende em nível intermediário de desempenho	45	Atende em nível superior de desempenho	9

VH

Resultados da Diferença Padronizada de Nível Ponderada (DnT,w) Ruído aéreo de vedação horizontal (Sistema de piso)

Ambiente avaliado	Critério (dB) (NBR 15575-3)	Resultado (dB) D <sub>nT,w</sub>	Análise	Resultado (dB) D <sub>nT,w</sub>	Análise	Δ (dB)
Sistema de Piso - Quarto 1 Emissão Ap.504 > Recepção Ap.604	Mínimo: 40 a 44 Interm.: 45 a 49 Superior: ≥ 50	58	Atende em nível superior de desempenho	52	Atende em nível intermediário	-6
Sistema de Piso - Quarto 2 Emissão Ap.504 > Recepção Ap.604		59	Atende em nível superior de desempenho	51	Atende em nível superior de desempenho	-8
Sistema de Piso - Quarto Emissão Ap.506 > Recepção Ap.606		59	Atende em nível superior de desempenho	52	Atende em nível superior de desempenho	-7
Sistema de Piso - Suite Emissão Ap.504 > Recepção Ap.604		56	Atende em nível superior de desempenho	51	Atende em nível intermediário	-5
Sistema de Piso - Suite Emissão Ap.506 > Recepção Ap.606	Mínimo: 45 a 49 Interm.: 50 a 54 Superior: ≥ 55	58	Atende em nível superior de desempenho	52	Atende em nível mínimo	-6
Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.504 > Recepção Ap.604		60	Atende em nível superior de desempenho	53	Atende em nível mínimo	-7
Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.506 > Recepção Ap.606		56	Atende em nível superior de desempenho	53	Atende em nível mínimo	-3

RI

Resultados do nível de pressão sonora de impacto-padrão ponderado (L'nT,w) - Ruído de impacto de vedação horizontal (Sistema de piso)

Ambiente avaliado	Critério (dB) (NBR 15575-3)	Resultado (dB) L' <sub>nT,w</sub>	Análise	Resultado (dB) D <sub>nT,w</sub>	Análise	Δ (dB)
Sistema de Piso - Quarto 1 Emissão Ap.604 > Recepção Ap.504	Mínimo: 66 a 80 Interm.: 56 a 65 Superior: ≤ 55	62	Atende em nível intermediário	72	Atende em nível mínimo	10
Sistema de Piso - Quarto 1 Emissão Ap.606 > Recepção Ap.506		60	Atende em nível intermediário	71	Atende em nível mínimo	11
Sistema de Piso - Quarto 2 Emissão Ap.604 > Recepção Ap.504		62	Atende em nível intermediário	72	Atende em nível mínimo	10
Sistema de Piso - Suite Emissão Ap.604 > Recepção Ap.504		64	Atende em nível intermediário	70	Atende em nível mínimo	6
Sistema de Piso - Suite Emissão Ap.606 > Recepção Ap.506		63	Atende em nível intermediário	69	Atende em nível mínimo	6
Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.604 > Recepção Ap.504		58	Atende em nível intermediário	65	Atende em nível intermediário	7
Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.606 > Recepção Ap.506		62	Atende em nível intermediário	65	Atende em nível intermediário	3

## C-4 Tabela comparativa completa (medição versus simulação) – Estudo de caso I-04

I-04

VII Resultados da Diferença Padronizada de Nível Ponderada ( $D_{nT,w}$ ) Ruído aéreo de vedação vertical interna

Ambiente avaliado	Critério (dB) (NBR 15575-4)	MEDIÇÕES DE CAMPO		SIMULAÇÃO SONARCHITECT ISSO		
		Resultado (dB) $D_{nT,w}$	Análise	Resultado (dB) $D_{nT,w}$	Análise	$\Delta$ (dB)
Paredes de Geminação nas situações em que não haja dormitório	Mínimo: 40 a 44 Interm.: 45 a 49 Superior: $\geq 50$	38	Não Atende	38	Não Atende	0
		39	Não Atende	38	Não Atende	-1
Parede cega entre unidade habitacional e espaços de uso público	Emissão: Escada 17ª Pav. Recepção: Suite - Apt. 1702	48	Atende em nível intermediário de desempenho	39	Não Atende	-9

VIII Resultados da Diferença Padronizada de Nível Ponderada ( $D_{nT,w}$ ) Ruído aéreo de vedação horizontal (Sistema de piso)

Ambiente avaliado	Critério (dB) (NBR 15575-3)	Resultado (dB) $D_{nT,w}$	Análise	Resultado (dB) $D_{nT,w}$	Análise	$\Delta$ (dB)	Resultado (dB) $D_{nT,w}$	$\Delta$ (dB)
Sistema de Piso - Quarto Emissão Ap.1602 > Recepção Ap.1702	Mínimo: 45 a 49 Interm.: 50 a 54 Superior: $\geq 55$	50	Atende em nível intermediário	49	Atende em nível mínimo	-1	47	-3
Sistema de Piso - Suite Emissão Ap.1602 > Recepção Ap.1702		50	Atende em nível intermediário	50	Atende em nível intermediário	0	48	-2
Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.1602 > Recepção Ap.1702	Mínimo: 40 a 44 Interm.: 45 a 49 Superior: $\geq 50$	48	Atende em nível intermediário	49	Atende em nível intermediário	1	47	-1
Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.1602 > Recepção Ap.1702		48	Atende em nível intermediário	51	Atende em nível superior	3	49	1

RI Resultados do nível de pressão sonora de impacto-padrão ponderado ( $L'_{nT,w}$ ) - Ruído de impacto de vedação horizontal (Sistema de piso)

Ambiente avaliado	Critério (dB) (NBR 15575-3)	Resultado (dB) $L'_{nT,w}$	Análise	Resultado (dB) $L'_{nT,w}$	Análise	$\Delta$ (dB)	Resultado (dB) $L'_{nT,w}$	$\Delta$ (dB)
Sistema de Piso - Quarto Emissão Ap.1702 > Recepção Ap.1602	Mínimo: 66 a 80 Interm.: 56 a 65 Superior: $\leq 55$	80	Atende em nível mínimo	79	Atende em nível mínimo	-1	76	-4
Sistema de Piso - Suite Emissão Ap.1702 > Recepção Ap.1602		83	Atende em nível mínimo	77	Atende em nível mínimo	-6	74	-9
Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.1702 > Recepção Ap.1602	Mínimo: 66 a 80 Interm.: 56 a 65 Superior: $\leq 55$	78	Atende em nível mínimo	82	Atende em nível mínimo	4	79	1
Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.1702 > Recepção Ap.1602		77	Atende em nível mínimo	75	Atende em nível mínimo	-2	72	-5

AR 110

AR200

## C-5 Tabela comparativa completa (medição *versus* simulação) – Estudo de caso I-05

I-05

VI Resultados da Diferença Padronizada de Nível Ponderada (DnT,w) Ruído aéreo de vedação vertical interna  
 MEDIÇÕES DE CAMPO SIMULAÇÃO SONARCHITECT ISSO

Ambiente avaliado	Critério (dB) (NBR 15575-4)	Resultado (dB) $D_{nT,w}$	Análise	Resultado (dB) $D_{nT,w}$	Análise	$\Delta$ (dB)
Parede de Geminação nas situações em que não haja dormitório Emissão: Sala - Apt. 102 Recepção: Sala - Apt. 103	Mínimo: 40 a 44 Interm.: 45 a 49 Superior: $\geq 50$	33	Não Atende	39	Não Atende	6

\*vão abert

VH Resultados da Diferença Padronizada de Nível Ponderada (DnT,w) Ruído aéreo de vedação horizontal (Sistema de piso)

Ambiente avaliado	Critério (dB) (NBR 15575-3)	Resultado (dB) $D_{nT,w}$	Análise	Resultado (dB) $D_{nT,w}$	Análise	$\Delta$ (dB)
Sistema de Piso - Quarto Emissão Ap.203 > Recepção Ap.103	Mínimo: 45 a 49 Interm.: 50 a 54 Superior: $\geq 55$	49	Atende em nível mínimo de desempenho	48	Atende em nível mínimo de desempenho	-1
Sistema de Piso - Suíte Emissão Ap.203 > Recepção Ap.103		45	Atende em nível mínimo de desempenho	48	Atende em nível mínimo de desempenho	3
Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.203 > Recepção Ap.103	Mínimo: 40 a 44 Interm.: 45 a 49 Superior: $\geq 50$	47	Atende em nível Intermediário	49	Atende em nível Intermediário	2

RI Resultados do nível de pressão sonora de impacto-padrão ponderado ( $L'_{nT,w}$ ) - Ruído de impacto de vedação horizontal (Sistema de piso)

Ambiente avaliado	Critério (dB) (NBR 15575-3)	Resultado (dB) $L'_{nT,w}$	Análise	Resultado (dB) $D_{nT,w}$	Análise	$\Delta$ (dB)
Sistema de Piso - Quarto Emissão Ap.203 > Recepção Ap.103	Mínimo: 66 a 80 Interm.: 56 a 65 Superior: $\leq 55$	73	Atende em nível mínimo de desempenho	81	NÃO ATENDE	8
Sistema de Piso - Suíte Emissão Ap.203 > Recepção Ap.103		75	Atende em nível mínimo de desempenho	81	NÃO ATENDE	6
Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.203 > Recepção Ap.103		75	Atende em nível mínimo de desempenho	76	Atende em nível mínimo	1



## C-6 Tabela comparativa completa (medição versus simulação) – Estudo de caso I-06

I-06

VI

Resultados da Diferença Padronizada de Nível Ponderada (DnT,w) Ruído aéreo de vedação vertical interna

MEDIÇÕES DE CAMPO

SIMULAÇÃO SONARCHITECT ISSO

Ambiente avaliado	Critério (dB) (NBR 15575-4)	Resultado (dB) $D_{nT,w}$	Análise	Resultado (dB) $D_{nT,w}$	Análise	$\Delta$ (dB)	
Parede de Geminação nas situações em que não haja dormitório	Mínimo: 40 a 44 Interm.: 45 a 49 Superior: $\geq 50$	Emissão: Cozinha - Apt. 101 Recepção: Sala - Apt. 104	42	Atende em nível mínimo	42	Atende em nível mínimo	0
		Emissão: Cozinha - Apt. 102 Recepção: Sala - Apt. 103	41	Atende em nível mínimo	42	Atende em nível mínimo	1
		Emissão: Cozinha - Apt. 202 Recepção: Sala - Apt. 203	42	Atende em nível mínimo	42	Atende em nível mínimo	0
		Emissão: Sala - Apt. 101 Recepção: Sala - Apt. 102	38	Não Atende	41	Atende em nível mínimo	3
		Emissão: Sala - Apt. 102 Recepção: Sala - Apt. 101	38	Não Atende	41	Atende em nível mínimo	3
Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e área comuns de trânsito	Mínimo: 30 a 34 Interm.: 35 a 39 Superior: $\geq 40$	Emissão: Escada 1ª Pav. Recepção: Cozinha - Apt. 103	42	Atende em nível superior	38	Atende em nível intermediário	-4
		Emissão: Escada 1ª Pav. Recepção: Cozinha - Apt. 104	44	Atende em nível superior	38	Atende em nível intermediário	-6
		Emissão: Escada 2ª Pav. Recepção: Cozinha - Apt. 203	33	Atende em nível mínimo	38	Atende em nível intermediário	5

VH

Resultados da Diferença Padronizada de Nível Ponderada (DnT,w) Ruído aéreo de vedação horizontal (Sistema de piso)

Ambiente avaliado	Critério (dB) (NBR 15575-3)	Resultado (dB) $D_{nT,w}$	Análise	Resultado (dB) $D_{nT,w}$	Análise	$\Delta$ (dB)
Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.101 > Recepção Ap.201	Mínimo: 40 a 44 Interm.: 45 a 49 Superior: $\geq 50$	37	Não Atende	49	Atende em nível intermediário	12
Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.102 > Recepção Ap.202		41	Atende em nível mínimo	49	Atende em nível intermediário	8
Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.103 > Recepção Ap.203		36	Não Atende	49	Atende em nível intermediário	13
Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.203 > Recepção Ap.303		38	Não Atende	49	Atende em nível intermediário	11
Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.101 > Recepção Ap.201	Mínimo: 45 a 49 Interm.: 50 a 54 Superior: $\geq 55$	46	Atende em nível intermediário	50	Atende em nível superior	4
Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.102 > Recepção Ap.202		48	Atende em nível intermediário	50	Atende em nível superior	2
Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.103 > Recepção Ap.203		47	Atende em nível intermediário	50	Atende em nível superior	3
Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.203 > Recepção Ap.303		46	Atende em nível intermediário	50	Atende em nível superior	4
Sistema de Piso - Quarto 1 Emissão Ap.101 > Recepção Ap.201		53	Atende em nível intermediário	49	Atende em nível mínimo	-4
Sistema de Piso - Quarto 1 Emissão Ap.102 > Recepção Ap.202		53	Atende em nível intermediário	49	Atende em nível mínimo	-4
Sistema de Piso - Quarto 1 Emissão Ap.103 > Recepção Ap.203		52	Atende em nível intermediário	49	Atende em nível mínimo	-3
Sistema de Piso - Quarto 1 Emissão Ap.203 > Recepção Ap.303		50	Atende em nível intermediário	49	Atende em nível mínimo	-1
Sistema de Piso - Quarto 2 Emissão Ap.101 > Recepção Ap.201		51	Atende em nível intermediário	48	Atende em nível mínimo	-3
Sistema de Piso - Quarto 2 Emissão Ap.102 > Recepção Ap.202		52	Atende em nível intermediário	48	Atende em nível mínimo	-4
Sistema de Piso - Quarto 2 Emissão Ap.103 > Recepção Ap.203		51	Atende em nível intermediário	48	Atende em nível mínimo	-3
Sistema de Piso - Quarto 2 Emissão Ap.203 > Recepção Ap.303		51	Atende em nível intermediário	48	Atende em nível mínimo	-3
Sistema de Piso - Suíte Emissão Ap.101 > Recepção Ap.201		50	Atende em nível intermediário	48	Atende em nível mínimo	-2
Sistema de Piso - Suíte Emissão Ap.102 > Recepção Ap.202		49	Atende em nível mínimo	48	Atende em nível mínimo	-1
Sistema de Piso - Suíte Emissão Ap.103 > Recepção Ap.203		49	Atende em nível mínimo	48	Atende em nível mínimo	-1
Sistema de Piso - Suíte Emissão Ap.203 > Recepção Ap.303		49	Atende em nível mínimo	48	Atende em nível mínimo	-1

\*VÃO SEM

RI Resultados do nível de pressão sonora de impacto-padrão ponderado (L'nT,w) - Ruído de impacto de vedação horizontal (Sistema de

Ambiente avaliado	Critério (dB) (NBR 15575-3)	Resultado (dB) L'nT,w	Análise	Resultado (dB) D'nT,w	Análise	Δ (dB)
Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.201 > Recepção Ap.101	Mínimo: 66 a 80 Interm.: 56 a 65 Superior: ≤ 55	70	Atende em nível mínimo	77	Atende em nível mínimo	7
Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.202 > Recepção Ap.102		68	Atende em nível mínimo	77	Atende em nível mínimo	9
Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.203 > Recepção Ap.103		65	Atende em nível intermediário	77	Atende em nível mínimo	12
Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.303 > Recepção Ap.203		72	Atende em nível mínimo	77	Atende em nível mínimo	5
Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.201 > Recepção Ap.101		72	Atende em nível mínimo	72	Atende em nível mínimo	0
Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.202 > Recepção Ap.102		71	Atende em nível mínimo	72	Atende em nível mínimo	1
Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.203 > Recepção Ap.103		71	Atende em nível mínimo	71	Atende em nível mínimo	0
Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.303 > Recepção Ap.203		72	Atende em nível mínimo	71	Atende em nível mínimo	-1
Sistema de Piso - Quarto 1 Emissão Ap.201 > Recepção Ap.101		74	Atende em nível mínimo	76	Atende em nível mínimo	2
Sistema de Piso - Quarto 1 Emissão Ap.202 > Recepção Ap.102		76	Atende em nível mínimo	76	Atende em nível mínimo	0
Sistema de Piso - Quarto 1 Emissão Ap.203 > Recepção Ap.103		63	Atende em nível intermediário	76	Atende em nível mínimo	13
Sistema de Piso - Quarto 1 Emissão Ap.303 > Recepção Ap.203		74	Atende em nível mínimo	76	Atende em nível mínimo	2
Sistema de Piso - Quarto 2 Emissão Ap.201 > Recepção Ap.101		75	Atende em nível mínimo	79	Atende em nível mínimo	4
Sistema de Piso - Quarto 2 Emissão Ap.202 > Recepção Ap.102		72	Atende em nível mínimo	79	Atende em nível mínimo	7
Sistema de Piso - Quarto 2 Emissão Ap.203 > Recepção Ap.103		74	Atende em nível mínimo	79	Atende em nível mínimo	5
Sistema de Piso - Quarto 2 Emissão Ap.303 > Recepção Ap.203		80	Atende em nível mínimo	79	Atende em nível mínimo	-1
Sistema de Piso - Suíte Emissão Ap.201 > Recepção Ap.101		77	Atende em nível mínimo	76	Atende em nível mínimo	-1
Sistema de Piso - Suíte Emissão Ap.202 > Recepção Ap.102		76	Atende em nível mínimo	76	Atende em nível mínimo	0
Sistema de Piso - Suíte Emissão Ap.203 > Recepção Ap.103		77	Atende em nível mínimo	76	Atende em nível mínimo	-1
Sistema de Piso - Suíte Emissão Ap.303 > Recepção Ap.203		79	Atende em nível mínimo	76	Atende em nível mínimo	-3

## C-7 Tabela comparativa completa (medição *versus* simulação) – Estudo de caso I-07

I-07

VII Resultados da Diferença Padronizada de Nível Ponderada (DnT,w) Ruído aéreo de vedação vertical interna  
 MEDIÇÕES DE CAMPO SIMULAÇÃO SONARCHITECT ISSO

Ambiente avaliado	Critério (dB) (NBR 15575-4)	Resultado (dB) D <sub>nT,w</sub>	Análise	Resultado (dB) D <sub>nT,w</sub>	Análise	Δ (dB)
Parede de Geminação nas situações em que não haja dormitório	Mínimo: 40 a 44 Interm.: 45 a 49 Superior: ≥ 50	28	Não Atende	40	Atende em nível mínimo	12
		44	Atende em nível mínimo	43	Atende em nível mínimo	-1
		44	Atende em nível mínimo	43	Atende em nível mínimo	-1

\* VÃO ABERTO

VIII Resultados da Diferença Padronizada de Nível Ponderada (DnT,w) Ruído aéreo de vedação horizontal (Sistema de piso)

Ambiente avaliado	Critério (dB) (NBR 15575-3)	Resultado (dB) D <sub>nT,w</sub>	Análise	Resultado (dB) D <sub>nT,w</sub>	Análise	Δ (dB)
Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.101 > Recepção Ap.201	Mínimo: 40 a 44 Interm.: 45 a 49 Superior: ≥ 50	56	Atende em nível superior	52	Atende em nível intermediário	-4
Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.102 > Recepção Ap.202		56	Atende em nível superior	52	Atende em nível intermediário	-4
Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.101 > Recepção Ap.201		55	Atende em nível superior	52	Atende em nível intermediário	-3
Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.102 > Recepção Ap.202		55	Atende em nível superior	52	Atende em nível intermediário	-3
Sistema de Piso - Suite 1 Emissão Ap.101 > Recepção Ap.201	Mínimo: 45 a 49 Interm.: 50 a 54 Superior: ≥ 55	53	Atende em nível intermediário	51	Atende em nível intermediário	-2
Sistema de Piso - Suite 1 Emissão Ap.102 > Recepção Ap.202		54	Atende em nível intermediário	51	Atende em nível intermediário	-3
Sistema de Piso - Suite 2 Emissão Ap.101 > Recepção Ap.201		53	Atende em nível intermediário	51	Atende em nível intermediário	-2
Sistema de Piso - Suite 2 Emissão Ap.102 > Recepção Ap.202		54	Atende em nível intermediário	51	Atende em nível intermediário	-3
Sistema de Piso - Suite 3 Emissão Ap.101 > Recepção Ap.201		52	Atende em nível intermediário	52	Atende em nível intermediário	0
Sistema de Piso - Suite 3 Emissão Ap.102 > Recepção Ap.202		53	Atende em nível intermediário	52	Atende em nível intermediário	-1

RI Resultados do nível de pressão sonora de impacto-padrão ponderado (L'nT,w) - Ruído de impacto de vedação horizontal (Sistema de piso)

Ambiente avaliado	Critério (dB) (NBR 15575-3)	Resultado (dB) L' <sub>nT,w</sub>	Análise	Resultado (dB) D <sub>nT,w</sub>	Análise	Δ (dB)
Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.201 > Recepção Ap.101	Mínimo: 66 a 80 Interm.: 56 a 65 Superior: ≤ 55	69	Atende em nível mínimo	71	Atende em nível mínimo	2
Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.202 > Recepção Ap.102		69	Atende em nível mínimo	71	Atende em nível mínimo	2
Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.201 > Recepção Ap.101		72	Atende em nível mínimo	68	Atende em nível mínimo	-4
Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.202 > Recepção Ap.102		72	Atende em nível mínimo	68	Atende em nível mínimo	-4
Sistema de Piso - Suite 1 Emissão Ap.201 > Recepção Ap.101		73	Atende em nível mínimo	73	Atende em nível mínimo	0
Sistema de Piso - Suite 1 Emissão Ap.202 > Recepção Ap.102		69	Atende em nível mínimo	73	Atende em nível mínimo	4
Sistema de Piso - Suite 2 Emissão Ap.201 > Recepção Ap.101		74	Atende em nível mínimo	74	Atende em nível mínimo	0
Sistema de Piso - Suite 2 Emissão Ap.202 > Recepção Ap.102		72	Atende em nível mínimo	74	Atende em nível mínimo	2
Sistema de Piso - Suite 3 Emissão Ap.201 > Recepção Ap.101		75	Atende em nível mínimo	70	Atende em nível mínimo	-5
Sistema de Piso - Suite 3 Emissão Ap.202 > Recepção Ap.102		73	Atende em nível mínimo	70	Atende em nível mínimo	-3

## C-8 Tabela comparativa completa (medição *versus* simulação) – Estudo de caso I-08

I-08

VVI Resultados da Diferença Padronizada de Nível Ponderada (DnT,w) Ruído aéreo de vedação vertical interna

Ambiente avaliado	Critério (dB) (NBR 15575-4)	MEDIÇÕES DE CAMPO		SIMULAÇÃO SONARCHITECT ISSO		Δ (dB)	
		Resultado (dB) D <sub>nT,w</sub>	Análise	Resultado (dB) D <sub>nT,w</sub>	Análise		
Parede de Geminação nas situações em que não haja dormitório	Emissão: Sala - Apt. 1502 Recepção: Sala - Apt. 1501	Mínimo: 40 a 44 Interm.: 45 a 49 Superior: ≥ 50	44	Atende em nível mínimo	46	Atende em nível intermediário	2
			43	Atende em nível mínimo	46	Atende em nível mínimo	3
Parede de Geminação nas situações em que há pelo menos um dormitório	Emissão: Sala - Apt. 1503 Recepção: Sala - Apt. 1504	Mínimo: 45 a 49 Interm.: 50 a 54 Superior: ≥ 55	45	Atende em nível mínimo	42	Não atende	-3
			47	Atende em nível mínimo	42	Não atende	-5

VH Resultados da Diferença Padronizada de Nível Ponderada (DnT,w) Ruído aéreo de vedação horizontal (Sistema de piso)

Ambiente avaliado	Critério (dB) (NBR 15575-3)	Resultado (dB) D <sub>nT,w</sub>	Análise	Resultado (dB) D <sub>nT,w</sub>	Análise	Δ (dB)	Resultado (dB)	
							D <sub>nT,w</sub>	Δ (dB)
Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.1503 > Recepção Ap.1603	Mínimo: 40 a 44 Interm.: 45 a 49 Superior: ≥ 50	44	Atende em nível mínimo	51	Atende em nível superior	7	51	7
Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.1504 > Recepção Ap.1604		49	Atende em nível superior	50	Atende em nível intermediário	1	51	2
Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.1503 > Recepção Ap.1603		56	Atende em nível superior	51	Atende em nível intermediário	-5	51	-5
Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.1504 > Recepção Ap.1604		57	Atende em nível superior	52	Atende em nível intermediário	-5	52	-5
Sistema de Piso - Quarto Emissão Ap.1503 > Recepção Ap.1603	Mínimo: 45 a 49 Interm.: 50 a 54 Superior: ≥ 55	59	Atende em nível intermediário	50	Atende em nível intermediário	-9	51	-8
Sistema de Piso - Suíte casal Emissão Ap.1503 > Recepção Ap.1603		58	Atende em nível intermediário	51	Atende em nível intermediário	-7	51	-7
Sistema de Piso - Suíte Emissão Ap.1504 > Recepção Ap.1604		60	Atende em nível intermediário	51	Atende em nível intermediário	-9	51	-9
Sistema de Piso - Suíte casal Emissão Ap.1504 > Recepção Ap.1604		59	Atende em nível intermediário	50	Atende em nível intermediário	-9	51	-8

RI Resultados do nível de pressão sonora de impacto-padrão ponderado (L'nT,w) - Ruído de impacto de vedação horizontal (Sistema de piso)

Ambiente avaliado	Critério (dB) (NBR 15575-3)	MEDIÇÕES DE CAMPO		SIMULAÇÃO SONARCHITECT ISSO		Δ (dB)	Resultado (dB)	
		Resultado (dB) L' <sub>nT,w</sub>	Análise	Resultado (dB) L'nT,w	Análise		L'nT,w	Δ (dB)
Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.1603 > Recepção Ap.1503	Mínimo: 66 a 80 Interm.: 56 a 65 Superior: ≤ 55	66	Atende em nível mínimo	70	Atende em nível mínimo	4	72	6
Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.1604 > Recepção Ap.1504		70	Atende em nível mínimo	71	Atende em nível mínimo	1	73	3
Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.1603 > Recepção Ap.1503		68	Atende em nível mínimo	67	Atende em nível mínimo	-1	69	1
Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.1604 > Recepção Ap.1504		67	Atende em nível mínimo	66	Atende em nível mínimo	-1	68	1
Sistema de Piso - Quarto Emissão Ap.1603 > Recepção Ap.1503		69	Atende em nível mínimo	72	Atende em nível mínimo	3	75	6
Sistema de Piso - Suíte casal Emissão Ap.1603 > Recepção Ap.1503		64	Atende em nível intermediário	69	Atende em nível mínimo	5	72	8
Sistema de Piso - Suíte Emissão Ap.1604 > Recepção Ap.1504		61	Atende em nível intermediário	71	Atende em nível mínimo	10	73	12
Sistema de Piso - Suíte casal Emissão Ap.1604 > Recepção Ap.1504		67	Atende em nível mínimo	69	Atende em nível mínimo	2	72	5

CPE

CP 70

## C-9 Tabela comparativa completa (medição *versus* simulação) – Estudo de caso I-09

I-09

VI Resultados da Diferença Padronizada de Nível Ponderada (DnT,w) Ruído aéreo de vedação vertical interna

MEDIÇÕES DE CAMPO SIMULAÇÃO SONARCHITECT

Ambiente avaliado	Critério (dB) (NBR 15575-4)	Resultado (dB) $D_{nT,w}$	Análise	Resultado (dB) $D_{nT,w}$	Análise	$\Delta$ (dB)	
Parede de Geminção nas situações em que não haja dormitório	Emissão: Sala - Apt. 102S Recepção: Sala - Apt. 101S	Mínimo: 40 a 44 Interm.: 45 a 49 Superior: $\geq 50$	45	Atende em nível intermediário	47	Atende em nível intermediário	2
			45	Atende em nível intermediário	47	Atende em nível intermediário	2
Parede de Geminção nas situações em que há pelo menos um dormitório	Emissão: Suíte casal - Apt. 101S Recepção: Suíte casal - Apt. 101N	Mínimo: 45 a 49 Interm.: 50 a 54 Superior: $\geq 55$	46	Atende em nível mínimo	45	Atende em nível mínimo	-1
			45	Atende em nível mínimo	44	Não atende	-1
			47	Atende em nível mínimo	46	Atende em nível mínimo	-1

VH Resultados da Diferença Padronizada de Nível Ponderada (DnT,w) Ruído aéreo de vedação horizontal (Sistema de piso)

MEDIÇÕES DE CAMPO SIMULAÇÃO SONARCHITECT

Ambiente avaliado	Critério (dB) (NBR 15575-3)	Resultado (dB) $D_{nT,w}$	Análise	Resultado (dB) $D_{nT,w}$	Análise	$\Delta$ (dB)
Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.102S > Recepção Ap.202S	Mínimo: 40 a 44 Interm.: 45 a 49 Superior: $\geq 50$	47	Atende em nível intermediário	53	Atende em nível superior	6
Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.202S > Recepção Ap.302S		45	Atende em nível intermediário	53	Atende em nível superior	8
Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.102S > Recepção Ap.202S		57	Atende em nível superior	53	Atende em nível superior	-4
Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.202S > Recepção Ap.302S		57	Atende em nível superior	53	Atende em nível superior	-4
Sistema de Piso - Suíte casal Emissão Ap.202S > Recepção Ap.302S	Mínimo: 45 a 49 Interm.: 50 a 54 Superior: $\geq 55$	53	Atende em nível intermediário	52	Atende em nível intermediário	-1
Sistema de Piso - Suíte filha Emissão Ap.202S > Recepção Ap.302S		54	Atende em nível intermediário	51	Atende em nível intermediário	-3
Sistema de Piso - Suíte filho Emissão Ap.202S > Recepção Ap.302S		55	Atende em nível intermediário	52	Atende em nível intermediário	-3
Sistema de Piso - Suíte visita Emissão Ap.102S > Recepção Ap.202S		56	Atende em nível intermediário	52	Atende em nível intermediário	-4

RI Resultados do nível de pressão sonora de impacto-padrão ponderado ( $L'_{nT,w}$ ) - Ruído de impacto de vedação horizontal (Sistema de piso)

MEDIÇÕES DE CAMPO SIMULAÇÃO SONARCHITECT

Ambiente avaliado	Critério (dB) (NBR 15575-3)	Resultado (dB) $L'_{nT,w}$	Análise	Resultado (dB) $L'_{nT,w}$	Análise	$\Delta$ (dB)
Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.202S > Recepção Ap.102S	Mínimo: 66 a 80 Interm.: 56 a 65 Superior: $\leq 55$	72	Atende em nível mínimo	69	Atende em nível mínimo	-3
Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.302S > Recepção Ap.202S		71	Atende em nível mínimo	69	Atende em nível mínimo	-2
Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.202S > Recepção Ap.102S		72	Atende em nível mínimo	67	Atende em nível mínimo	-5
Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.302S > Recepção Ap.202S		71	Atende em nível mínimo	67	Atende em nível mínimo	-4
Sistema de Piso - Suíte casal Emissão Ap.302S > Recepção Ap.202S		73	Atende em nível mínimo	72	Atende em nível mínimo	-1
Sistema de Piso - Suíte filha Emissão Ap.302S > Recepção Ap.202S		76	Atende em nível mínimo	74	Atende em nível mínimo	-2
Sistema de Piso - Suíte filho Emissão Ap.302S > Recepção Ap.202S		74	Atende em nível mínimo	74	Atende em nível mínimo	0
Sistema de Piso - Suíte visita Emissão Ap.202S > Recepção Ap.102S		71	Atende em nível mínimo	73	Atende em nível mínimo	2

## C-10 Tabela comparativa completa (medição *versus* simulação) – Estudo de caso I-10

I-10

VII

Resultados da Diferença Padronizada de Nível Ponderada (DnT,w) Ruído aéreo de vedação vertical interna

MEDIÇÕES DE CAMPO

SIMULAÇÃO SONARCHITECT ISSO

Parede de Geminação nas situações em que não haja dormitório

Ambiente avaliado	Critério (dB) (NBR 15575-4)	Resultado (dB) D <sub>nT,w</sub>	Análise	Resultado (dB) D <sub>nT,w</sub>	Análise	Δ (dB)
Emissão: Cozinha - Apt. 01 Recepção: Cozinha - Apt. 03	Mínimo: 40 a 44 Intern.: 45 a 49 Superior: ≥ 50	41	Atende em nível mínimo	43	Atende em nível mínimo	2
Emissão: Cozinha - Apt. 02 Recepção: Cozinha - Apt. 04		41	Atende em nível mínimo	43	Atende em nível mínimo	2
Emissão: Cozinha - Apt. 104 Recepção: Cozinha - Apt. 102		43	Atende em nível mínimo	43	Atende em nível mínimo	0
Emissão: Sala - Apt. 01 Recepção: Sala - Apt. 03		43	Atende em nível mínimo	44	Atende em nível mínimo	1
Emissão: Sala - Apt. 02 Recepção: Sala - Apt. 04		43	Atende em nível mínimo	44	Atende em nível mínimo	1
Emissão: Sala - Apt. 104 Recepção: Sala - Apt. 102		40	Atende em nível mínimo	45	Atende em nível intermediário	5

VIII

Resultados da Diferença Padronizada de Nível Ponderada (DnT,w) Ruído aéreo de vedação horizontal (Sistema de piso)

MEDIÇÕES DE CAMPO

SIMULAÇÃO SONARCHITECT ISSO

Ambiente avaliado	Critério (dB) (NBR 15575-3)	Resultado (dB) D <sub>nT,w</sub>	Análise	Resultado (dB) D <sub>nT,w</sub>	Análise	Δ (dB)	Resultado (dB) D <sub>nT,w</sub>	Δ (dB)
Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.02 > Recepção Ap.102	Mínimo: 40 a 44 Intern.: 45 a 49 Superior: ≥ 50	47	Atende em nível intermediário	48	Atende em nível intermediário	1	49	2
Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.03 > Recepção Ap.103		46	Atende em nível intermediário	48	Atende em nível intermediário	2	49	3
Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.02 > Recepção Ap.102		46	Atende em nível intermediário	49	Atende em nível intermediário	3	50	4
Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.03 > Recepção Ap.103		45	Atende em nível intermediário	49	Atende em nível intermediário	4	50	5
Sistema de Piso - Quarto 1 Emissão Ap.01 > Recepção Ap.101	Mínimo: 45 a 49 Intern.: 50 a 54 Superior: ≥ 55	50	Atende em nível intermediário	48	Atende em nível mínimo	-2	49	-1
Sistema de Piso - Quarto 1 Emissão Ap.02 > Recepção Ap.102		50	Atende em nível intermediário	48	Atende em nível mínimo	-2	49	-1
Sistema de Piso - Quarto 1 Emissão Ap.03 > Recepção Ap.103		49	Atende em nível mínimo	48	Atende em nível mínimo	-1	49	0
Sistema de Piso - Quarto 1 Emissão Ap.04 > Recepção Ap.104		46	Atende em nível mínimo	48	Atende em nível mínimo	2	49	3

IX

Resultados do nível de pressão sonora de impacto-padrão ponderado (L'nT,w) - Ruído de impacto de vedação horizontal (Sistema de piso)

MEDIÇÕES DE CAMPO

SIMULAÇÃO SONARCHITECT ISSO

Ambiente avaliado	Critério (dB) (NBR 15575-3)	Resultado (dB) L'nT,w	Análise	Resultado (dB) L'nT,w	Análise	Δ (dB)	Resultado (dB) L'nT,w	Δ (dB)
Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.102 > Recepção Ap.02	Mínimo: 66 a 80 Intern.: 56 a 65 Superior: ≤ 55	80	Atende em nível mínimo	89	Não atende	9	84	4
Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.103 > Recepção Ap.03		83	Não atende	89	Não atende	6	84	1
Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.102 > Recepção Ap.02		78	Atende em nível mínimo	85	Não atende	7	80	2
Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.103 > Recepção Ap.03		77	Atende em nível mínimo	85	Não atende	8	80	3
Sistema de Piso - Quarto 1 Emissão Ap.101 > Recepção Ap.01		79	Atende em nível mínimo	88	Não atende	9	84	5
Sistema de Piso - Quarto 1 Emissão Ap.102 > Recepção Ap.02		80	Atende em nível mínimo	88	Não atende	8	84	4
Sistema de Piso - Quarto 1 Emissão Ap.103 > Recepção Ap.03		82	Não atende	88	Não atende	6	84	2
Sistema de Piso - Quarto 1 Emissão Ap.104 > Recepção Ap.04		82	Não atende	88	Não atende	6	84	2

Damping 0.003

Damping 0.009

## C-11 Tabela comparativa completa (medição *versus* simulação) – Estudo de caso I-11

I-11

VII Resultados da Diferença Padronizada de Nível Ponderada (DnT,w) Ruído aéreo de vedação vertical interna

Ambiente avaliado	Critério (dB) (NBR 15575-4)	MEDIÇÕES DE CAMPO		SIMULAÇÃO SONARCHITECT			
		Resultado (dB) D <sub>nr,w</sub>	Análise	Resultado (dB) D <sub>nr,w</sub>	Análise	Δ (dB)	
Parede de Geminção nas situações em que não haja dormitório	Mínimo: 40 a 44 Interm.: 45 a 49 Superior: ≥ 50	Emissão: Cozinha - Apt. 01 Recepção: Cozinha - Apt. 04	44	Atende em nível mínimo	43	Atende em nível mínimo	-1
		Emissão: Cozinha - Apt. 02 Recepção: Cozinha - Apt. 03	45	Atende em nível intermediário	43	Atende em nível mínimo	-2
	Mínimo: 40 a 44 Interm.: 45 a 49 Superior: ≥ 50	Emissão: Sala - Apt. 01 Recepção: Sala - Apt. 04	46	Atende em nível intermediário	46	Atende em nível intermediário	0
		Emissão: Sala - Apt. 02 Recepção: Sala - Apt. 03	41	Atende em nível mínimo	46	Atende em nível intermediário	5

VH Resultados da Diferença Padronizada de Nível Ponderada (DnT,w) Ruído aéreo de vedação horizontal (Sistema de piso)

Ambiente avaliado	Critério (dB) (NBR 15575-3)	MEDIÇÕES DE CAMPO		SIMULAÇÃO SONARCHITECT			Resultado (dB) D <sub>nr,w</sub>	Δ (dB)
		Resultado (dB) D <sub>nr,w</sub>	Análise	Resultado (dB) D <sub>nr,w</sub>	Análise	Δ (dB)		
Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.01 > Recepção Ap.101	Mínimo: 40 a 44 Interm.: 45 a 49 Superior: ≥ 50	47	Atende em nível intermediário	49	Atende em nível intermediário	2	50	3
Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.02 > Recepção Ap.102		49	Atende em nível intermediário	49	Atende em nível intermediário	0	50	1
Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.01 > Recepção Ap.101		46	Atende em nível intermediário	50	Atende em nível superior	4	50	4
Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.02 > Recepção Ap.102		47	Atende em nível intermediário	50	Atende em nível superior	3	50	3
Sistema de Piso - Quarto 1 Emissão Ap.01 > Recepção Ap.101	Mínimo: 45 a 49 Interm.: 50 a 54 Superior: ≥ 55	48	Atende em nível mínimo	48	Atende em nível mínimo	0	49	1
Sistema de Piso - Quarto 1 Emissão Ap.02 > Recepção Ap.102		48	Atende em nível mínimo	48	Atende em nível mínimo	0	49	1
Sistema de Piso - Quarto 2 Emissão Ap.01 > Recepção Ap.101		46	Atende em nível mínimo	49	Atende em nível mínimo	3	49	3
Sistema de Piso - Quarto 2 Emissão Ap.02 > Recepção Ap.102		48	Atende em nível mínimo	49	Atende em nível mínimo	1	49	1

RI Resultados do nível de pressão sonora de impacto-padrão ponderado (L'nT,w) - Ruído de impacto de vedação horizontal (Sistema de piso)

Ambiente avaliado	Critério (dB) (NBR 15575-3)	MEDIÇÕES DE CAMPO		SIMULAÇÃO SONARCHITECT			Resultado (dB) L'nT,w	Δ (dB)
		Resultado (dB) L'nT,w	Análise	Resultado (dB) L'nT,w	Análise	Δ (dB)		
Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.101 > Recepção Ap.01	Mínimo: 66 a 80 Interm.: 56 a 65 Superior: ≤ 55	80	Atende em nível mínimo	87	Não atende	7	83	3
Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.102 > Recepção Ap.02		76	Atende em nível mínimo	87	Não atende	11	83	7
Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.101 > Recepção Ap.01		78	Atende em nível mínimo	84	Não atende	6	80	2
Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.102 > Recepção Ap.02		77	Atende em nível mínimo	84	Não atende	7	80	3
Sistema de Piso - Quarto 1 Emissão Ap.101 > Recepção Ap.01		81	Não atende	87	Não atende	6	83	2
Sistema de Piso - Quarto 1 Emissão Ap.102 > Recepção Ap.02		80	Atende em nível mínimo	87	Não atende	7	83	3
Sistema de Piso - Quarto 2 Emissão Ap.101 > Recepção Ap.01		81	Não atende	86	Não atende	5	82	1
Sistema de Piso - Quarto 2 Emissão Ap.102 > Recepção Ap.02		79	Atende em nível mínimo	86	Não atende	7	82	3

Damping 0.003

Damping 0.009

## C-12 Tabela comparativa completa (medição *versus* simulação) – Estudo de caso I-12

I-12

VII Resultados da Diferença Padronizada de Nível Ponderada (DnT,w) Ruído aéreo de vedação vertical interna

	MEDIÇÕES DE CAMPO				SIMULAÇÃO SONARCHITECT		
	Ambiente avaliado	Critério (dB) (NBR 15575-4)	Resultado (dB) D <sub>nr,w</sub>	Análise	Resultado (dB) D <sub>nr,w</sub>	Análise	Δ (dB)
Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e área comuns de trânsito eventual	Emissão: Hall Recepção: Cozinha - Apt. 02	Mínimo: 30 a 34 Interm.: 35 a 39 Superior: ≥ 40	24	Não atende	44	Atende em nível superior	20
	Emissão: Hall Recepção: Cozinha - Apt. 03		25	Não atende	44	Atende em nível superior	19
	Emissão: Hall Recepção: Cozinha - Apt. 04		26	Não atende	43	Atende em nível superior	17
Parede de Geminção nas situações em que há pelo menos um dormitório	Emissão: Quarto 1 - Apt. 02 TB Recepção: Quarto 1 - Apt. 03 TA	Mínimo: 45 a 49 Interm.: 50 a 54 Superior: ≥ 55	54	Atende em nível intermediário	45/50/57		-9/-4/3
	Emissão: Quarto 1 - Apt. 03 TB Recepção: Quarto 1 - Apt. 02 TA		55	Atende em nível superior	45/50/57		-10/-5/2
	Emissão: Quarto 2 - Apt. 03 TB Recepção: Quarto 2 - Apt. 02 TA		50	Atende em nível intermediário	43/48/56		-7/-2/6
Parede de Geminção nas situações em que não haja dormitório	Emissão: Sala - Apt. 04 TA Recepção: Sala - Apt. 03 TA	Mínimo: 40 a 44 Interm.: 45 a 49 Superior: ≥ 50	40	Atende em nível mínimo	43	Atende em nível mínimo	3
	Emissão: Sala - Apt. 04 TB Recepção: Sala - Apt. 03 TB		42	Atende em nível mínimo	43	Atende em nível mínimo	1

parede simples / parede dobrada / parede dupla com junta

VIII Resultados da Diferença Padronizada de Nível Ponderada (DnT,w) Ruído aéreo de vedação horizontal (Sistema de piso)

	MEDIÇÕES DE CAMPO				SIMULAÇÃO SONARCHITECT			
	Ambiente avaliado	Critério (dB) (NBR 15575-3)	Resultado (dB) D <sub>nr,w</sub>	Análise	Resultado (dB) D <sub>nr,w</sub>	Análise	Δ (dB)	Resultado (dB) D <sub>nr,w</sub>
Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.103 > Recepção Ap.203 TB	Mínimo: 40 a 44 Interm.: 45 a 49 Superior: ≥ 50	45	Atende em nível intermediário	46	Atende em nível intermediário	1	47	2
		45	Atende em nível intermediário	46	Atende em nível intermediário	1	47	2
Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.204 > Recepção Ap.304 TA	Mínimo: 45 a 49 Interm.: 50 a 54 Superior: ≥ 55	46	Atende em nível intermediário	47	Atende em nível superior	1	48	2
Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.103 > Recepção Ap.203 TB		45	Atende em nível intermediário	47	Atende em nível superior	2	48	3
Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.204 > Recepção Ap.304 TA	Mínimo: 45 a 49 Interm.: 50 a 54 Superior: ≥ 55	46	Atende em nível mínimo	47	Atende em nível mínimo	1	48	2
Sistema de Piso - Quarto 1 Emissão Ap.103 > Recepção Ap.203 TB		46	Atende em nível mínimo	47	Atende em nível mínimo	1	47	1
Sistema de Piso - Quarto 1 Emissão Ap.204 > Recepção Ap.304 TA	Mínimo: 45 a 49 Interm.: 50 a 54 Superior: ≥ 55	45	Atende em nível mínimo	47	Atende em nível mínimo	2	48	3
Sistema de Piso - Quarto 2 Emissão Ap.103 > Recepção Ap.203 TB		45	Atende em nível mínimo	46	Atende em nível mínimo	1	47	2

RI Resultados do nível de pressão sonora de impacto-padrão ponderado (L'nT,w) - Ruído de impacto de vedação horizontal (Sistema de piso)

	MEDIÇÕES DE CAMPO				SIMULAÇÃO SONARCHITECT			
	Ambiente avaliado	Critério (dB) (NBR 15575-3)	Resultado (dB) L'nT,w	Análise	Resultado (dB) L'nT,w	Análise	Δ (dB)	Resultado (dB) L'nT,w
Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.203 > Recepção Ap.103 TB	Mínimo: 66 a 80 Interm.: 56 a 65 Superior: ≤ 55	80	Atende em nível mínimo	90	Não atende	10	86	6
		80	Atende em nível mínimo	90	Não atende	10	86	6
Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.304 > Recepção Ap.204 TA	Mínimo: 66 a 80 Interm.: 56 a 65 Superior: ≤ 55	82	Não atende	87	Não atende	5	83	1
Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.203 > Recepção Ap.103 TB		81	Não atende	87	Não atende	6	83	2
Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.304 > Recepção Ap.204 TA	Mínimo: 66 a 80 Interm.: 56 a 65 Superior: ≤ 55	74	Atende em nível mínimo	88	Não atende	14	83	9
Sistema de Piso - Quarto 1 Emissão Ap.203 > Recepção Ap.103 TB		75	Atende em nível mínimo	88	Não atende	13	84	9
Sistema de Piso - Quarto 1 Emissão Ap.304 > Recepção Ap.204 TA	Mínimo: 66 a 80 Interm.: 56 a 65 Superior: ≤ 55	73	Atende em nível mínimo	89	Não atende	16	84	11
Sistema de Piso - Quarto 2 Emissão Ap.203 > Recepção Ap.103 TB		75	Atende em nível mínimo	89	Não atende	14	85	10

Damping 0.003

Damping 0.009



## C-13 Tabela comparativa completa (medição *versus* simulação) – Estudo de caso I-13

I-13

VI Resultados da Diferença Padronizada de Nível Ponderada (DnT,w) Ruído aéreo de vedação vertical interna

Ambiente avaliado	Critério (dB) (NBR 15575-4)	MEDIÇÕES DE CAMPO			SIMULAÇÃO SONARCHITECT		
		Resultado (dB) D <sub>nT,w</sub>	Análise	Resultado (dB) D <sub>nT,w</sub>	Análise	Δ (dB)	
Parede de Geminção nas situações em que há pelo menos um dormitório	Emissão: Suíte - Apt. 102 TA Recepção: Quarto - Apt. 104 TB Mínimo: 45 a 49 Interm.: 50 a 54 Superior: ≥ 55	43	Atende em nível mínimo	44/52/54		1/9/11	
		40	Atende em nível superior	43/51/54		3/11/14	
Parede de Geminção nas situações em que não haja dormitório	Emissão: Sala - Apt. 101 Recepção: Sala - Apt. 104 Mínimo: 40 a 44 Interm.: 45 a 49 Superior: ≥ 50	41	Atende em nível mínimo	45	Atende em nível intermediário	4	
		40	Atende em nível mínimo	45	Atende em nível intermediário	5	

parede simples / parede dobrada / parede dupla com junta

VH Resultados da Diferença Padronizada de Nível Ponderada (DnT,w) Ruído aéreo de vedação horizontal (Sistema de piso)

Ambiente avaliado	Critério (dB) (NBR 15575-3)	MEDIÇÕES DE CAMPO			SIMULAÇÃO SONARCHITECT			
		Resultado (dB) D <sub>nT,w</sub>	Análise	Resultado (dB) D <sub>nT,w</sub>	Análise	Δ (dB)	Resultado (dB) D <sub>nT,w</sub>	Δ (dB)
Sistema de Piso - Quarto Emissão Ap.101 > Recepção Ap.201	Mínimo: 45 a 49 Interm.: 50 a 54 Superior: ≥ 55	42	Atende em nível mínimo	49	Atende em nível mínimo	7	50	8
Sistema de Piso - Quarto Emissão Ap.104 > Recepção Ap.204		43	Atende em nível mínimo	49	Atende em nível mínimo	6	50	7
Sistema de Piso - Suíte Emissão Ap.101 > Recepção Ap.201		42	Atende em nível mínimo	49	Atende em nível mínimo	7	49	7
Sistema de Piso - Suíte Emissão Ap.104 > Recepção Ap.204		43	Atende em nível mínimo	49	Atende em nível mínimo	6	49	6
Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.101 > Recepção Ap.201	Mínimo: 40 a 44 Interm.: 45 a 49 Superior: ≥ 50	40	Atende em nível mínimo	50	Atende em nível superior	10	51	11
Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.104 > Recepção Ap.204		40	Atende em nível mínimo	50	Atende em nível superior	10	51	11

RI Resultados do nível de pressão sonora de impacto-padrão ponderado (L'nT,w) - Ruído de impacto de vedação horizontal (Sistema de piso)

Ambiente avaliado	Critério (dB) (NBR 15575-3)	MEDIÇÕES DE CAMPO			SIMULAÇÃO SONARCHITECT			
		Resultado (dB) L'nT,w	Análise	Resultado (dB) L'nT,w	Análise	Δ (dB)	Resultado (dB) L'nT,w	Δ (dB)
Sistema de Piso - Quarto Emissão Ap.201 > Recepção Ap.101	Mínimo: 66 a 80 Interm.: 56 a 65 Superior: ≤ 55	82	Não atende	86	Não atende	4	82	0
Sistema de Piso - Quarto Emissão Ap.204 > Recepção Ap.104		80	Atende em nível mínimo	86	Não atende	6	82	2
Sistema de Piso - Suíte Emissão Ap.201 > Recepção Ap.101		81	Não atende	87	Não atende	6	83	2
Sistema de Piso - Suíte Emissão Ap.204 > Recepção Ap.104		83	Não atende	87	Não atende	4	83	0
Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.201 > Recepção Ap.101		80	Atende em nível mínimo	81	Não atende	1	77	-3
Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.204 > Recepção Ap.104		79	Atende em nível mínimo	82	Não atende	3	77	-2

Damping 0,003 Damping 0,009

## C-14 Tabela comparativa completa (medição *versus* simulação) – Estudo de caso I-14

I-14

VVI Resultados da Diferença Padronizada de Nível Ponderada (DnT,w) Ruído aéreo de vedação vertical interna

Ambiente avaliado	Critério (dB) (NBR 15575-4)	MEDIÇÕES DE CAMPO			SIMULAÇÃO SONARCHITECT		
		Resultado (dB) D <sub>nT,w</sub>	Análise	Resultado (dB) D <sub>nT,w</sub>	Análise	Δ (dB)	
Parede de Geminção nas situações em que não haja dormitório	Emissão: Sala - Apt. 102 Recepção: Sala - Apt. 101	Mínimo: 40 a 44 Interm.: 45 a 49 Superior: ≥ 50	42	Atende em nível mínimo	44	Atende em nível mínimo	2
			43	Atende em nível mínimo	44	Atende em nível mínimo	1
Parede de Geminção nas situações em que há pelo menos um dormitório	Emissão: Sala - Apt. 103 Recepção: Sala - Apt. 104	Mínimo: 45 a 49 Interm.: 50 a 54 Superior: ≥ 55	51	Atende em nível intermediário	44/52/53	Atende em nível intermediário	-7/1/2
			48	Atende em nível mínimo	43/51/52	Atende em nível intermediário	-5/3/4
Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e área comuns de trânsito eventual	Emissão: Hall Recepção: Cozinha - Apt. 101	Mínimo: 30 a 34 Interm.: 35 a 39 Superior: ≥ 40	27	Não atende	42	Atende em nível superior	15
			25	Não atende	42	Atende em nível superior	17

parede simples / parede dobrada / parede dupla com junta (espaço de ar)

VH Resultados da Diferença Padronizada de Nível Ponderada (DnT,w) Ruído aéreo de vedação horizontal (Sistema de piso)

Ambiente avaliado	Critério (dB) (NBR 15575-3)	MEDIÇÕES DE CAMPO			SIMULAÇÃO SONARCHITECT				
		Resultado (dB) D <sub>nT,w</sub>	Análise	Resultado (dB) D <sub>nT,w</sub>	Análise	Δ (dB)	Resultado (dB) D <sub>nT,w</sub>	Δ (dB)	
Sistema de Piso - Quarto 1 Emissão Ap.103 > Recepção Ap.203	Mínimo: 45 a 49 Interm.: 50 a 54 Superior: ≥ 55	45	Atende em nível mínimo	47	Atende em nível mínimo	2	47	2	
Sistema de Piso - Quarto 1 Emissão Ap.104 > Recepção Ap.204		48	Atende em nível mínimo	47	Atende em nível mínimo	-1	47	-1	
Sistema de Piso - Quarto 2 Emissão Ap.103 > Recepção Ap.203		45	Atende em nível mínimo	47	Atende em nível mínimo	2	47	2	
Sistema de Piso - Quarto 2 Emissão Ap.104 > Recepção Ap.204		48	Atende em nível mínimo	46	Atende em nível mínimo	-2	47	-1	
Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.103 > Recepção Ap.203		Mínimo: 40 a 44 Interm.: 45 a 49 Superior: ≥ 50	45	Atende em nível intermediário	47	Atende em nível intermediário	2	48	3
Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.104 > Recepção Ap.204			46	Atende em nível intermediário	47	Atende em nível intermediário	1	48	2
Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.103 > Recepção Ap.203			46	Atende em nível intermediário	46	Atende em nível intermediário	0	47	1
Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.104 > Recepção Ap.204			46	Atende em nível intermediário	46	Atende em nível intermediário	0	47	1

RI Resultados do nível de pressão sonora de impacto-padrão ponderado (L'nT,w) - Ruído de impacto de vedação horizontal (Sistema de piso)

Ambiente avaliado	Critério (dB) (NBR 15575-3)	MEDIÇÕES DE CAMPO			SIMULAÇÃO SONARCHITECT			
		Resultado (dB) L' <sub>nT,w</sub>	Análise	Resultado (dB) L'nT,w	Análise	Δ (dB)	Resultado (dB) L'nT,w	Δ (dB)
Sistema de Piso - Sala Emissão Ap.203 > Recepção Ap.103	Mínimo: 66 a 80 Interm.: 56 a 65 Superior: ≤ 55	78	Atende em nível mínimo	86	Não atende	8	82	4
Sistema de Piso - Cozinha Emissão Ap.203 > Recepção Ap.103		80	Atende em nível mínimo	90	Não atende	10	86	6
Sistema de Piso - Quarto 1 Emissão Ap.203 > Recepção Ap.103		77	Atende em nível mínimo	88	Não atende	11	84	7

Damping 0.003

Damping 0.009