

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

RAFAELLA CRISTINA TEIXEIRA PENEDO

**ISOLAMENTO SONORO AÉREO DE PARTIÇÕES VERTICAIS EM HABITAÇÕES
MULTIFAMILIARES EM MACEIÓ-AL**

MACEIÓ
2014

RAFAELLA CRISTINA TEIXEIRA PENEDO

**ISOLAMENTO SONORO AÉREO DE PARTIÇÕES VERTICAIS EM HABITAÇÕES
MULTIFAMILIARES EM MACEIÓ-AL**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Alagoas como requisito para a obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientadora: Prof^ª Dr^ª Maria Lúcia Gondim da
Rosa Oiticica

MACEIÓ
2014

Catlogação na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecária Responsável: Valter dos Santos Andrade

P398i Penedo, Rafaella Cristina Teixeira.
Isolamento sonoro aéreo de partições verticais em habitações multifamiliares em Maceió – AL / Rafaella Cristina Teixeira Penedo. – 2014.
186 f. : il.

Orientadora: Maria Lúcia Gondim da Rosa Oiticica.
Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo : Dinâmicas do Espaço Habitado) – Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Maceió, 2014.

Bibliografia: f. 162-168.
Apêndices: f. 169-186.

1. Isolamento acústico. 2. Isolamento sonoro. 3. Ruído aéreo. 4. Edificações Multifamiliares – Maceió, AL. 4. Partições verticais. 5. Acústica - Avaliação de desempenho. 6. Qualidade acústica – Edificações. I. Título.

CDU: 728.2: 725.81

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

RAFAELLA CRISTINA TEIXEIRA PENEDO

**ISOLAMENTO SONORO AÉREO DE PARTIÇÕES VERTICAIS EM HABITAÇÕES
MULTIFAMILIARES EM MACEIÓ-AL**

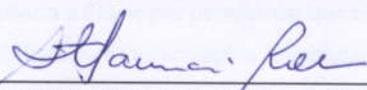
Dissertação de Mestrado apresentada ao
Programa de Pós-Graduação de Arquitetura e
Urbanismo da Universidade Federal de Alagoas
como requisito para a obtenção do grau de Mestre
em Arquitetura e Urbanismo.

APROVADA em 10 de setembro de 2014

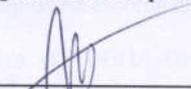
BANCA EXAMINADORA



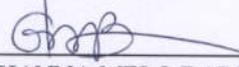
Prof. Dra. MARIA LÚCIA GONDIM DA ROSA OITICICA
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – UFAL



Prof. Dra. STELLAMARIS ROLLA BERTOLI
Faculdade de Engenharia e Arquitetura – Unicamp - SP



Prof. Dr. AUGUSTO ARAGÃO DE ALBUQUERQUE
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – UFAL



Prof. Dra. GIANNA MELO BARBIRATO
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – UFAL

AGRADECIMENTOS

A minha “Vó Dica”, que tanto torcia por mim e que, infelizmente, não está mais aqui para presenciar essa realização tão importante para a minha vida e para a minha carreira.

A minha mãe, Eugenia Penedo, principal incentivadora, que aguentou meu nervosismo, que foi minha auxiliar nas medições de campo e que me ajudou nos momentos mais difíceis.

A minha orientadora, Prof^ª Dr^ª Maria Lúcia Oiticica, por sua paciência, por compreender minhas ausências, por ter sido minha “patrocinadora”, emprestando os equipamentos essenciais para o trabalho, e pelas discussões, conselhos e contribuições que resultaram neste trabalho.

À colega de mestrado, Jordana Teixeira, sempre prestativa e que me deu ótimos conselhos.

A minha família e aos meus amigos que entenderam meus momentos de ausência, quando não pude comparecer por estar trabalhando na dissertação.

Ao meu Chefe de Departamento e amigo, Shyrdnez Azevedo, que me emprestou o pedestal de microfone e a extensão elétrica, fundamentais para as medições de campo.

Aos meus amigos de trabalho do IFAL (Instituto Federal de Alagoas), como a minha coordenadora Jordânnya Silva, a Natália Júlia e a Juliana Santos, que me ajudaram muito tirando minhas dúvidas.

A minha amiga, a Arquiteta Letícia Brayner, que me ajudou a entrar em contato com a Construtora Contrato Engenharia e que esclareceu diversas dúvidas.

Às construtoras Contrato Engenharia e Placic por permitirem que eu fizesse medições em seus empreendimentos e por disponibilizarem as informações solicitadas.

À Associação das Empresas do Mercado Imobiliário de Alagoas (Ademi-Al) por divulgar o trabalho para os construtores e pela ajuda na escolha dos objetos de estudo.

A Larisse, assistente administrativa do DEHA-UFAL, atenciosa e sempre disposta a esclarecer meus questionamentos.

Agradeço a todos aqueles que, de alguma forma, deram sua contribuição para a realização deste trabalho.

RESUMO

A NBR 15575(2013) denominada “Norma de Desempenho – Habitações” estabelece requisitos mínimos obrigatórios para os diversos elementos da construção em prol do desempenho das edificações, servindo de parâmetro para os construtores e para os compradores na análise e na garantia da qualidade das suas habitações. Esta norma, em vigor desde julho de 2013, aliada aos parâmetros e métodos de normas internacionais, serve de base para trabalhos de avaliação do desempenho acústico de moradias no Brasil. Os diagnósticos futuros fundamentados nessa norma servirão para embasar iniciativas de adequação dos novos empreendimentos às exigências normativas. Os fabricantes de sistemas construtivos também deverão adequar os seus produtos e divulgar os resultados dos testes de desempenho, os quais auxiliarão o projetista na especificação dos componentes das edificações, fornecendo dados suficientes para a escolha de materiais com melhor desempenho. O objetivo geral deste trabalho é avaliar o isolamento acústico ao ruído aéreo de partições verticais em apartamentos de habitações multifamiliares em Maceió-AL, apresentando uma adaptação de certificação de desempenho acústico. Como método de avaliação, foram selecionados dois apartamentos, em edifícios distintos, de duas construtoras, com diferentes configurações de plantas e sistemas construtivos diversos, onde medições em campo foram realizadas para se saber o grau de isolamento acústico das fachadas dos dormitórios e das partições internas dos ambientes que compõem as unidades habitacionais em estudo. Com os resultados obtidos, foi possível verificar que o isolamento acústico dos objetos em estudo não foi satisfatório, visto que os resultados para o ruído aéreo, em sua maioria, ficaram abaixo dos níveis mínimos exigidos pela norma de desempenho, NBR 15575 (ABNT, 2013). Fica evidente, assim, a necessidade, não apenas da avaliação e do controle do desempenho acústico, mas também de maior preocupação com estratégias de projeto e de intervenções construtivas que proporcionem aos usuários condições adequadas de conforto e de privacidade.

Palavras-chave: Isolamento sonoro. Ruído aéreo. Edificações multifamiliares. Partições verticais. Avaliação de desempenho. Qualidade acústica.

ABSTRACT

The NBR 15575 (ABNT, 2013) called “Performance Standard – Dwellings” sets out mandatory minimum requirements for the various elements of construction in favour of the performance of buildings, used as benchmark for builders and buyers in the analysis and quality assurance of their homes. This standard, in force since July 2013, together with the parameters and methods of international standards, is the basis for the evaluation work of the acoustic performance of houses in Brazil. Future diagnosis based on this standard will serve to support initiatives suitability of new ventures regulatory requirements. Manufacturers of construction systems should also tailor their products and disseminate the results of the performance tests, which assist the designer in the specification of the components of the buildings, providing sufficient choice of materials with better performance data. The aim of this study is to evaluate the soundproofing airborne noise of vertical partitions in apartments in Maceió-AL, presenting an adaptation of certification of acoustic performance. As evaluation method, we selected two apartments in separate buildings of two construction companies with different configurations of plants and building systems where field measurements were carried out to know the degree of sound insulation of facades of bedrooms and internal partitions environments that make up the housing units under study. With the results, we found that the acoustic insulation of the objects under study were not satisfactory, as the results for the airborne noise, mostly were bellow the minimum levels required by the performance standard NBR 15575 (ABNT, 2013). It is evident, therefore, a need, not just assessment and control of noise performance, but also of major concern to design strategies and constructive interventions that provide users with appropriate conditions of comfort and privacy.

Keywords: Sound insulation. Airborne noise. Multifamily buildings. Vertical partitions. Performance evaluation. Acoustic quality.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Corte esquemático ilustrando a transmissão de ruído pelo ar e pela estrutura	27
Figura 2- Sistema de transmissão dos sons através de um obstáculo.....	28
Figura 3 - Bloco cerâmico de vedação de 8 furos com 9x19x19cm.....	33
Figura 4 – Alvenaria de vedação em blocos cerâmicos furados.....	33
Figura 5 - Bloco cerâmico estrutural do tipo canaleta.....	33
Figura 6 – Alvenaria com bloco cerâmico estrutural do tipo canaleta	33
Figura 7 - Bloco vazado de concreto com 9x39x19cm	34
Figura 8 – Execução de alvenaria em blocos de concreto.....	34
Figura 9 – Porta de correr para acesso à varanda aberta de um apartamento em Maceió-AL .	35
Figura 10 – Edifício multifamiliar em Maceió-AL com varandas fechadas com painéis removíveis de vidro	35
Figura 11 - Fachada em cobogó cerâmico em um dos edifícios do conjunto projetado por Lúcio Costa no Parque Guinle na cidade do Rio de Janeiro	35
Figura 12 – Edifício Saara (1973) em Recife-PE com peitoris ventilados sob as janelas.....	36
Figura 13 – Croqui do peitoril ventilado do edifício Saara (1973)	36
Figura 14 - Janela Maxi ar em alumínio com vidro	37
Figura 15 - Janela de correr com duas folhas em alumínio com vidro.....	37
Figura 16 - Janela basculante em ferro com vidro.....	37
Figura 17 - Corte esquemático do vidro laminado com película de PVB.....	38
Figura 18- Corte esquemático do vidro insulado.....	38
Figura 19 – Blocos de gesso simples vazado para paredes internas.....	39
Figura 20 - Alvenaria em blocos de gesso, com a primeira fiada com o bloco hidrófugo e o restante com o bloco simples.....	39
Figura 21 – Esquema básico de uma divisória em gesso acartonado.....	40
Figura 22 - Placas de gesso acartonado resistente à umidade (RU), standard (ST) e resistente ao fogo (RF)	41
Figura 23 - Instalação do sistema de drywall	41
Figura 24- Diferentes tipos de portas: (a) lisa; (b) almofadada; (c) do tipo calha ou mexicana horizontal.....	42
Figura 25 - Exemplo de catálogo de portas acústicas.....	44

Figura 26 - Ilustração do efeito massa-mola-massa	45
Figura 27- Detalhes de janelas acústicas com vidro: (a) duplo; (b) triplo; e (c) quádruplo	47
Figura 28 – Peitoril ventilado com uma placa de material de alto desempenho acústico na superfície interna	49
Figura 29 – Peitoril ventilado com janela basculante.....	49
Figura 30 – Divisória em drywall com enchimento em lã de vidro	50
Figura 31- Placa laminada de gesso para Drywall	52
Figura 32 - Estrutura cristalina da placa laminada de gesso para Drywall.....	52
Figura 33- Protótipo de porta acústica com duplo toque e soleira de vedação com piso	53
Figura 34- Sistemas de porta acústica com vedação com o marco: (a) vista da porta com indicação da posição dos marcos; (b) vedação toque simples para classe 2; (c) vedação duplo toque para classe 4	53
Figura 35 - Sistemas de porta acústica com vedação com o piso: (a) corte indicando o local da vedação com o piso; (b) vedação retrátil; (c) vedação com soleira.....	53
Figura 36 – Ferragens da porta Classe 4: (a) Dobradiça de molas e rolamentos; (b) fechadura com trinco silencioso; e (c) maçaneta com rosetas com mola de retorno	54
Figura 37- Pontes acústicas instaladas nas tubulações de esgoto	55
Figura 38 - Aplicação de manta para tratamento acústico de contrapiso	55
Figura 39- Bases amortecedoras para elevadores.....	55
Figura 40 – Planta baixa esquemática indicando ambientes avaliados	56
Figura 41- Esquema da transmissão sonora entre salas.....	58
Figura 42 – Planta baixa com o esquema do posicionamento do microfone (medidor) e da fonte (alto-falante) nas medições de isolamento sonoro de ruído aéreo entre recintos.....	72
Figura 43- Posicionamento do medidor de pressão sonora nas medições de isolamento sonoro aéreo de fachada com alto-falante	75
Figura 44- Estudo de caso: plantas do 1º pavimento (esquerda) e do 2º pavimento (direita) ..	94
Figura 45 -- Representação gráfica do índice de “Acoustic Performance” (AP) e certificação em forma de etiqueta da BGP	95
Figura 46 – Mapas do Brasil com destaque para o Estado de Alagoas e com um recorte de seu território com a localização da capital, Maceió	101
Figura 47 - Base Cartográfica de Maceió indicando a localização dos objetos em estudo e imagens dos objetos 1 e 2 com destaque para os apartamentos avaliados	102
Figura 48- Localização e implantação do objeto 1	103

Figura 49- Implantação do Residencial com a localização da torre 1, onde fica o objeto 1 ..	104
Figura 50- Planta do pavimento tipo do Residencial onde fica o objeto 1, indicando sua localização	105
Figura 51- Planta baixa do objeto 1	105
Figura 52- Fachada principal da torre do objeto 1, mostrando, ao fundo, o sistema construtivo utilizado	106
Figura 53 - Fachadas lateral e posterior da torre do objeto 1	106
Figura 54 – Janelas do objeto 1: da sala de estar (a), do quarto 1 (b); e do quarto 2 (c).....	106
Figura 55 – Bloco cerâmico com 8 furos (9x19x19cm) usado no objeto 1: (a) frente; (b) lateral	107
Figura 56- Portas dos quartos e do banheiro do objeto 1	107
Figura 57- Vedação toque simples no marco da porta	107
Figura 58- Localização do objeto 2	108
Figura 59 - Implantação do edifício do objeto 2, indicando sua localização na planta do pavimento tipo	108
Figura 60 - Planta baixa do objeto 2 destacando as paredes que fazem a divisão com as unidades contíguas e com o hall entre os apartamentos	109
Figura 61- Fachadas frontal e lateral direita do objeto 2 mostrando o revestimento cerâmico e as esquadrias externas.....	110
Figura 62- Porta da varanda (a) e janelas do objeto 2, cozinha (b) e quarto (c) do objeto 2..	111
Figura 63- Blocos com dimensões de 9x19x19cm (8 furos) e 7x19x19cm (4 furos) utilizados nas paredes dos recintos internos do objeto 2.....	111
Figura 64- Portas de acesso ao apartamento objeto 2.....	112
Figura 65- Vedação toque simples na porta	112
Figura 66– Calibrador ligado ao medidor.....	114
Figura 67– Medidor acoplado ao tripé, ligado ao notebook; caixa de som conectada a outro notebook para a emissão do ruído branco; balões de borracha para as medições do tempo de reverberação.....	114
Figura 68- Posicionamento do medidor na medição do isolamento de ruído aéreo de fachada, ilustrando o método de medição nos pontos externos	118
Figura 69 – Corte esquemático do objeto 1 ilustrando o posicionamento do medidor e da fonte sonora nas medições de isolamento sonoro ao ruído aéreo da fachada do quarto 1.....	118
Figura 70- Planta baixa com as partições analisadas no objeto 1.....	119

Figura 71- Planta baixa com as partições analisadas no objeto 2.....	124
Figura 72 - Escala gráfica da BGP do índice de Desempenho Acústico (DA) para edifícios residenciais	134
Figura 73 - Planta baixa do objeto 1 indicando o resultado obtido para cada partição e os limites estabelecidos pela NBR 15575 (ABNT, 2013).....	144
Figura 74 - Planta baixa do objeto 2 indicando o resultado obtido para cada partição e os limites	148
Figura 75– Parede da fachada da suíte do apartamento 105 indicando a caixa de PVC para a instalação de ar condicionado do tipo split.....	150
Figura 76- Janela termo acústica sobreposta de correr com 2 folhas	155

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Percepção do som em relação às mudanças de nível de ruído	24
Tabela 2 – Relação entre o índice de redução sonora aparente ponderado (R'_w) e a percepção da inteligibilidade da fala	29
Tabela 3 – Tipologias de janelas	36
Tabela 4 – Medidas padronizadas das placas de gesso acartonado.....	40
Tabela 5 – Medidas das folhas de porta de madeira.....	41
Tabela 6 – Tipos de núcleos de portas de madeira.....	42
Tabela 7- Valores indicativos do índice de redução sonora ponderado para alguns sistemas de paredes externas.....	46
Tabela 8 - Comparação dos índices de redução acústico ponderados (R_w) dos vidros monolíticos, laminados e laminados acústicos.....	48
Tabela 9– Índices de redução sonora ponderados (R_w) para paredes de drywall mais comuns	50
Tabela 10- Parâmetros acústicos para medições em campo utilizados no isolamento sonoro segundo as normas ISO	59
Tabela 11- Filtro de compensação A para bandas de oitava	62
Tabela 12- Valores dos níveis de ruído em dB (A) e NC para residências.....	63
Tabela 13- Parâmetros acústicos de verificação.....	65
Tabela 14- Índice de redução sonora ponderado, R_w , de componentes construtivos utilizados nas vedações entre ambientes, para ensaios em laboratório.....	66
Tabela 15- Diferença padronizada de nível ponderada entre ambientes, $D_{nT,w}$ – Método de engenharia.....	66
Tabela 16- Índice de redução sonora ponderado, R_w , de fachadas, para ensaios em laboratório	67
Tabela 17- Diferença padronizada de nível ponderada da vedação externa, $D_{2m,nT,w}$ para ensaios de campo.....	67
Tabela 18- Distâncias mínimas exigidas pela ISO 140-4 para medições de isolamento sonoro aéreo entre salas.....	71
Tabela 19- Distâncias mínimas exigidas pela ISO 140-5 para medições na sala receptora.....	73

Tabela 20- Número único de isolamento sonoro aéreo de edificações com os termos e os símbolos de cada parâmetro	76
Tabela 21- Valores da curva de referência para isolamento sonoro em bandas de frequência de um terço de oitava e bandas de oitava	77
Tabela 22- Espectro de nível sonoro para calcular os coeficientes de adaptação	78
Tabela 23- Níveis máximos de ruídos permitidos	85
Tabela 24- Famílias e categorias do referencial da Qualidade Ambiental do Edifício	87
Tabela 25- Níveis de desempenho da vedação entre ambientes representados pela diferença padronizada de nível ponderada entre ambientes $D_{nT,w}$ e pelo índice de redução sonora ponderado R_w dos elementos de vedação	88
Tabela 26- Nível ponderada da vedação externa ($D_{2m,nT,w}$) e pelo índice de redução sonora ponderado R_w das fachadas	89
Tabela 27- Classe de conforto, segundo os valores do nível de conforto, L_{conf}	90
Tabela 28- BGP: Escala dos requisitos acústicos para edifícios residenciais	91
Tabela 29- BGP: Pesos normatizados atribuídos aos parâmetros acústicos.....	92
Tabela 30- BGP: Escala padronizada do índice de Desempenho Acústico (DA) para edifícios residenciais	92
Tabela 31- BGP: pesos normatizados atribuídos aos indicadores específicos e ao índice final	93
Tabela 32- Estudo de caso da BGP para avaliação do índice AP (“ <i>Acoustic Performance</i> ”) .	94
Tabela 33- Descrição do critério “Qualidade do Entorno – Impactos” do Selo Casa Azul Caixa.....	96
Tabela 34 - Níveis equivalentes de ruído máximos recomendados pela Organização Mundial de Saúde para áreas residenciais.....	97
Tabela 35 - Resumo das certificações e selos que abordam a questão acústica.....	97
Tabela 36- Diferença padronizada de nível ponderada da vedação externa, $D_{2m,nT,w}$ para ensaios de campo	104
Tabela 37 – Detalhamento das situações de medições de campo do Objeto 1, divididas por grupo, indicando os parâmetros de medição e as partições avaliadas, com as respectivas siglas dos ambientes	120
Tabela 38 - Situações das medições de isolamento de ruído aéreo entre recintos no Objeto 1, em campo, com os ambientes emissores e receptores, os pontos de medição e as fotos dos ambientes.....	120

Tabela 39 - Situações das medições de isolamento de ruído aéreo de fachada, em campo, no objeto 1, com os ambientes emissores e receptores, os pontos de medição e as fotos dos ambientes.....	123
Tabela 40 - Detalhamento das situações de medições de campo do Objeto 2, divididas por grupo, indicando os parâmetros de medição e as partições avaliadas, com as respectivas siglas dos ambientes	124
Tabela 41 - Situações das medições de campo do isolamento ao ruído aéreo entre recintos no objeto 2, com os ambientes emissores e receptores, os pontos de medição e as fotos dos ambientes.....	125
Tabela 42 - Situações das medições de campo do isolamento ao ruído aéreo de fachadas no objeto 2, com os ambientes emissores e receptores, os pontos de medição e as fotos dos ambientes.....	128
Tabela 43- Escala dos requisitos acústicos para edifícios residenciais	131
Tabela 44- Pesos normatizados atribuídos aos grupos de parâmetros acústicos.....	132
Tabela 45 – Pesos normatizados atribuídos aos grupos de parâmetros acústicos para avaliações de isolamento sonoro que incluam o impacto de piso	133
Tabela 46 – BGP: Escala padronizada do índice de Desempenho Acústico (DA) para edifícios residenciais	133
Tabela 47– Resumo dos resultados da Diferença Padronizada de Nível para partições internas (D_{nT}) e para fachadas ($D_{2m,nT}$) e os seus respectivos valores globais (D_{nTw} e $D_{2m,nTw}$) em d(B) do objeto 1	137
Tabela 48– Resumo dos resultados da Diferença Padronizada de Nível para partições internas (D_{nT}) e para fachadas ($D_{2m,nT}$) e seus respectivos valores globais (D_{nTw} e $D_{2m,nTw}$) em d(B) do objeto 2	138
Tabela 49 – Escala dos requisitos acústicos para o objeto 1	141
Tabela 50– Escala dos requisitos acústicos para o objeto 2	141
Tabela 51- Avaliação do índice do Desempenho Acústico (DA) do objeto 1	142
Tabela 52 - Avaliação do índice do Desempenho Acústico (DA) do objeto 2	143
Tabela 53 – Caracterização da composição das partições avaliadas no objeto 1	146
Tabela 54 – Caracterização da composição das partições avaliadas no objeto 2.....	151
Tabela 55 – Comparativo do desempenho acústico das partições avaliadas nos objeto 1 e 2	153
Tabela 56 - Comparação entre a isolação acústica dos componentes das partições analisadas nos objetos de estudo com a de sistemas construtivos alternativos.....	155

LISTA DE PRINCIPAIS SÍMBOLOS E SIGLAS

A	Área de absorção sonora equivalente
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Ao	Absorção sonora de referência
ADEMI-AL	Associação das Empresas do Mercado Imobiliário de Alagoas
AP	<i>Acoustic Performance</i>
AQUA	Alta Qualidade Ambiental
B2	Ruído de fundo
BGP	<i>Building Global Performance</i>
C	Coefficiente de adaptação de espectro de ruído rosa
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
<i>Ctr</i>	Coefficiente de adaptação de espectro de ruído de trânsito
D	Diferencial de nível
$D_{2m,nT}$	Diferença Padronizada de Nível, a 2 metros
$D_{2m,nT,w}$	Diferença Padronizada de Nível Ponderada, a 2 metros
dB	Decibel
$D_{ls,2m}$	Diferença de nível, a 2 metros
$D_{ls,2m,n}$	Diferença normalizada de nível
$D_{ls,2m,nT}$	Diferença padronizada de nível
D_n	Diferença Normalizada de Nível
D_nT	Diferença padronizada de nível
D_nT_w	Diferença padronizada de nível ponderada
D_{nw}	Diferença normalizada de nível ponderada
EMPP	<i>Energy Microclimate Performance</i>
EPI	Equipamento de Proteção Individual
F	Posição da fonte na medição de campo
FCAV	Fundação Carlos Alberto Vanzolini
GBC	<i>Green Building Council</i>
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial

IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
L	Nível de sinal ajustado
$L'_{n,w}$	Limite do nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado
$L'_{n,tw}$	Nível de pressão sonora ponderado do ruído de impacto
L1	O nível de pressão sonora na sala emissora
L2	O nível de pressão sonora na sala receptora
LAeq	Nível de pressão sonora equivalente
LASmax	Valor máximo do nível de pressão sonora máximo ponderado
Lb	Nível de ruído de fundo
Lc	Níveis de ruído corrigido
L_{conf}	Nível de conforto
LEED	<i>Leadership in Energy and Environmental Design</i>
LP	<i>Lighting Performance</i>
L_{Pr}	Nível de privacidade
Lsb	Nível de sinal e o ruído de fundo combinados
L1,2m	Nível de pressão sonora médio do lado de fora a 2m da fachada
NPS	Nível de pressão sonora
NR	Norma Regulamentadora
OITC	<i>Outdoor-Indoor Transmission Class</i>
OMS	Organização Mundial de Saúde
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PVB	Polivinil Butiral
PVC	Policloreto de Vinila
R	Índice de redução sonora
R'	Índice de redução sonora aparente
R'_w	Índice de redução sonora aparente ponderado
Rw	Índice de Redução Sonora Ponderado
SP	<i>Safety Performance</i>
STC	<i>Sound Transmission Class</i>
STI	<i>Sound Transmission Index</i>
SVVIE	Sistemas de vedações verticais internas e externas

Tr	Tempo de reverberação
T	Tempo de reverberação médio
To	Tempo de reverberação de referência
TP	<i>Technology Performance</i>
UFAL	Universidade Federal de Alagoas
USGBC	<i>United States Green Building Council</i>
USP	Universidade de São Paulo
V	Volume do ambiente
W ₁	Potência sonora incidente no material
W ₂	Potência sonora transmitida através do elemento de separação
W ₃	Potência sonora transmitida através de elementos de transmissão lateral ou por outros componentes
WRP	<i>Water-Resources Performance</i>
XA,1	Diferença entre os níveis sonoros ponderados (A) da sala da fonte e da sala receptora, para o ruído rosa na sala com a fonte sonora
XA,2	Diferença entre os níveis sonoros ponderados (A) da sala da fonte (ou ao ar livre em frente à fachada) e da sala receptora, para o ruído de tráfego
Xw	Valor do número único relevante, de acordo com a curva de referência
α	Coefficiente de absorção sonora

SUMÁRIO

RESUMO	v
ABSTRACT	vi
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	vii
LISTA DE TABELAS	xi
1 INTRODUÇÃO.....	18
1.1 Objetivos	21
1.2. Estrutura da dissertação.....	21
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	23
2.1 Acústica arquitetônica	23
2.1.1 Arquitetura e o Conforto Acústico	24
2.1.2 O ruído.....	25
2.1.3 Desempenho acústico	27
2.2 Habitações multifamiliares verticais no Brasil.....	31
2.2.1 Sistemas construtivos das partições verticais em edifícios multifamiliares no Brasil.....	31
2.2.2 Materiais “acústicos” para a Construção Civil.....	43
2.2.3 As iniciativas dos construtores em prol da melhoria acústica.....	54
2.3 Avaliação de desempenho acústico	55
2.3.1 Parâmetros acústicos	56
2.3.2 Critérios de ruído.....	60
2.3.2.1 Critérios nacionais	60
2.3.2.2 Critérios internacionais.....	68
2.3.3 Procedimentos para avaliação do conforto acústico das edificações	83
2.3.3.1 Certificados.....	83
2.3.3.2 Selos.....	95
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	99
3.1 Caracterização dos objetos de estudo	100
3.1.1 Definição dos objetos de estudo	100
3.1.2 Seleção dos objetos de estudo	100
3.1.3 Levantamento de dados: físicos e do entorno	102
3.1.3.1 Objeto 1	103

3.1.3.2	Objeto 2	107
3.2	Medições	112
3.2.1	Equipamentos utilizados.....	113
3.2.2	Procedimentos de medição	114
3.2.2.1	Medições de isolamento de ruído aéreo entre recintos.....	116
3.2.2.2	Medições de isolamento de ruído aéreo de fachadas.....	117
3.2.3	Pontos de medição.....	118
3.2.3.1	Objeto 1	119
3.2.3.2	Objeto 2	124
3.3	Método de certificação adotado	129
4	ANÁLISE E DIAGNÓSTICO.....	135
4.1	Análise quantitativa.....	135
4.1.1	Sistematização dos resultados das medições.....	135
4.1.2	Aplicação da proposta de certificação de desempenho acústico.....	140
4.2	Análise qualitativa	144
4.2.1	Objeto 1	144
4.2.2	Objeto 2	147
4.3	Síntese dos resultados e sugestões de melhorias acústicas.....	153
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	158
	REFERÊNCIAS	162
	APÊNDICES	169
	Apêndice A	170
	Apêndice B	174
	Apêndice C	175
	Apêndice D	181
	Apêndice E	183
	Apêndice F.....	185

1 INTRODUÇÃO

A Arquitetura brasileira, ao longo da história, tem apresentado uma série de modificações nas técnicas e nos materiais de construção, como resposta à difusão das inovações tecnológicas, provocando reflexos diversos na qualidade das edificações. Em alguns aspectos, as mudanças foram positivas, como no que se refere à ventilação, à iluminação e ao condicionamento de ar, por exemplo. No caso da qualidade do isolamento sonoro de habitações, nos locais de permanência e de descanso destes ambientes, o resultado, de modo geral, tem sido negativo (DUARTE 2005).

Isso comprova a importância de avaliar as soluções construtivas adotadas, de modo a identificar as que estão inadequadas em relação ao isolamento sonoro, e substituí-las por outras que apresentem desempenho acústico compatível com as fontes de ruídos das cidades e com a necessidade de conforto acústico e de privacidade dos que nelas habitam.

Desde que as pessoas começaram a se aglomerar nas cidades, como na Roma Antiga, por exemplo, o ruído passou a ser uma perturbação aos indivíduos (BISTAFA, 2006). A explosão demográfica nos grandes centros urbanos e o crescimento da frota de veículos incrementaram a poluição sonora nas cidades, reduzindo ainda mais a qualidade de vida nas residências urbanas.

Conforme relata Losso (2003), como forma de reduzir a sobrecarga estrutural das edificações nas fundações e reduzir os custos, ou para tornar os métodos construtivos mais racionais, os construtores estão adotando materiais cada vez mais leves. Porém, para os usuários essa “racionalização” e alívio das estruturas não gera benefício algum, pelo contrário, reduz o isolamento acústico dos ambientes. O desconforto acaba ficando com os usuários, que, sem orientação sobre os padrões de qualidade acústica dos ambientes e sem parâmetros de avaliação do isolamento sonoro das partições que compõem as edificações, não observam, no momento da compra, os problemas de isolamento sonoro e adquirem moradias permeáveis aos ruídos, só percebendo o problema durante a ocupação. Além do desconforto, pode resultar ainda em problemas de saúde, na falta de privacidade e em conflitos de vizinhança.

Como afirma Bistafa (2006), o ruído, que permeia as atividades humanas 24 horas por dia, prejudica atividades como sono, conversação, relaxamento, concentração, afetando a saúde mental do indivíduo, configurando-se como uma das principais causas da deterioração da qualidade de vida, principalmente nos grandes centros urbanos.

Além da qualidade acústica no que se refere ao isolamento dos ruídos externos às habitações, tem a questão da privacidade, característica importante dos ambientes, mas que está cada vez mais prejudicada com a adoção de elementos de vedação mais leves. Ferreira Neto (2009), em seu trabalho, concluiu que o desempenho da parede pode influenciar na privacidade e no conforto proporcionado para os usuários, mas que não é o único fator, já que as características acústicas do ambiente de recepção e os parâmetros psicoacústicos também apresentam interferências. Outro dado importante é destacado por Koster (2007) ao afirmar que o baixo isolamento sonoro das paredes entre unidades habitacionais foi apontado pelos engenheiros do século XX como agravante no caso de conflitos entre vizinhos e como causador da redução do bem estar dos usuários dessas habitações.

A grande demanda pelo conforto acústico e pelo controle de ruído exige soluções de engenharia e desenvolvimento de materiais e processos que atenuem a problemática do ruído (GERGES, 2000). Portanto, o projetista ao conceber o projeto de uma habitação, dentre outras questões, tem que resolver o conflito entre os ruídos externos, como os provenientes do tráfego de veículos, dos estabelecimentos comerciais e de lazer, de construções, dos apartamentos vizinhos, das áreas comuns à edificação, dentre outras fontes que não podem ser reguladas pelo morador, e o isolamento sonoro das partições que compõem as construções. De acordo com Koster (2007), os investimentos em conforto acústico encarecem a obra final entre 1% e 7%, porém esse desembolso não deve ser considerado um item de luxo para o empreendimento.

É fundamental que esse investimento seja feito ainda na fase de projeto, visto que as medidas paliativas, como projetos acústicos tardios, saem bem mais caro do que sairia investir no tratamento acústico na fase inicial do projeto, além do prejuízo que se tem com a desvalorização desses imóveis “doentes” (DUARTE, 2005). A autora destaca ainda que é evidente a necessidade de medidas como: o estabelecimento de níveis adequados de ruído em legislação e de parâmetros de qualidade do conforto acústico das residências; a criação de ferramentas de avaliação dos níveis de isolamento sonoro das residências; a conscientização dos profissionais sobre a importância do isolamento sonoro nas habitações.

Bistafa (2006) afirma que o controle do ruído era geralmente visto no passado mais como ônus do que como benefício, já que não entrava na questão de produtos de consumo, pois os usuários estavam dispostos a suportar mais ruído em troca de maior potência e não pretendiam gastar mais por um produto silencioso. Isso foi mudado nos últimos anos, havendo uma maior pressão para o controle do ruído por parte dos consumidores e dos

usuários, os quais passaram a considerar cada vez mais os níveis de ruído do produto no momento da compra. Com isso, baixos níveis de ruídos se tornam um diferencial do fabricante ao oferecer seu produto no mercado. É fundamental que esse fenômeno que ocorreu com os produtos de consumo, como os eletrodomésticos, por exemplo, ocorra também com as edificações habitacionais, de modo que a pressão do usuário force o mercado da construção civil a investir em melhorias acústicas para as residências.

Para a melhoria da avaliação do desempenho acústico de edificações multifamiliares, pesquisas necessitam ser realizadas como base para o desenvolvimento de parâmetros e critérios que poderão ser integrados às normativas e às leis. Porém, ainda existe uma carência desses estudos científicos no Brasil. Em contrapartida, as reclamações dos usuários acerca da baixa qualidade acústica de suas moradias são crescentes. Foi nesse contexto, que, no ano de 2013, entrou em vigor a norma que ficou conhecida como “norma de desempenho”, a NBR 15575 (ABNT, 2013), que trata de critérios para a avaliação do desempenho em edificações habitacionais, ponto de partida para um controle mais eficaz da qualidade acústica dos espaços destinados à moradia.

Dentre os diversos parâmetros abordados está o desempenho acústico, abrangendo requisitos como o isolamento de ruído aéreo entre ambientes, de fachadas, entre pisos e coberturas, e o de ruído de impacto de pisos e de instalações hidrossanitárias. Essa norma é um grande passo para o controle da qualidade acústica das habitações no Brasil, precisando, porém, de um amparo da legislação e de uma fiscalização eficiente para se tornar mais eficaz.

As exigências da Norma de Desempenho proporcionaram ao mercado da construção civil brasileira uma forte demanda e a necessidade de capacitação para as empresas que atuam nesse ramo, desde o início da cadeia construtiva, mobilizando arquitetos, fornecedores e construtores. Estas últimas acabam sendo forçadas a testar suas construções e seus componentes para saber o seu desempenho, a fim de permitir a administração das suas técnicas construtivas, viabilizando o seu aprimoramento.

Esse trabalho, diante dessas justificativas, pretende, através de medições em campo, verificar se as residências escolhidas estão adequadas às normas existentes, em relação ao isolamento sonoro ao ruído aéreo das partições verticais. Com isso, busca-se: sensibilizar os profissionais envolvidos com a construção civil, arquitetos e engenheiros, da importância do tratamento acústico das edificações desde a fase de projeto; contribuir para que os métodos de avaliação do desempenho acústico de residências sejam difundidos, não somente para a comunidade acadêmica, mas também para os profissionais e às empresas que fazem parte do

mercado da construção; e embasar discussões e iniciativas em prol da criação um selo de ruído para qualificar a edificação referenciando o isolamento sonoro ao ruído aéreo nas edificações, de modo a nortear tomadas de decisões para a compra de um imóvel.

1.1 Objetivos

Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é avaliar o isolamento sonoro aéreo de partições verticais em habitações multifamiliares no município de Maceió-AL, a fim de obter dados que possam caracterizar o desempenho acústico das edificações habitacionais em prol da melhoria da qualidade de vida dos usuários.

Objetivos específicos

- a) Quantificar, através de medições em campo, o isolamento sonoro aéreo em duas diferentes unidades habitacionais em Maceió-AL;
- b) Comparar os resultados obtidos do nível de isolamento sonoro ao ruído aéreo com os limites estabelecidos na norma de desempenho das habitações, NBR 15575 (ABNT, 2013);
- c) Adequar os resultados obtidos ao modelo adaptado de certificação total de construções, BGP (*“Building Global Performance”* ou Desempenho Global de Construções), que avalia, dentre outros parâmetros, a qualidade acústica de habitações;

1.2. Estrutura da dissertação

A dissertação foi estruturada em cinco capítulos, sendo o primeiro esta Introdução com a delimitação do assunto, os objetivos do trabalho e a apresentação da estrutura da dissertação. Os demais capítulos serão apresentados a seguir:

O **segundo capítulo**, o referencial teórico, apresenta as informações retiradas da revisão bibliográfica, dos catálogos dos fornecedores de materiais de construção e de visitas a construtoras. Inicia com a temática da acústica arquitetônica e do conforto acústico, apresentando uma série de conceitos, como o de desempenho acústico, por exemplo. São listados alguns dos efeitos do ruído à saúde. Em seguida, faz uma caracterização das

habitações multifamiliares verticais no Brasil, apresentando, inicialmente, os sistemas construtivos de partições verticais externas e internas mais comumente empregados nos edifícios residenciais brasileiros, com um destaque maior para as construções do clima quente e úmido, característico de Maceió-AL. Após a apresentação dos sistemas tradicionais, são descritos os materiais acústicos empregados na construção civil e as iniciativas dos construtores em prol da melhoria acústica das habitações. Ao final, aprofunda na temática do desempenho acústico, detalhando o processo de avaliação, os parâmetros acústicos e os critérios de ruído, tanto nacionais, quanto internacionais, seção que apresenta as normas técnicas que baseiam este trabalho. Encerra com a exposição de alguns procedimentos para a avaliação do conforto acústico das edificações, dentre certificados e selos.

O **terceiro capítulo** expõe os procedimentos metodológicos desta dissertação, apresentando de forma detalhada as etapas da realização da pesquisa de campo. Faz a caracterização dos objetos de estudo, explicando o processo de definição e seleção das edificações avaliadas, descrevendo suas características físicas e de seu entorno, além de apresentar a configuração dos apartamentos escolhidos. Em seguida, descreve a etapa experimental, tanto os equipamentos, como também os procedimentos e os pontos de medição. O método de certificação adotado é descrito ao final deste capítulo, com as adaptações que foram feitas.

No **quarto capítulo** serão apresentadas as análises e os diagnósticos dos objetos de estudo. É dividido em três partes: avaliação quantitativa; avaliação qualitativa e síntese dos resultados e sugestões de melhorias acústicas. Na primeira é detalhada a sistematização dos resultados das medições e aplicada a proposta de certificação de desempenho acústico nos objetos de estudo. Na segunda parte cada objeto é avaliado, considerando, não apenas os dados numéricos dos resultados das medições, como também a relação destes com a configuração dos apartamentos e com os materiais que compõem as partições avaliadas. Ao final do capítulo, na terceira parte, é feita uma síntese dos resultados, apresentando ainda sugestões preliminares de melhoria acústica.

Por fim, no **quinto capítulo**, as considerações finais sobre o desempenho acústico dos objetos de estudo, finalizando com o relato das limitações do trabalho e com as recomendações para trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo dedica-se a destacar conceitos importantes para o entendimento da acústica de residências, mais especificamente de unidades habitacionais multifamiliares verticais, para, a partir daí, compreender os processos que envolvem a avaliação de desempenho acústico desses espaços. Isso será feito através da apresentação de diversos temas: acústica arquitetônica, habitações multifamiliares verticais no Brasil e avaliação de desempenho acústico.

2.1 Acústica arquitetônica

O processo criativo do arquiteto tem que levar em consideração diversos fatores: sociais, econômicos, ambientais, dentre outros. Os usuários, ao escolherem suas habitações, buscam agregar nesse espaço o máximo possível de atributos que lhes garantam condições de conforto, tendo como limitador, na maioria dos casos, a questão financeira. Apesar do conforto acústico ainda não ser prioridade no momento da compra dos imóveis, as reclamações decorrentes do desconforto causado por ruídos indesejáveis nas edificações habitacionais multifamiliares tem sido cada vez mais constantes.

Esse grau de insatisfação dos moradores e as exigências que tem surgido com as normas técnicas, principalmente com o advento da Norma de Desempenho de Edificações Habitacionais (ABNT, 2013), exigem dos profissionais da arquitetura um maior conhecimento da acústica arquitetônica. O principal desafio é restringir o campo de propagação do som através das partições externas (fachadas) e internas das unidades habitacionais.

A acústica arquitetônica abrange conceitos e variáveis relacionados à arquitetura e ao conforto acústico. São temáticas diretamente vinculadas à edificação, às estratégias de projeto e aos materiais construtivos, os quais, interligados ou não, podem contribuir para um melhor desempenho acústico das habitações e, conseqüentemente, reduzir os efeitos que o ruído pode provocar à saúde dos usuários.

2.1.1 Arquitetura e o Conforto Acústico

A Arquitetura, em síntese, é um conjunto formado pelos estímulos físicos do meio ambiente, pela construção e pelo usuário, tendo como objetivo atender às exigências humanas e funcionais (VIANNA, 2013). Segundo o autor, os estímulos ambientais, tais como quantidade de luz, temperatura do ar, umidade relativa, velocidade dos ventos e nível de ruído geram sensações no ser humano, que são a resposta fisiológica aos estímulos ambientais. É a partir daí que surge uma definição clássica de conforto ambiental, esta que tem sido adotada pelas normas técnicas. Conforto ambiental é caracterizado pelo mínimo de esforço fisiológico feito pelo ser humano em relação aos estímulos mencionados, tendo como exemplo o som para a realização de uma determinada tarefa.

Na prática, o que se observa é que tal definição não é tão simples como descrita anteriormente, já que o conceito de conforto não é algo objetivo. Esta subjetividade do conforto é citada por Freitas (2005):

“O conforto então está relacionado a questões psicológicas de identificação e satisfação com o local, assim como a condições físicas de temperatura, umidade, ventilação, iluminação e acústica.”

Vários estudos científicos aprofundaram-se na temática da percepção e resposta humana a alterações no nível de ruído, dentre os quais podemos citar Mehta, Johnson e Rocafort (1999) que concluiu que o ruído só é percebido após um acréscimo de 5dB(A) sobre o ruído de referência, conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Percepção do som em relação às mudanças de nível de ruído

Valor em que o ruído excede a referência (dB(A))	Percepção do som
1	Imperceptível
3	Perceptível
5	Claramente perceptível
10	Mudança substancial
15	Grande diferença

Fonte: Adaptado de Mehta, Johnson e Rocafort (1999)

Assim, o conceito de conforto ambiental na Arquitetura que melhor se aplica é o que define Arquitetura como o meio de se trabalhar a relação homem meio ambiente, de modo a produzir estímulos, tendo como retorno sensações e emoções. Esses estímulos são objetivos e podem ser mensuráveis, como é o caso do nível de ruído. Tratando das sensações que são conhecidas como parâmetros fisiológicos, e das emoções, como parâmetros subjetivos, estes não podem ser quantificados (VIANNA, 2013).

Cataí, Penteado e Dalbello (2006) relacionam os principais fatores que exercem influência sobre o conforto acústico: o entorno (tráfego); a arquitetura; o clima (ventilação, pluviosidade); orientação/implantação (materiais e mobiliário). Portanto, o arquiteto deve atentar-se para esse conjunto de fatores, de modo que seu projeto resulte em uma residência acusticamente confortável, com condições adequadas de sossego e de trabalho no ambiente projetado.

2.1.2 O ruído

O som pode ser definido como uma sensação produzida no sistema auditivo (BISTAFA, 2006). De acordo com Cotana e Goretti (2005), em ambientes fechados, ele se propaga pelo ar e por caminhos sólidos, neste último caso, através de forças dinâmicas que atuam nas estruturas. A excitação pode ser estacionária (tubulações, ar condicionados, máquinas de lavar, dentre outras), proveniente de impacto (batida de portas e caminhar de pessoas, por exemplo) ou induzida pelo som.

Segundo Bistafa (2006), o ruído pode ser definido, de modo simplificado, como um som sem harmonia ou um som indesejável. Ele pode ser classificado, de acordo a NR-15 (NR, 2009), para efeitos de aplicação dos limites de tolerância, em:

- De impacto - picos de energia acústica de duração inferior a 1s, em intervalos superiores a 1s.
- Contínuo ou intermitente – aqueles que não sejam ruídos de impacto.

Outra classificação que é empregada nas edificações de múltiplos pavimentos é feita de acordo com a origem dos ruídos: aéreos e estruturais (FERRAZ, 2008). Os ruídos aéreos são aqueles gerados no ar e transmitidos integralmente através do mesmo até chegar ao ouvido, como é o caso da conversa humana. Já os estruturais são produzidos por vibrações devido a impactos e/ou excitações dinâmicas diversas (impacto em pisos, motores, elevadores, ruído hidráulico, entre outros) em algum componente da edificação. Mehta, Johnson e Rocafort (1999) complementam afirmando que, ao entrar em contato com estruturas da edificação, como paredes, por exemplo, há uma amplificação desse ruído.

O nível de ruído dos ambientes internos é resultado da combinação de ruídos produzidos dentro da própria edificação com aqueles oriundos de fontes externas como tráfego local, máquinas existentes na circunvizinhança, e outras atividades no entorno da edificação (OITICICA, 2010).

Os ruídos, sejam eles internos ou externos, aéreos ou de impacto, ao passar de determinados níveis, podem gerar sensação de desconforto aos usuários. Apesar da maior parte da população não compreender o conceito formal de conforto acústico, essas pessoas, cada vez mais, estão se sentindo incomodadas por sua ausência, caracterizando uma crescente exigência objetiva de viver e frequentar ambientes acusticamente confortáveis (FERREIRA NETO, 2009).

O ruído urbano é um dos principais problemas ambientais que o mundo está enfrentando e representa uma ameaça à saúde pública. Segundo Scholl (2012), os efeitos da exposição aos ruídos ambientais envolvem dois aspectos: auditivos e não auditivos.

O primeiro são aqueles ligados a prejuízos causados ao ouvido humano, gerando a perda auditiva, ou seja, uma redução na sensibilidade de audição (GERGES, 2000). Essa perda, segundo o autor, pode ser reversível, a perda temporária, ou irreversível, a permanente. A NR-15 (2009) estabelece que, ruídos a partir de 85dB(A) já geram prejuízos ao indivíduo, por isso, determina o tempo máximo de exposição sem equipamentos de proteção, e que 115dB (A) é o limite máximo de ruído contínuo a que um indivíduo pode ser exposto sem nenhum equipamento de proteção.

Já os efeitos não auditivos à saúde humana não são bem definidos e ainda pouco conhecidos pelas pessoas. Porém, Gerges (2009) afirma que pesquisas científicas registraram sérios efeitos extra-auditivos, tais como: a aceleração da pulsação; o aumento da pressão sanguínea; e o estreitamento dos vasos sanguíneos, o que sobrecarrega o coração, causando secreções anormais de hormônios e tensões musculares e, como consequência, o indivíduo apresenta alterações comportamentais que interferem no desempenho no ambiente de trabalho, como nervosismo, fadiga mental e frustração.

Esses efeitos interferem ainda no sono, na conversação, no relaxamento, na concentração, gerando sérios impactos psíquicos, afetando a saúde mental do indivíduo (BISTAFA, 2006).

De acordo com Croome (1977), os fatores que influenciam no desconforto pelo ruído são diversos: frequência e intensidade sonora, conteúdo do espectro (largura da banda, valores de pico, entre outros), duração do ruído, número de repetições, tarefas individuais envolvidas, suscetibilidade individual, experiência anterior com o tipo de ruído. Ferreira Neto (2009) afirma que estudos comprovaram que os ruídos que causam mais desconforto são oriundos de impacto de batidas de portas, sons da queda de objetos, caminhar e impacto em pisos.

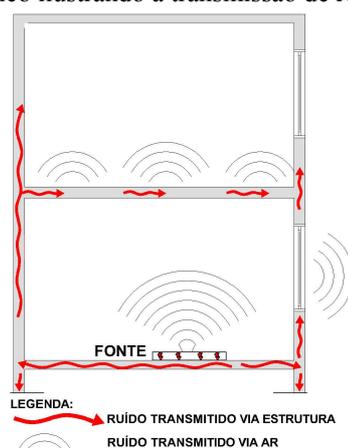
Paiva, Rodrigues e Cardoso (2012b) afirmam que ruídos de até 50dB(A) podem perturbar, mas o indivíduo pode se adaptar à situação. Um de 55dB(A) causa um leve estresse, excitação, dependência e desconforto. Já um ruído de 65dB(A) pode causar um estresse profundo. A um nível de pressão sonora de 80dB(A), o organismo começa a lançar morfina biológica no corpo, resultando em um sentimento de prazer que pode levar à dependência. Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS, 2003), níveis sonoros de $Leq^1=100$ dB(A) podem levar a danos e ou perda da acuidade auditiva.

A problemática da qualidade acústica das habitações é também uma questão de saúde pública. Como a sensação de desconforto em uma edificação é algo subjetivo, portanto, não mensurável, o projetista deve adotar os limites estabelecidos pelas normas como ferramenta de projeto e propor estratégias para evitar que os usuários tenham sua saúde prejudicada pela incidência de ruídos indesejados e com intensidades sonoras além do permitido.

2.1.3 Desempenho acústico

O desempenho acústico é a *performance* dos ambientes em relação à transmissão dos sons. A energia sonora pode ser transmitida por via aérea, com o som carregado pelo ar, e/ou por via sólida, carregamento pela estrutura (Figura 1), atravessando, assim, paredes, barreiras ou painéis, pilares, vigas; esquadrias, aberturas, dutos de ar, tubulação de água, eletrodutos, entreforros, entrepisos, dentre outras superfícies (GERGES, 2000).

Figura 1- Corte esquemático ilustrando a transmissão de ruído pelo ar e pela estrutura

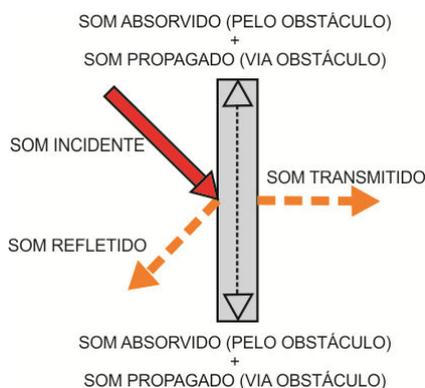


Fonte: Adaptado de Gerges (2000)

¹ Leq é a sigla usada para o nível de pressão sonora equivalente (OITICICA, 2010)

Segundo Bistafa (2006), para qualquer material, a onda sonora incidente sobre ele é derivada em quatro situações: parte dela é transmitida através do material por via aérea (som transmitido); parte propaga através dele por via sólida (som propagado); parte é absorvida pelo material (som absorvido); e o restante é refletido para o ambiente emissor, origem da fonte (som refletido) (Figura 2).

Figura 2- Sistema de transmissão dos sons através de um obstáculo



Fonte: Adaptado de Bistafa (2006)

Bistafa (2006) estabelece uma hierarquia no controle do ruído. Segundo ele, deve-se, antes de tudo, tentar eliminar ou minimizar a geração do ruído na fonte (origem). Não sendo isso possível, como é o caso dos ruídos externos à habitação, deve-se partir para o combate na trajetória de transmissão, através de estratégias diversas: barreiras acústicas, a adequada seleção da parede divisória, o tratamento de absorção sonora, dentre outras. Por último, a atuação junto ao receptor com o uso de equipamento de proteção individual (EPI), muito usado em ambientes de trabalho, todavia não aplicável a residências.

Dessa forma, para o controle de ruído em apartamentos de edifícios residenciais multifamiliares devem ser adotadas estratégias referentes à trajetória de transmissão, como o isolamento sonoro das partições verticais (fachadas, paredes entre unidades habitacionais autônomas e paredes internas) e horizontais (pisos e tetos).

Sharland (1979) define isolamento como o provimento de uma barreira ao fluxo de energia sonora, a qual impõe certa atenuação à transmissão ao longo do caminho em que a energia é propagada.

Segundo Baring (1988), no que se refere ao desempenho acústico, os termos isolamento e isolamento apresentam significados distintos. O primeiro corresponde ao comportamento acústico de um único elemento acústico isoladamente, sendo empregado para avaliações em laboratório da energia sonora incidente e a energia sonora transmitida pelo corpo de prova. Já

o isolamento, termo empregado para medições em campo, é a redução de som entre recintos proporcionado pelo sistema construtivo entre eles, podendo ser a fachada, paredes ou piso.

Um estudo finlandês apresentado por Lahtela (2005) estabelece uma relação entre o índice de redução sonora aparente ponderado (R'_w) e a percepção da inteligibilidade da fala (Tabela 2), o que está diretamente ligado à privacidade entre apartamentos vizinhos. Fica evidente que quanto menor o R'_w , maior será a falta de privacidade, já que sons de uma unidade poderão ser ouvidos na vizinha.

Tabela 2 – Relação entre o índice de redução sonora aparente ponderado (R'_w) e a percepção da inteligibilidade da fala

Índice de redução sonora aparente ponderado, (R'_w) (dB)	Percepção da fala
<30	A parede não impede um vizinho de ouvir o outro
<35	Discussão normal pode ser ouvida
<40	Discussão normal pode ser ouvida, mas as palavras podem não ser compreendidas
<45	Discussão normal não pode ser ouvida
>50	Fala alta pode ser ouvida, mas as palavras podem não ser compreendidas
>55	Fala alta não pode ser ouvida
>60	Grito alto pode ser ouvido, mas as palavras podem não ser compreendidas

Fonte: Adaptado de Lahtela (2005)

E é em busca de ambientes com desempenho acústico cada vez melhor que estudos têm sido feitos com o objetivo de estabelecer requisitos e critérios para avaliação e limites de tolerância a ruídos. Tais informações servem como parâmetro para projetos de arquitetura, principalmente no que se refere a edificações habitacionais multifamiliares verticais. Tudo em prol de residências mais confortáveis do ponto de vista acústico, reduzindo, conseqüentemente, problemas de saúde causados pelos ruídos indesejados.

Segundo Nepomuceno (1968), o custo do tratamento acústico em planta, em fase de projeto, é de 0,5% a 2% do custo total. Mas o tratamento acústico posterior à construção de um prédio não é inferior a 10% do custo total para obtenção de resultados iguais ou inferiores ao tratamento realizado previamente à execução do projeto.

O projetista, ao começar a pensar um projeto, tem que levar em consideração, dentre outros fatores, aqueles que proporcionem um melhor desempenho acústico ao edifício, de modo que as partições, tanto externas, quanto internas, apresentem um isolamento sonoro adequado com relação aos ruídos aéreos, de impacto e de equipamentos, garantindo ainda a privacidade acústica dos usuários (MICHALSKI, 2011).

Como exemplo, os ruídos indesejáveis nas partições dos apartamentos podem ser evitados, inicialmente, na fase de projeto, não posicionando ambientes de descanso próximos a áreas ruidosas e, quando isso não for possível, adotando estratégias para proteger esses espaços, como o uso de sistemas construtivos com bom desempenho acústico para diminuir a incidência de sons aéreos (SIMÕES, 2013).

A Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC, 2013), instituição que representa politicamente o setor da construção, inclusive internacionalmente, com o objetivo de tratar de questões ligadas à indústria da construção e ao mercado imobiliário, apresenta aspectos que devem ser considerados na concepção dos projetos das edificações. São eles:

- avaliação das condições do entorno, em relação ao ruído de fundo;
- limites de níveis de ruído de fundo para o conforto acústico dos ambientes internos estabelecidos nas normas NBR 10151 (ABNT, 2000) e NBR 10152 (ABNT, 1987), de acordo com o uso a que se destina a edificação ou suas dependências, e conforme a legislação local;
- redução do ruído entre o lado externo e o lado interno de ambientes de uso específico, inclusive fachadas;
- condições de geração, propagação e recepção dos sons na edificação;
- ruídos variáveis, contínuos, de impactos e de vibrações de equipamentos, como motores-bomba, elevadores, válvulas de descarga, motores geradores de energia, tubulações de água e esgoto, ventilação e ar-condicionado.

Para caracterizar o desempenho acústico de uma edificação, deve ser elaborado um diagnóstico completo dela, de modo a fazer um levantamento de uma série de fatores que influenciam diretamente na qualidade acústica das construções, como por exemplo: o tipo e o peso das divisórias internas e das divisões entre as residências, as pontes acústicas, a qualidade das esquadrias (portas e janelas) existentes e a identificação das patologias da edificação (SAINT-GOBAIN, 2014). Tais informações permitirão a identificação dos elementos que deverão receber um tratamento acústico e dos níveis de isolamento ideais.

A adoção desses cuidados descritos como diretrizes de projeto aliada à escolha de materiais e técnicas construtivas acusticamente adequadas corresponde a um grande avanço em prol da qualidade das habitações e, conseqüentemente, da vida dos usuários.

2.2 Habitações multifamiliares verticais no Brasil

Nas primeiras décadas do século XX, em meio a profundas transformações econômicas, sociais e físicas, surgiram as primeiras residências verticais no Brasil, não só como forma de otimizar os investimentos imobiliários, como também para se inserir no contexto internacional da modernização urbana (ALVES, 2012).

Inicialmente, as habitações coletivas em edifícios verticais foram a saída encontrada para a limitada disponibilidade de moradias com a crescente valorização das terras urbanas. A partir da década de 1930, a difusão do concreto armado e das estruturas metálicas na construção civil, além do aperfeiçoamento do elevador, possibilitou o crescimento do processo de verticalização das moradias brasileiras, tendo como inspiração os edifícios verticais de Nova Iorque (SEVCENKO, 1998).

Nos próximos itens serão descritos os sistemas construtivos mais amplamente utilizados nas partições verticais dos edifícios multifamiliares no Brasil, com um foco maior nas construções características de clima quente e úmido, como é o caso de Maceió-AL, dando ênfase ao desempenho acústico dos componentes. Isso porque não foram encontradas referências bibliográficas com o levantamento dos materiais mais comumente utilizados no mercado da construção civil alagoano, apenas algumas informações obtidas em conversas com engenheiros nas obras visitadas e com representantes da ADEMI-AL.

Serão apresentados ainda alguns materiais “acústicos” que podem ser incorporados nas construções residenciais e iniciativas de uma construtora em prol de melhorias acústicas em seus prédios. Esta investigação possibilitou a coleta de informações para embasar as avaliações que realizadas nos objetos de estudo, como na etapa de análise do isolamento acústico dos materiais que compõem as partições avaliadas.

2.2.1 Sistemas construtivos das partições verticais em edifícios multifamiliares no Brasil

O desempenho acústico das habitações está diretamente ligado aos sistemas e materiais de construção dos seus diversos componentes: vedações externas e internas, esquadrias, pisos e tetos. A qualidade acústica de um ambiente depende do seu tratamento acústico e do isolamento sonoro de seus elementos construtivos, consequência, não apenas, de um projeto bem feito e da escolha de materiais mais adequados, mas também da correta execução.

Carvalho (2010) afirma que o tratamento acústico de um ambiente engloba os seguintes requisitos, sendo os dois últimos configurados como isolamento acústico:

- garantia de boas condições de audibilidade, seja através do uso de revestimentos internos com boa absorção acústica, seja em função da geometria interna, como ao direcionar as reflexões internas, por exemplo;
- impedimento da entrada de ruídos externos indesejáveis ao recinto;
- bloqueio da saída de ruídos internos para o entorno.

Os principais sistemas e materiais empregados nos componentes das habitações multifamiliares verticais que possuem relação com a qualidade acústica podem ser agrupados em: partições externas e partições internas.

As partições ou vedações verticais podem ser entendidas como um subsistema do edifício composto por elementos que dividem os ambientes internos e controlam a ação de agentes indesejáveis, como chuvas e ruídos, por exemplo, servindo de suporte e proteção para as instalações dos edifícios e para proporcionar condições de habitabilidade necessária às edificações. São elementos de vedações verticais: alvenaria, esquadrias, vidros, painéis de materiais diversos (SALGADO, 2009). São englobados no grupo das partições externas, aqueles elementos que compõem as fachadas: as alvenarias externas, as esquadrias, os vidros, os peitoris ventilados e os painéis de materiais diversos.

As vedações internas são as partições que constituem as divisórias internas aos ambientes: paredes, portas, pisos e tetos. Serão abordados aqui os componentes mais comumente aplicados em partições verticais, paredes e esquadrias, nas edificações multifamiliares verticais brasileiras.

- Partições verticais externas

Salgado (2009) define alvenaria como um componente construído a partir da união entre unidades (blocos e tijolos) e o elemento de ligação (argamassa de assentamento), formando um conjunto monolítico e estável. São três os tipos:

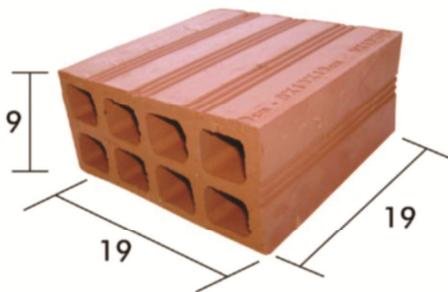
- Alvenaria ciclópica: com blocos sem dimensões padronizadas, normalmente em pedras de grandes diâmetros assentadas com argamassa de cimento, cal e areia ou, ainda com barro;
- Alvenaria de vedação: utilizada para o fechamento de vãos ou delimitação de áreas, sem possuir função estrutural de sustentação;

–Alvenaria estrutural: possui a função de suportar esforços estruturais da edificação, através de blocos padronizados.

Os tipos de elementos mais comuns nas paredes de alvenaria, externas e internas, segundo Salgado (2009) são:

–Blocos cerâmicos: feitos em argila extrudada e seca em fornos, com furos longitudinais e baixa porosidade. As principais dimensões encontradas no mercado para vedação são: 9x19x19cm (8 furos) (Figuras 3 e 4); 11,5x14x24cm (6 furos); 14x19x29cm (9 furos). Os blocos estruturais, utilizados para o apoio de lajes e para a execução de vergas, mais comuns são os do tipo canaleta (Figuras 5 e 6) e do tipo “J”.

Figura 3 - Bloco cerâmico de vedação de 8 furos com 9x19x19cm



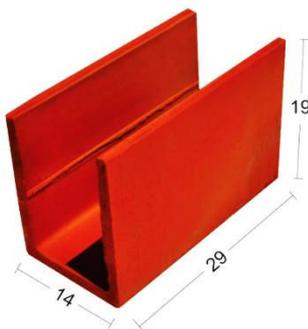
Fonte: Disponível em: <http://www.ceramicaiguacu.com.br/>. Acesso em: 04 jul. 2014.

Figura 4 – Alvenaria de vedação em blocos cerâmicos furados



Fonte: Disponível em: <http://www.ramossales.com.br/obras-acompanhe2.php?codigo=10&categoria=86>. Acesso em: 03 ago. 2014.

Figura 5 - Bloco cerâmico estrutural do tipo canaleta



Fonte: Disponível em: <http://www.ceramica6.com.br/bloco-estrutural-estruturais-linha29-vertical.php>. Acesso em: 03 ago. 2014.

Figura 6 – Alvenaria com bloco cerâmico estrutural do tipo canaleta

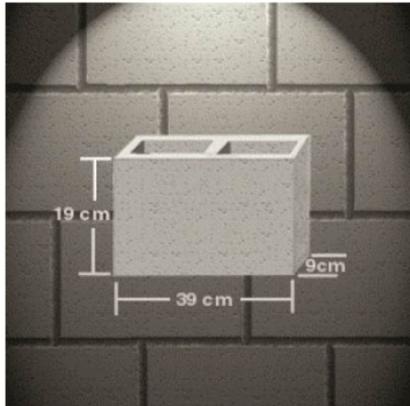


Fonte: Disponível em: <http://myhousemyhomemyheart.blogspot.com.br/2010/08/sobre-bloco-ceramico-estrutural.html>. Acesso em: 03 ago. 2014.

–Blocos de concreto: composto por pedrisco, areia e cimento, e que podem ser fabricados com finalidade estrutural ou de vedação apenas. As principais dimensões encontradas são: 9x19x39cm (2 furos) (Figuras 7 e 8); 14x19x39cm (2 furos);

19x19x39cm (2 furos). Existe ainda o meio bloco (1 furo) para evitar cortes na execução de uma parede;

Figura 7 - Bloco vazado de concreto com 9x39x19cm



Fonte: Disponível em: <http://187.17.2.135/orse/esp/ES00066.pdf>. Acesso em: 22 fev. 2014

Figura 8 – Execução de alvenaria em blocos de concreto



Fonte: Disponível em: <http://www.pedreiroao.com.br/geral/alvenarias-e-reboco/alvenaria-de-blocos-de-concreto-passo-a-passo/>. Acesso em: 03 ago. 2014.

–Tijolo cerâmico comum (maciço): produzido a partir de argila seca moldada e seca ao sol e, em seguida, cozida em fornos, tem como principais finalidades a vedação e a decoração. É comumente encontrado nas seguintes medidas: 4,5x9x19cm e 5x10,5x21cm. Não são utilizados nas alvenarias de edifícios multifamiliares verticais no Brasil, principalmente, por seu peso elevado.

Esses blocos podem ser revestidos externamente com peças cerâmicas ou de mármore/granito, ou apenas protegidos por uma pintura ou por textura. O revestimento interno pode ser semelhante ao aplicado nas paredes internas ao apartamento, já que não há a exposição às intempéries. Os construtores brasileiros, em sua maioria, não adotam blocos padronizados e certificados, principalmente as alagoanas pela escassez de fornecedores desses produtos na região. Conseqüentemente, as dimensões e a densidade variam de um fabricante para outro, não havendo também informações sobre o desempenho acústico desses elementos. Isso dificulta, não somente, o trabalho do projetista, como também da equipe de controle de qualidade.

Esquadria para Salgado (2009) é uma armação na qual se fixam porta, janela, veneziana, dentre outros elementos. Essa armação pode ser feita de materiais diversos, sendo os mais comuns: madeira, ferro, alumínio, PVC (policloreto de vinila) e vidro. São de dois tipos: portas e janelas.

Em edifícios multifamiliares verticais, as esquadrias mais utilizadas nas partições externas são janelas. No caso de haver varanda, são utilizadas ainda as portas (Figura 9), em

sua maioria de correr, e os painéis de vidro para o fechamento externo das varandas (Figura 10).

Figura 9 – Porta de correr para acesso à varanda aberta de um apartamento em Maceió-AL



Fonte: Arquivo pessoal (2014)

Figura 10 – Edifício multifamiliar em Maceió-AL com varandas fechadas com painéis removíveis de vidro



Fonte: Arquivo pessoal (2014)

Em alguns edifícios, principalmente em cidades de clima quente e úmido, podem ser encontradas ainda fachadas com cobogós e peitoris ventilados.

Com a finalidade de aliar a proteção contra sol e chuva à passagem de ventilação constante, o arquiteto Luís Nunes passou a adotar em seus projetos no Nordeste brasileiro o cobogó, elementos vazados em concreto com numerosos pequenos orifícios retangulares (AMORIM, 2001). Hoje em dia, existem cobogós de formas, tamanhos e materiais diversos (Figura 11).

Figura 11 - Fachada em cobogó cerâmico em um dos edifícios do conjunto projetado por Lúcio Costa no Parque Guinle na cidade do Rio de Janeiro



Fonte: Disponível em: <http://www.usoedesuso.com.br/blog/?p=240>. Acesso em: 3 ago. 2014

O peitoril ventilado, de acordo com Oiticica (2010), é um elemento complementar de fachada com formas diversas, sobreposto a uma abertura localizada no peitoril abaixo das

janelas permitindo a passagem dos ventos sem que a chuva penetre na edificação, como forma de integrar o interior e o exterior fazendo a inter-relação entre clima, homem e habitat (Figuras 12 e 13).

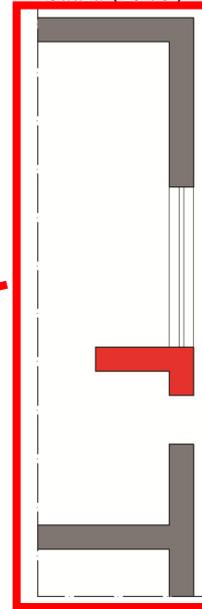
Figura 12 – Edifício Saara (1973) em Recife-PE com peitoris ventilados sob as janelas



Fonte: Disponível em:

<http://arqpb.blogspot.com.br/2010/04/com-luz-do-nordeste.html>. Acesso em: 03 ago. 2014

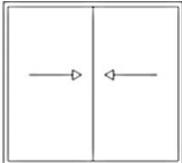
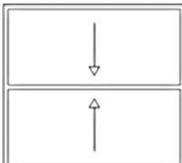
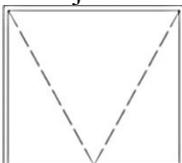
Figura 13 – Croqui do peitoril ventilado do edifício Saara (1973)

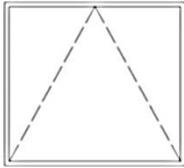
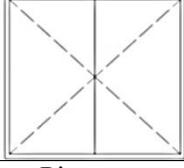
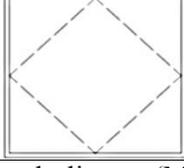
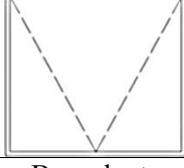
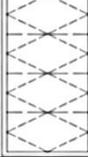


Fonte: Arquivo pessoal (2014)

Salgado (2009), em seu trabalho, relaciona e descreve os principais tipos de janelas (Tabela 3).

Tabela 3 – Tipologias de janelas

Tipo de janela	Descrição
<p>De correr</p> 	<p>Com uma ou mais folhas que se movimentam por deslizamento horizontal no plano da folha</p>
<p>Guilhotina</p> 	<p>Formada por uma ou mais folhas que se movimentam por deslizamento vertical no plano da janela, de modo que, quando abertas, as folhas ficam embutidas na esquadria ou na alvenaria</p>
<p>Projetante</p> 	<p>Com uma ou mais folhas que podem ser movimentadas em rotação em torno de um eixo horizontal fixo, situado na extremidade superior da folha</p>

<p>De tombar</p> 	<p>Possui uma ou mais folhas que podem ser movimentadas mediante rotação em torno de um eixo horizontal fixo, na extremidade inferior da folha</p>
<p>De abrir</p> 	<p>Com uma ou mais folhas que se movimentam a partir da rotação em torno de eixos verticais fixos posicionados nas laterais das folhas</p>
<p>Pivotante</p> 	<p>Possui uma ou várias folhas que se movimentam através da rotação em torno de um eixo horizontal ou vertical que não coincide com as laterais e extremidades da folha</p>
<p>Projetante deslizante (Maxim-ar)</p> 	<p>Com uma ou mais folhas que são movimentadas em torno de um eixo horizontal, cujo eixo translada simultaneamente</p>
<p>Basculante</p> 	<p>Com eixo de rotação horizontal, no centro ou fora dele coincidindo com as extremidades superiores ou inferiores da janela</p>

Fonte: Adaptado de Salgado (2009)

As janelas que são mais difundidas nos apartamentos são as de alumínio com vidro comum de 4mm de espessura, do tipo Maxim-ar ou de correr (Figuras 14 e 15), sendo que, em regiões mais frias do país, adotam-se ainda vidros duplos. Em alguns edifícios, encontram-se ainda janelas de ferro ou aço com pintura de esmalte, do tipo basculante, como nas habitações de interesse popular, por exemplo (Figura 16).

Figura 14 - Janela Maxi ar em alumínio com vidro



Figura 15 - Janela de correr com duas folhas em alumínio com vidro



Figura 16 - Janela basculante em ferro com vidro

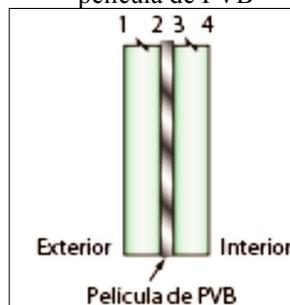


Fonte: Disponível em: <http://187.17.2.135/orse/esp/ES00066.pdf>. Acesso em: 22 fev. 2014

Referenciando os tipos de vidro mais amplamente difundidos, são encontrados os monolíticos, os temperados, os laminados e os insulados. Vidro monolítico é comumente conhecido como vidro comum, ou seja, aquele que não sofreu na sua fabricação nenhum processo de termoendurecimento ou de têmpera, podendo ser cortado, usinado, perfurado e polido. Quanto aos vidros temperados, estes passam por um tratamento utilizando um superaquecimento seguido de um resfriamento, o que o torna até quatro vezes mais resistentes que um vidro comum, sendo considerado mais seguro, não podendo, porém, ser cortado ou perfurado após resfriado.

O vidro laminado (Figura 17) é composto por duas chapas de vidro intercaladas por um plástico chamado Polivinil Butiral (PVB) que, além de garantir maior segurança em caso de quebra, já que os cacos ficam presos a ele, também reduz a passagem dos ruídos indesejáveis. O insulado é composto por duas ou mais lâminas de vidro seladas na borda e separadas por uma camada de ar que abafa o som (Figura 18). Pode haver ainda uma combinação do laminado com o insulado, ao utilizar lâminas de vidro laminado (GUARDIAN SINGUARD, 2014):

Figura 17 - Corte esquemático do vidro laminado com película de PVB



Fonte: Guardian Sunguard,(2014)

Figura 18- Corte esquemático do vidro insulado



Fonte: Guardian Sunguard (2014)

Como, na maioria dos casos, última barreira entre o ruído externo e o seu usuário, a fachada de uma edificação pode receber diversos elementos arquitetônicos para contribuir com a qualidade acústica da edificação: varandas, janelas especiais, brises, marquises, peitoris ventilados, elementos vazados e outros (OITICICA, 2010). Porém, são necessários estudos específicos para atingir o amortecimento acústico desejado e para evitar que tal isolamento prejudique outros condicionantes bioclimáticos, de modo a conciliar ruído e ventilação natural em prol da eficiência energética.

- Partições verticais internas

Os principais sistemas construtivos encontrados nas paredes internas das edificações habitacionais multifamiliares brasileiras são: alvenarias em blocos cerâmicos furados e em blocos vazados de concreto, já descritas anteriormente; alvenaria em blocos de gesso comum; e o sistema “drywall” com gesso acartonado. Normalmente, quando o sistema adotado é o de blocos cerâmicos furados e o de blocos vazados de concreto, os construtores optam por peças de menores dimensões para as paredes internas. Essas divisórias vão de piso ao teto.

A alvenaria de gesso comum é composta por blocos pré-moldados intertravados, vazados (Figura 19) ou compactos (maciço), com dimensões nominais de 50 cm x 66,7cm. As espessuras comercializadas no mercado brasileiro são 7 cm para blocos vazados ou blocos compactos, e 10 cm para blocos compactos. Além do bloco simples, existe o hidrófugo (bloco azul), resistente à água e utilizado na primeira fiada de paredes de gesso simples (Figura 20) e em toda a alvenaria de gesso em áreas molhadas. Na execução, as peças, encaixadas através de um sistema macho-fêmea, são unidas com uma fina camada de cola de gesso (PIRES SOBRINHO et al, 2014).

Figura 19 – Blocos de gesso simples vazado para paredes internas



Fonte: Disponível em:

<http://www.gessoomega.com.br/>. Acesso em: 03 ago. 2014

Figura 20 - Alvenaria em blocos de gesso, com a primeira fiada com o bloco hidrófugo e o restante com o bloco simples



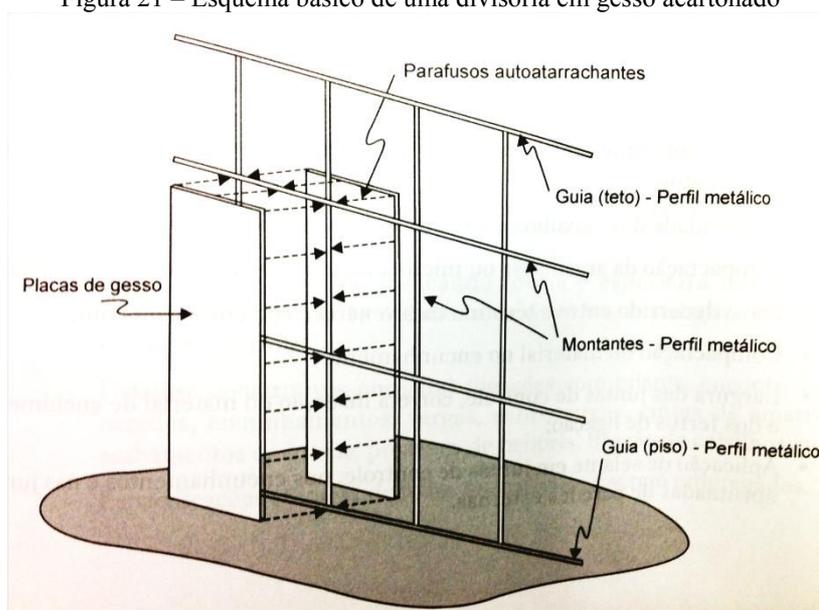
Fonte: Disponível em:

http://www.urbanistica.com.br/novidades/saiba_mais.php?id=19. Acesso em: 13 mai 2014

Esse sistema, de acordo com Pires Sobrinho et al (2014), apresenta uma série de vantagens em relação às divisórias em alvenaria de blocos cerâmicos e/ou de concreto, dentre as quais: a) maior resistência mecânica; b) pode ser aplicado sobre piso acabado sem precisar escarear; c) pode ser facilmente removível e sem deixar marcas; d) apresenta maior isolamento térmico e acústico por unidade de espessura; e) é mais leve; f) apresenta maior produtividade e menor custo global das vedações; e g) paredes menos espessas.

O sistema de drywall (Figura 21), também conhecido como sistema de construção a seco, é composto por uma estrutura de chapa de aço revestido com zinco, na qual são fixadas chapas de gesso acartonado através de parafusos (SALGADO, 2009). De acordo com Losso e Viveiros (2004), o gesso acartonado passou a ser mais difundido no Brasil na segunda metade da década de 1990, e sua placa comum é composta internamente por uma mistura de gesso (gipsita natural) e, externamente, por um papel tipo “Kraft” (papelão) em cada face.

Figura 21 – Esquema básico de uma divisória em gesso acartonado



Fonte: Salgado (2009)

Salgado (2009) descreve também os três tipos de placas (Figuras 22 e 23), de acordo com o uso a que se destinam, e suas medidas padronizadas (Tabela 4):

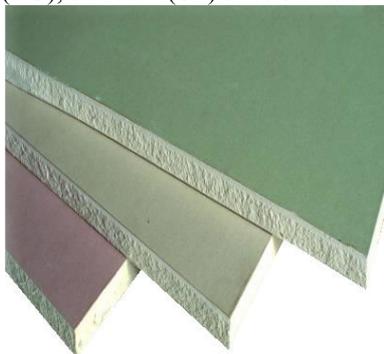
- Placas Standard (ST) – chapa branca: para áreas isentas de água e de umidade, como salas e dormitórios, por exemplo;
- Placas resistentes à umidade (RU) – chapa verde: para locais expostos à umidade e à água por tempo limitado e de forma intermitente, como em banheiros e cozinhas;
- Placas resistentes ao fogo (RF) – chapa rosa: para áreas que necessitam de uma maior resistência ao fogo.

Tabela 4 – Medidas padronizadas das placas de gesso acartonado

Largura (cm)	60 ou 120
Espessura (mm)	8 – 9,5 – 12,5 - 15
Comprimento (cm)	180 – 200 – 240 – 250 – 280 – 300 Observação: medidas especiais a partir de 30 cm podem ser negociadas com o fabricante.

Fonte: Adaptada de Salgado (2009)

Figura 22 - Placas de gesso acartonado resistente à umidade (RU), standard (ST) e resistente ao fogo (RF)



Fonte: Disponível em:
<http://www.sulmodulos.com.br/produto-gesso-acartonado>. Acesso em: 04 ago 2014

Figura 23 - Instalação do sistema de drywall



Fonte: Disponível em:
http://www.placo.com.br/consumidores_drywall/guia-morador-drywall/pdf/manual-morador-drywall.pdf.
 Acesso em: 22 fev 2014

Esse sistema pode receber todos os tipos de revestimentos tradicionais, além de que sua superfície plana e lisa facilita a aplicação da pintura convencional. Porém, para a aplicação de azulejos sobre as placas, é preciso usar argamassa colante flexível (SALGADO, 2009).

A porta, segundo Yazigi (2003), é um sistema composto por: batente (ou marco), elemento fixo onde a folha de porta é presa, possuindo ainda um rebaixo para o fechamento desta; alisar (ou guarnição), também fixo e com a função de fazer a moldura da porta no arremate com a parede; e folha, parte móvel e onde as ferragens são fixadas. O autor estabelece ainda as seguintes medidas para espessura, largura e altura das folhas de portas de madeira (Tabela 5):

Tabela 5 – Medidas das folhas de porta de madeira

Dimensão nominal	Tolerância
Espessura = 3,5cm ou 4,5cm	± 1 mm
Larguras padronizadas = 62 cm; 72 cm; 82 cm; 92 cm	± 3 mm
Altura = 211 cm	± 5 mm

Fonte: Adaptada de Yázigi (2003)

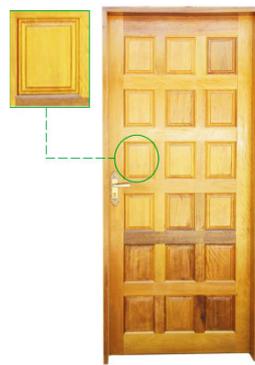
De acordo com a fabricação das folhas, as portas podem ser dos seguintes tipos (YAZIGI, 2003):

- Lisa: com um núcleo e com capas nas duas faces (Figura 24a). Essa capa pode receber uma pintura de acabamento, um revestimento em material melamínico ou apenas a aplicação de um verniz;
- Almofadada: em madeira maciça, com rebaixo duplo (Figura 24b);
- Calha ou mexicana: executada com sarrafos do tipo macho-fêmea, presos por meio de travessas sobrepostas ou embutidas, tarugadas ou parafusadas (Figura 24c);

Figura 24- Diferentes tipos de portas: (a) lisa; (b) almofadada; (c) do tipo calha ou mexicana horizontal



Fonte: Multidoor (2014)



Fonte: Disponível em:
<http://imabel.com.br/Comasa%20Portas%20Externas.htm>. Acesso em: 04 ago. 2014



Fonte: Disponível em:
<http://ecovilleportasejanelas.com.br/catalogo-categoria/pivotante/page/8/>. Acesso em: 04 ago. 2014

Os montantes devem ser em madeira maciça, mas os núcleos das folhas podem ter tipos variados, como apresenta Yazigi (2003) na Tabela 6:

Tabela 6 – Tipos de núcleos de portas de madeira

Tipo de núcleo	Descrição	Ilustração
SEMI-OCO	Composto por papel Kraft formando uma colmeia; não pode ser usado em áreas úmidas	 <p>Fonte: Disponível em: http://www.oficina44.com.br/sanduiche-tecnica-estrutural-para-paineis/. Acesso em: 04 ago. 2014</p>
DE RASPAS DE MADEIRA SELECIONADA	As raspas são aglutinadas com cola sintética e secadas em uma estufa. Não pode ser exposto à água	 <p>Fonte: Disponível em: http://casa.abril.com.br/materia/chapas-de-madeira-um-raio-x-dos-materiais-mais-usados-na-confeccao-de-moveis. Acesso em: 04 ago. 2014</p>

COM SARRAFOS PRENSADOS	Os sarrafos prensados são aglutinados com cola à base de água, o que possibilita que seja colocado em áreas expostas a molhaduras constantes	 <p>Fonte: Disponível em: http://blondelcompany.blogspot.com.br/. Acesso em: 04 ago. 2014</p>
DE LÂMINAS COMPENSADAS	Não podem ser instalados em áreas molhadas.	 <p>Fonte: Disponível em: http://www.clasf.com.br/q/compensados-e-madeiras/. Acesso em: 04 ago. 2014</p>

Fonte: Adaptada de Yázigi (2003)

As portas externas dos apartamentos, por questão de segurança, exigem maior resistência, principalmente contra impacto, por isso, o recomendado é que sua folha seja de madeira maciça. Já as internas podem ter núcleos variados, porém a composição da folha de porta e, conseqüentemente, a variação de sua densidade, interfere diretamente no desempenho acústico do sistema, afetado ainda pelo tipo de ferragem e pelas aberturas que permanecem após o fechamento da porta.

Com o advento da Norma de Desempenho, NBR 15575 (ABNT, 2013), que estabelece requisitos mínimos para os diversos elementos da construção em prol do desempenho dos edifícios habitacionais, os projetistas terão que adequar os projetos das novas construções, a partir de julho de 2013, aos limites e às exigências que ela estabelece. Com base nestes dados estipulados pelas normas, os compradores terão parâmetros para analisar e garantir a qualidade das suas habitações. Portanto, os construtores também terão que adequar os seus sistemas construtivos convencionais e suas listas de especificações a novos parâmetros.

2.2.2 Materiais “acústicos” para a Construção Civil

O mercado da construção civil no Brasil está repleto de sistemas e materiais construtivos que após ensaios em laboratórios apresentaram um desempenho acústico satisfatório, ou seja, dentro dos limites estabelecidos pelas normas técnicas, os quais serão

chamados, neste trabalho, de materiais “acústicos”. Eles são resultados de estudos realizados pelos fabricantes em parceria com universidades e institutos de pesquisa. Os testes em laboratório servem para verificar o índice de redução sonora ponderado (R_w') atingido por essas inovações, comparando com os índices dos sistemas convencionais. Este parâmetro permite quantificar o nível de isolamento sonoro ao ruído aéreo proporcionado pelos componentes das partições internas e externas.

Cabe destacar que os valores do R_w' , obtidos em laboratórios, não devem ser comparados diretamente aos resultados de campo, como a D_{ntw} (diferença padronizada de nível ponderada) e a $D_{2m,nTw}$ (Diferença padronizada de nível ponderada a 2 metros, para fachadas), já que são parâmetros diferentes. Eles serão detalhados mais adiante neste trabalho. Algumas pesquisas afirmam que há uma perda de desempenho de cerca de 5dB entre os resultados de laboratório e os das medições *in loco* (DEIXE, 2014). Contudo, o R_w' , que pode ser encontrado nos catálogos, espécie de livretos de divulgação de fabricantes para apresentar as especificações técnicas de seus produtos, dos materiais e sistemas testados em laboratório, é uma ferramenta importante para o projetista durante a elaboração do projeto, permitindo a comparação do desempenho acústico apresentado pelos materiais e sistemas construtivos disponíveis no mercado (Figura 25).

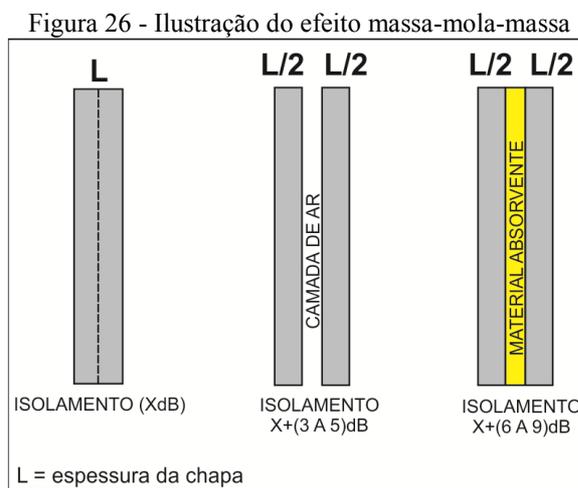
Figura 25 - Exemplo de catálogo de portas acústicas



Fonte: Arquivo pessoal (2014)

Normalmente, o isolamento ao ruído aéreo é regido pela lei da massa ou da densidade, ou seja, quanto mais pesada a parede for, mais ela isolará. Existe uma relação entre o peso e o isolamento, de modo que, ao dobrarmos o peso de uma parede, a atenuação do som será ampliada em 6 dB (MEHTA et al, 1999). Porém, o mesmo autor afirma que a perda de transmissão de uma parede simples, adotando apenas a lei da massa é limitada, já que o limite de perda é atingido rapidamente. Por isso, recomenda a adoção de divisórias formadas por

dois painéis com uma camada de ar intermediária, exemplo de aplicação da “lei da massa-mola-massa”. De acordo com Carvalho (2010), ocorre quando espaços vazios são gerados no interior de sistemas de materiais, ou ainda quando ele é preenchido com material absorvente acústico (Figura 26).



Fonte: Adaptado de Carvalho (2010)

Serão descritos, a seguir, alguns dos principais materiais acústicos utilizados na construção civil, com os seus respectivos índices de isolamento, sendo agrupados em duas categorias, de acordo com a localização da partição onde são aplicados: verticais externas e verticais internas.

- **Partições verticais externas**

Para combater os ruídos aéreos externos às edificações, algumas preocupações são pertinentes ao projeto. O primeiro passo será proporcionar o confinamento do recinto, empregando materiais de isolamento apropriados, como: paredes pesadas, painéis leves com um espaço vazio entre eles; lajes espessas; vidros isolantes; telhados vedantes, entre outros. No caso das esquadrias, as portas isolantes devem ser espessas, pesadas, recebendo preenchimento em areia, chapa metálica ou materiais absorvedores, e vedações das frestas com borracha. Quanto à preocupação com as janelas, estas devem permitir a colocação de vidros duplos ou triplos, com camadas de ar entre eles. Os caixilhos devem ser preenchidos com material isolante (SILVA, 2011).

Segundo CBIC (2013), blocos vazados de concreto apresentam índice de redução sonora superior ao de blocos vazados de cerâmica de mesmas espessuras (Tabela 7). Porém, esse aumento é relativamente pequeno. Por isso, o ideal é, além de substituir o material, optar

por blocos mais espessos e mais densos, de modo a ampliar o isolamento sonoro dessas partições. Recomenda-se que, quando estes índices não forem atingidos para um isolamento ideal, a parede dupla pode ser executada, aplicando a “lei da massa-mola-massa”, e, caso ainda seja necessário, é recomendável preencher a camada de ar intermediária com material absorvente, como lã de vidro, lã de rocha, espuma acústica e fibra mineral, por exemplo. Esses materiais podem ser acoplados também ao “drywall”.

Tabela 7- Valores indicativos do índice de redução sonora ponderado para alguns sistemas de paredes externas

Tipo de parede	Largura do bloco/ tijolo	Revestimento	Massa aproximada	R _w (dBA)
Blocos vazados de concreto	9 cm	Argamassa 1,5cm em cada face	180 kg/m ³	41
	11,5cm		210 kg/m ³	42
	14 cm		230 kg/m ³	45
Blocos vazados de cerâmica	9 cm	Argamassa 1,5cm em cada face	120 kg/m ³	38
	11,5cm		150 kg/m ³	40
	14 cm		180 kg/m ³	42
Tijolos maciços de barro cozido	11 cm	Argamassa 2 cm em cada face	260 kg/m ³	45
	15 cm		320 kg/m ³	47
	11+11 cm (parede dupla, com preenchimento de 4 cm de lã de rocha 70 kg/m ³)		450 kg/m ³	52
Paredes maciças de concreto armado	5 cm	Sem revestimento	120 kg/m ³	38
	10 cm		240 kg/m ³	45
	12 cm		290 kg/m ³	47

Fonte: Adaptado de CBIC (2013)

A Tabela 7 mostra que é possível melhorar o desempenho da alvenaria com materiais facilmente encontrados no mercado, como é o caso de blocos vazados de concreto com 11,5cm de espessura, que, ao substituir as convencionais paredes de blocos cerâmicos de mesma espessura, com R_w' igual a 40dB, aumenta a massa da alvenaria, elevando, conseqüentemente, o índice de redução ponderado (R_w) que sobe para 42dBA. Quando possível, pode-se optar por tijolos maciços de barro com 11 cm de espessura e revestimento de 2 cm em argamassa, que apresenta R_w' de 45dB, ou ainda paredes maciças em concreto armado com 12 cm, sem revestimento, o que eleva o índice para 47dBA (CBIC, 2013).

Segundo o CBIC (2013), a substituição do revestimento de argamassa, como o chapisco e o reboco, pelo de gesso, bastante usado nos novos empreendimentos em Maceió, se aplicado nas duas faces da alvenaria, apresenta uma redução de cerca de 1dB na isolação, alteração irrelevante, quando em apenas um lado.

De acordo com Vianna (2013), quando se trata de isolamento sonoro para ruídos aéreos, o maior problema está nas aberturas e não nas áreas “opacas”, como as paredes e pisos. Por

isso, deve-se ter cuidado especial com as esquadrias, principalmente no assentamento, evitando-se aberturas indesejáveis que deixam os ruídos passarem.

Já existem hoje no mercado janelas e portas “acústicas” que proporcionam um maior isolamento ao ruído aéreo. Elas são personalizadas, de acordo com a necessidade de isolamento medida e avaliada por técnicos. As janelas, feitas em perfis especiais de alumínio, podem ser fabricadas com vidros duplos (27a), triplos (27b) ou quádruplos (27c) em diferentes espessuras.

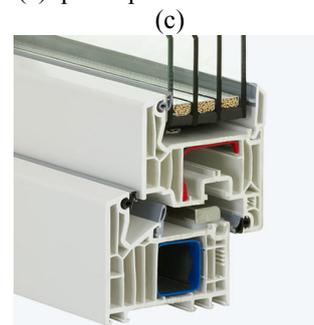
Figura 27- Detalhes de janelas acústicas com vidro: (a) duplo; (b) triplo; e (c) quádruplo



Fonte: Disponível em: <http://www.janelaseportaspvc.pt/>. Acesso em: 05 ago. 2014



Fonte: Disponível em: <http://romeucorreia10a1.wikispaces.com/TG2>. Acesso em: 05 ago. 2014



Fonte: Disponível em: <http://okna-postep.pl/pl/okna-pvc/linie-okien/veka-softline-82>. Acesso em: 05 ago. 2014

O desempenho acústico do sistema de envidraçamento usado nas esquadrias externas dos edifícios habitacionais pode ser avaliado a partir de duas classes de transmissão (GUARDIAN SUNGUARD, 2014):

- Classe STC (*Sound Transmission Class*): para medir a perda de ruído nos interiores das paredes, tetos e pisos. Permite comparar o desempenho acústico de diferentes materiais de envidraçamento. Quanto maior ela for, melhor será o isolamento acústico;
- Classe OITC (*Outdoor-Indoor Transmission Class*): para a medição da perda da transmissão de som nas aplicações de *glazing* exterior, o que exige que todo o sistema seja revisado e testado.

Os vidros comuns das esquadrias das fachadas podem ser substituídos por outros com maiores valores de OITC, como os laminados e os insulados. Como explicado anteriormente, a película de Polivinil Butiral (PVB) dos vidros laminados reduz a passagem de ruídos indesejáveis, assim como a camada de ar entre as lâminas do vidro insulado. É possível ainda obter um maior desempenho acústico com a combinação desses dois tipos, ao utilizar lâminas de vidro laminado nas camadas do insulado (GUARDIAN SUNGUARD, 2014):

No Brasil foi lançado o vidro laminado acústico formado por dois ou mais vidros comuns ou temperados, colados entre si por uma ou mais películas de PVB acústico, polivinil

butiral acústico, que proporciona maior segurança, proteção contra raios infravermelhos e um maior isolamento acústico, ganhando de 2 a 5dB ao se comparar com o isolamento produzido por vidros monolíticos ou laminados comuns (FANAVID, 2014). Na Tabela 8 pode-se observar a vantagem do vidro laminado acústico em relação aos vidros monolítico e laminado.

Tabela 8 - Comparação dos índices de redução acústico ponderados (R_w) dos vidros monolíticos, laminados e laminados acústicos

Espessura do vidro (mm)	Vidro Monolítico R_w (C; Ctr) (dB)	Vidro Laminado	Vidro Laminado Acústico
6	31 (-1; -2)	33 (-1; -2)	36 (-1; -3)
8	32 (-1; -2)	34 (-1; -2)	37 (-1; -2)
10	33 (-1; -2)	35 (-2; -3)	38 (-1; -2)
12	34 (0; -2)	35 (-1; -3)	38 (-1; -2)

Fonte: Fanavid (2014)

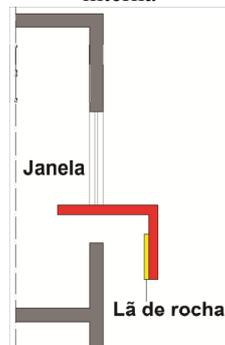
Ao ser avaliada a partição externa, o que deve ser observado é o desempenho do conjunto da esquadria, e não apenas o vidro. A Alcoa, fabricante de esquadrias em alumínio, ao testar seus sistemas de janelas de correr em alumínio com vidro observou a elevação da isolamento do conjunto com a substituição dos vidros. Enquanto um exemplar dessa tipologia com dimensões de 1,2x1,2m e vidro comum 4mm apresentou R_w' de 19dB, em outro, com mesmas dimensões, mas com vidro laminado 10 (5+5)mm, o índice de redução sonora ponderado subiu para 31dB (DEIXE, 2014).

A tipologia também interfere no isolamento, apesar do mercado já oferecer soluções para aumentar o isolamento acústico dos diversos tipos de janelas, independente da forma de abertura. Um exemplo que pode ser citado é o fato das janelas de correr convencionais, devido às frestas nos trilhos e aos espaços entre as folhas, serem mais permeáveis ao ruído que as do tipo Maxi-ar, cujo sistema de travamento, dificulta a passagem dos sons. Porém, já existem soluções para o problema das janelas de correr: preenchimento das frestas dos trilhos com escovas de poliuretano expandido e um sistema de vedação mais eficiente no travamento das folhas. Isso mostra a importância da acústica na escolha do tipo de janela a ser utilizada no projeto.

Oiticica (2010), em seu estudo, concluiu que é possível usar o peitoril ventilado para a atenuação de ruídos se, por exemplo, com a perfuração das superfícies internas e com a aplicação de material absorvedor de alto desempenho acústico nas superfícies do duto de ventilação dos peitoris (Figura 28), podendo alcançar Diferença Padronizada de Nível Ponderada ($D_{2m,nT_w'}$) entre 25dB a 26dB. Existe ainda a possibilidade de dotar as aberturas dos peitoris com janela basculante (Figura 29), permitindo o seu fechamento, quando

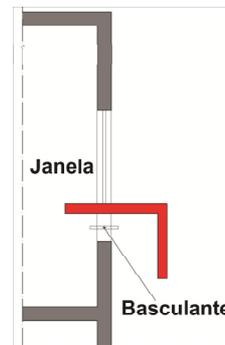
necessário. Com isso, os ambientes podem ser climatizados naturalmente sem prejudicar o conforto acústico dos usuários.

Figura 28 – Peitoril ventilado com uma placa de material de alto desempenho acústico na superfície interna



Fonte: Adaptado de Oiticica (2010)

Figura 29 – Peitoril ventilado com janela basculante



Fonte: Adaptado de Oiticica (2010)

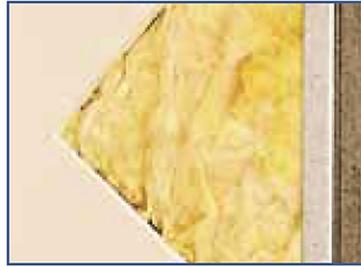
- **Partições verticais internas**

O isolamento sonoro ao ruído aéreo das paredes internas pode ser melhorado de diversas formas, tais como a adoção de blocos de melhor desempenho, o aumento da espessura e/ou da densidade das paredes e a substituição do sistema construtivo, empregando, por exemplo, o sistema de drywall com preenchimento. Além disso, podem ser utilizadas portas que ofereçam maior resistência à passagem de ruídos: as portas acústicas.

Assim como explicado, nas partições externas (fachadas), o isolamento sonoro das divisórias internas pode ser melhorado através da substituição do elemento construtivo e do aumento da densidade da partição, o que pode ser obtido com a adoção de partições mais espessas (Tabela 7).

Para os projetos arquitetônicos, alternativas podem ser apresentadas para diminuir a carga sobre as estruturas, como a adoção de partições em drywall, utilizando materiais conjugados e complementares, de menor massa, como duas ou mais placas sobrepostas de gesso acartonado ou o preenchimento do espaço vazio entre as placas com mantas de lã de rocha ou lã de vidro (Figura 30).

Figura 30 – Divisória em drywall com enchimento em lã de vidro

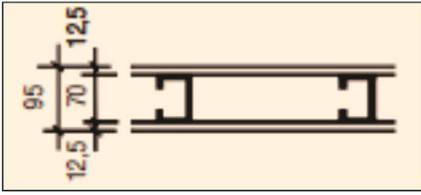
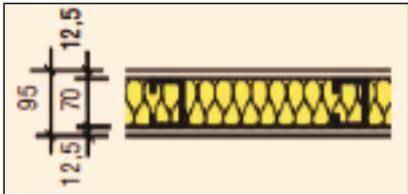
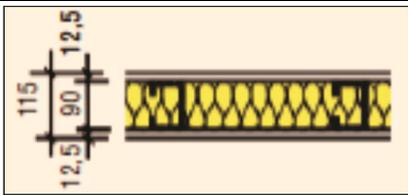
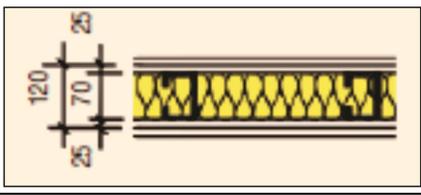
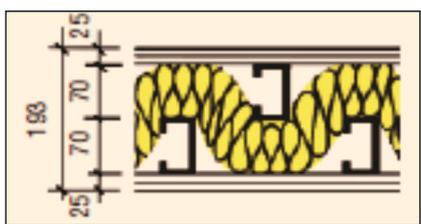


Fonte: Saint-Gobain (2014)

Essas soluções apresentam índices de redução sonora mais elevados (Tabela 9). Em pesquisa realizada por Losso e Viveiros (2004), o sistema de paredes internas em gesso acartonado só atingiu o nível de isolamento acústico adequado quando foram colocadas duas placas de cada lado, porém, observou-se ainda que o aumento da camada de ar também contribui para melhorar o desempenho (Tabela 9).

Tabela 9– Índices de redução sonora ponderados (Rw) para paredes de drywall mais comuns

Paredes	Alvenaria	Utilização	Espessura (cm)	Rw (dB)	Corte de parede
Internas à unidade	Duas chapas com 12,5mm de espessura cada, sem enchimento isolante	Cozinha/ sala Cozinha/ área de serviço	7,3	36	
	Duas chapas, com 12,5mm de espessura cada, com enchimento isolante	Dormitório/ sala Dormitório/ dormitório Dormitório/ banheiro Banheiro/ banheiro	7,3	44	
	Quatro chapas, com 12,5mm de espessura cada; com enchimento isolante	Cozinha/ sala Cozinha/ área de serviço Dormitório/ sala Dormitório/ dormitório Dormitório/ banheiro Banheiro/ banheiro	9,8	50	

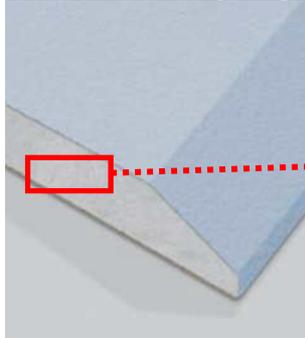
	Duas chapas, com 12,5mm de espessura cada; sem enchimento isolante	Cozinha/sala Cozinha/área de serviço	9,5	38	
	Duas chapas, com 12,5mm de espessura cada; com enchimento isolante	Dormitório/sala Dormitório/dormitório Dormitório/banheiro Banheiro/banheiro	9,5	45	
	Duas chapas, com 12,5mm de espessura cada; com enchimento isolante	Dormitório/sala Dormitório/dormitório Dormitório/banheiro Banheiro/banheiro	11,5	45	
Entre unidades habitacionais autônomas	Quatro chapas, com 12,5mm de espessura cada; com enchimento isolante	Entre os apartamentos vizinhos	12,0	51	
Entre unidades habitacionais autônomas e áreas comuns de permanência de pessoas e atividades de lazer e esportivas	Parede em drywall com quatro chapas, com 12,5mm de espessura cada; com enchimento isolante	Home theater; Salão de jogos; Salão de festas	19,3	61	

Fonte: Adaptado de Drywall (2014)

A Tabela 9 mostra a diversidade de formas de aplicação do sistema de drywall, as quais devem ser escolhidas levando-se em consideração, principalmente, a finalidade do ambiente em que será instalado e o nível de isolamento desejado. É possível aumentar o índice de redução sonora de uma parede de drywall com o preenchimento da camada vazia entre as placas com material isolante, e/ou com a colocação de mais de uma placa em cada uma das faces, e/ou, ainda, com o aumento do espaçamento entre as chapas de gesso acartonado.

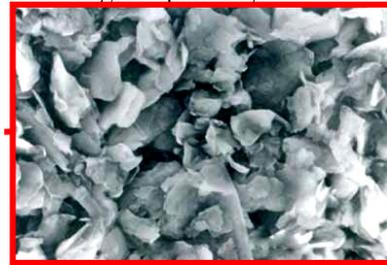
Foi lançado no Brasil um novo tipo de placa para o sistema de drywall (Figura 31), laminada, com novo núcleo de alta densidade composto por uma estrutura cristalina de gesso específico (Figura 32), cuja maior flexibilidade aumenta a resistência à passagem dos ruídos em cerca de 3dB, em relação à placa padrão, com um índice de redução sonora (R_w) de 39dB (SAINT-GOBAIN, 2014). Com 12,5mm de espessura, substitui as placas convencionais sem precisar alterar o sistema de instalação, podendo ser executada em configurações diversas, com ou sem enchimento, assim como o sistema tradicional de placas de gesso acartonado. Portanto, a sua utilização em substituição às chapas comuns, melhora ainda mais o desempenho do sistema de drywall convencional, cujos índices de isolamento são apresentados na Tabela 9.

Figura 31- Placa laminada de gesso para Drywall



Fonte: Saint-Gobain (2014)

Figura 32 - Estrutura cristalina da placa laminada de gesso para Drywall



Fonte: Saint-Gobain (2014)

As portas acústicas estão sendo cada vez mais usadas na construção civil brasileira. Um dos principais fornecedores de portas para edifícios em Maceió desenvolveu produtos de melhor desempenho acústico, adequando-os às exigências da NBR 15575 (ABNT, 2013). Inicialmente, o alvo eram os hotéis, mas já estão sendo adotados nas edificações residenciais. Os testes de desempenho foram feitos no IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas).

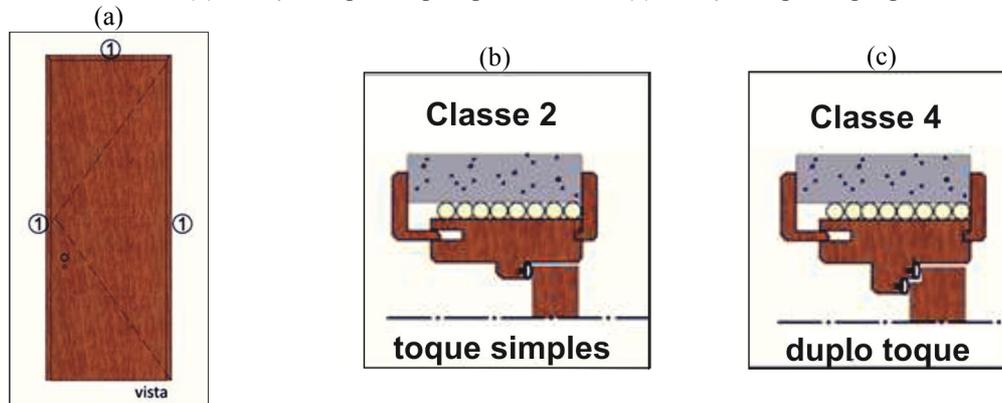
A partir da variação da espessura e do peso das folhas de porta e no uso de dispositivos de vedação para dificultar a passagem dos ruídos, foram desenvolvidos dois tipos de portas, de acordo com o índice de redução sonora proporcionado pela esquadria: classe 2 e classe 4 (MULTIDOOR, 2014). A primeira, classe 2, com 40 mm de espessura e pesando 26,79kg/m², possui um sistema de vedação do marco de porta do tipo “toque simples”, com uma borracha amortecendo o encontro com o marco, a qual também reduz o ruído incidente, apresentando uma redução acústica de 24 a 28dB (Figura 34b). A classe 4, com espessura de 45 mm e com peso de 32,56kg/m², tem um recorte de 5 mm que permite que a porta encaixe em um duplo amortecedor para a vedação com o marco (“duplo toque”), atingindo uma redução acústica de 32 a 36dB (Figuras 33 e 34c).

Figura 33- Protótipo de porta acústica com duplo toque e soleira de vedação com piso



Fonte: Arquivo Pessoal (2014)

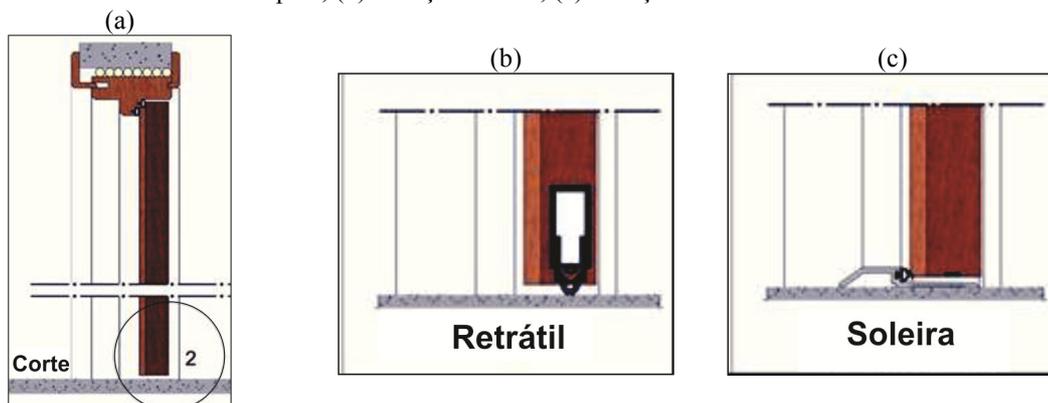
Figura 34- Sistemas de porta acústica com vedação com o marco: (a) vista da porta com indicação da posição dos marcos; (b) vedação toque simples para classe 2; (c) vedação duplo toque para classe 4



Fonte: Multidoor (2014)

O sistema de vedação da porta com o piso é o mesmo para as duas classes, porém com duas alternativas: vedação retrátil (35b) e uma soleira metálica (33 e 35c) com a borracha de vedação. Ambas apresentam o mesmo desempenho acústico, tendo como diferencial apenas a questão estética.

Figura 35 - Sistemas de porta acústica com vedação com o piso: (a) corte indicando o local da vedação com o piso; (b) vedação retrátil; (c) vedação com soleira



Fonte: Multidoor (2014)

As ferragens também são diferenciadas, pois foram ajustadas para produzir menos ruído ao serem utilizadas e para uma maior estanqueidade à passagem de sons. As dobradiças possuem molas e rolamentos que controlam o fechamento da porta, reduzindo o ruído do impacto com o marco (Figura 36a). A fechadura possui um trinco mais silencioso do que os tradicionais (Figura 36b). Já as maçanetas possuem rosetas com mola de retorno, tornando-as menos ruidosas ao serem acionadas (Figura 36c).

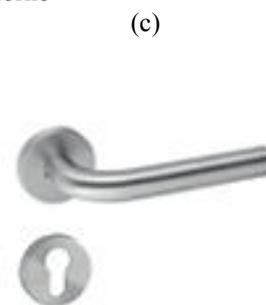
Figura 36 – Ferragens da porta Classe 4: (a) Dobradiça de molas e rolamentos; (b) fechadura com trinco silencioso; e (c) maçaneta com rosetas com mola de retorno



Fonte: Multidoor (2014)



Fonte: Multidoor (2014)



Fonte: Multidoor (2014)

As inovações tecnológicas da construção civil brasileira têm inserido no mercado diversos produtos que contribuem para a melhoria do isolamento acústico das partições das edificações. O diagnóstico completo da edificação e de seu entorno e os índices de redução sonora dos materiais, fornecidos pelos fabricantes em seus catálogos, são ferramentas-chave para o projetista conceber moradias com desempenho acústico compatível com os níveis exigidos nas normas. É preciso ainda que as recomendações de execução dos fabricantes sejam respeitadas na execução da obra.

2.2.3 As iniciativas dos construtores em prol da melhoria acústica

Algumas construtoras de grande porte, principalmente as que fazem parte de programas de controle de qualidade e de avaliação pós-ocupação, estão adotando medidas em prol da redução do nível de ruído em seus empreendimentos, motivadas pelas constantes reclamações dos usuários, e utilizam esse diferencial como valor agregado de seus imóveis.

Um exemplo a ser citado é a Tecnisa, empresa paulista com mais de trinta anos de atuação na incorporação, na construção e na venda de imóveis. Em suas pesquisas, constatou

que, entre 2005 e 2007, o percentual de chamados em acústica para assistência técnica cresceu consideravelmente, tendo como principais reclamações os ruídos entre unidades e em instalações hidrossanitárias (MANETTI, 2012). Segundo o autor, em 2009 surgiram ainda reclamações referentes aos ruídos aéreos de exaustores de churrasqueiras, piscinas e elevadores.

Foram feitas medições de isolamento sonoro aéreo e de impacto em edificações já construídas para que pudessem ser definidas soluções a serem implantadas nas novas construções para que elas apresentassem melhor desempenho acústico. As medidas adotadas resultaram em melhorias consideráveis e foram elas: o uso de pontes acústicas nas instalações hidrossanitárias, através da interposição de fixações elásticas e do cobrimento das tubulações por materiais isolantes para reduzir o ruído do fluxo (Figura 37); tratamento acústico em contrapisos, com o uso, por exemplo, de um piso flutuante composto por um material elástico colocado entre a laje e o contrapiso para separá-lo da estrutura do edifício, impedindo a transmissão dos ruídos de impacto de piso pela estrutura (Figura 38); e instalação de bases amortecedoras (vibrashock) em elevadores para absorver o ruído de impacto gerado com a chegada da cabine à posição inicial (Figura 39).

Figura 37- Pontes acústicas instaladas nas tubulações de esgoto



Fonte: Manetti (2012)

Figura 38 - Aplicação de manta para tratamento acústico de contrapiso



Fonte: Manetti (2012)

Figura 39- Bases amortecedoras para elevadores



Fonte: Manetti (2012)

Essas iniciativas ainda são raridades no mercado imobiliário brasileiro, mas devem ser amplamente difundidas para que a atual situação de descaso no que se refere à qualidade acústica das residências seja revertida, garantindo o conforto e a satisfação dos usuários.

2.3 Avaliação de desempenho acústico

Outra importante ferramenta que o projetista tem para auxiliá-lo na elaboração de projetos mais adequados é a avaliação de desempenho, que permite analisar, de forma objetiva, se um sistema ou um processo construtivo está cumprindo a função a que se destina

de forma adequada, de acordo com parâmetros pré-estabelecidos (ABNT, 2013). A Norma recomenda que essa avaliação seja feita por instituições de ensino ou pesquisa, laboratórios especializados, empresas de tecnologia, equipes multiprofissionais ou profissionais de reconhecida capacidade técnica.

O avaliador deve conhecer os principais parâmetros de desempenho acústico, assim como os critérios de ruído para as edificações residenciais, estabelecidos em leis e em normas técnicas, nacionais e internacionais, que, dentre outras questões, define métodos de medição e de avaliação de isolamento acústico. É importante ainda a ciência de programas de certificações e selos que abordam o conforto acústico das edificações.

2.3.1 Parâmetros acústicos

Para que o desempenho acústico dos ambientes possa ser avaliado, faz-se necessário definir características específicas para a análise: os parâmetros acústicos. Alguns destes têm a função de determinar o nível de ruído transmitido, como a Perda de Transmissão (PT) e/ou o Diferencial de nível (D) (GERGES, 2000). Para este estudo será adotado esse segundo parâmetro, já que o primeiro não foi contemplado pela NBR 15575 (ABNT, 2013).

Assim, os parâmetros de isolamento sonoro aéreo serão obtidos a partir dessa diferença de nível D (Equação 1 e Figura 40) e de alguns parâmetros acústicos da sala receptora.

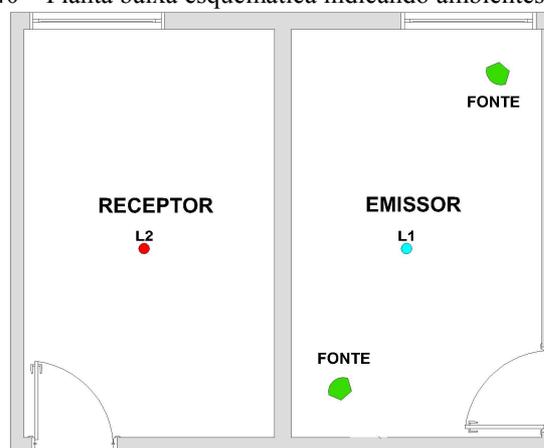
$$D = L_1 - L_2 \quad \text{Eq (1)}$$

Onde: D: Diferença de nível entre os ambientes 1 e 2 (dB)

L_1 : Nível de pressão sonora medido no ambiente 1 (dB)

L_2 : Nível de pressão sonora medido no ambiente 2 (dB)

Figura 40 – Planta baixa esquemática indicando ambientes avaliados



Fonte: Arquivo pessoal (2014)

A pressão sonora é uma grandeza física fortemente relacionada à sensação subjetiva de intensidade de som. Quando o objetivo é avaliar a perturbação causada por fontes de ruído, a pressão sonora, e não a intensidade do som, deve ser a grandeza adotada, já que pode ser medido por um microfone, enquanto a intensidade precisa de equipamentos específicos de medição (BISTAFA, 2006).

Esses parâmetros são:

– **Tempo de reverberação (T) e área de absorção sonora equivalente (A):** o tempo de reverberação (T) de uma sala, medido em segundos, é o tempo necessário para o nível de pressão sonora de uma sala cair 60dB depois de cessada a excitação sonora. Já a absorção sonora equivalente (A) de uma sala corresponde ao somatório dos produtos de todas as áreas (S) das n superfícies da sala com seus respectivos coeficientes de absorção sonora (α). São calculados através das fórmulas apresentadas nas equações 2 e 3:

$$T=0,161V/A \quad \text{Eq (2)}$$

Onde: T = tempo de reverberação

A = absorção sonora equivalente

V = volume do ambiente

$$A = \sum_{i=1,n} S_i \alpha_i$$

Eq (3)

Onde: A = absorção sonora equivalente

S = área da superfície

α = coeficiente de absorção sonora

n = quantidade de superfícies no somatório

– **Diferença normalizada de nível (D_n):** mede a redução nos níveis sonoros entre as salas (D), abrangendo ainda a relação entre a área de absorção sonora equivalente da sala receptora (A) e uma área de absorção sonora de referência (A_0), a qual, no caso de salas em residências é de 10m² ($A_0=10\text{m}^2$). No caso de ambientes com áreas de absorção diferentes, a direção da transmissão sonora influencia no resultado, já que, ao inverter a direção, altera-se a sala receptora. É calculada pela fórmula da equação 4:

$$D_n = D - 10 \log (A/A_0) \quad \text{Eq (4)}$$

– **Diferença padronizada de nível (D_{nT}):** é um índice que corresponde ao isolamento sonoro de uma sala comum em residências. Mede a redução nos níveis sonoros entre salas (D), envolvendo a relação entre o tempo de reverberação médio da sala receptora (T), em

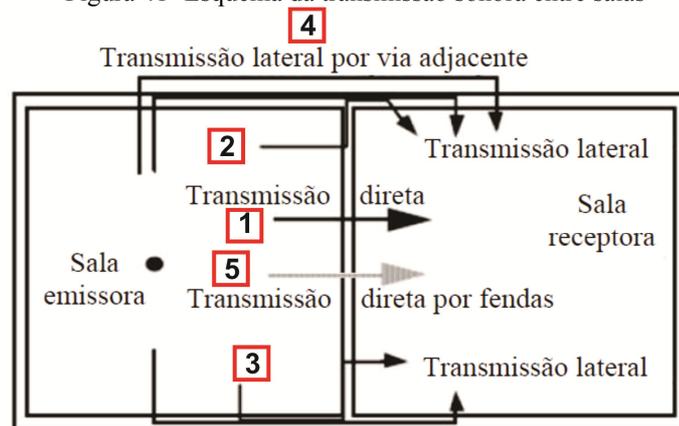
segundos, e um de referência (T_0), que ficou definido pela ISO 140-4 (ISO, 1998) em 0,5 segundos por ser aproximadamente o tempo de reverberação encontrado em salas comuns em residências com mobília e razoavelmente independente do volume e da frequência. Pelo mesmo motivo da diferença normalizada de nível, a direção da transmissão sonora influencia no resultado. Sua fórmula de cálculo é a equação 5:

$$D_{nT} = D + 10 \log (T/T_0) \quad \text{Eq (5)}$$

– **Índice de redução sonora aparente (R')**: é a diferença entre o nível da potência sonora incidente no elemento de separação e o que é transmitido para a sala receptora (Figura 41). Cabe destacar que a potência sonora que é transmitida de uma sala emissora para uma receptora envolve a soma de vários componentes, dos quais podem ser citados:

1. potência que incide na partição e é transmitida diretamente por ela;
2. potência que incide na partição e é transmitida por elementos de construção laterais;
3. potência que incide nos elementos de construção laterais e é transmitida pela partição diretamente;
4. potência que incide nos elementos de construção laterais e é transmitida por esses elementos laterais;
5. potência que é transmitida (como som aéreo) através de vazamentos, por fendas, aberturas, dutos de ventilação, etc.

Figura 41- Esquema da transmissão sonora entre salas



Fonte: Michalski (2011)

No caso de medições em campo, a potência sonora transmitida através de elementos de transmissão lateral ou por outros componentes, W_3 , pode ser significativa em relação à potência sonora transmitida diretamente através do elemento de separação, W_2 (Figura 41). Nesses casos, o índice de redução sonora R passa a ser chamado de índice de redução sonora aparente notado por R' , o qual é independente da direção da transmissão sonora entre as salas.

Leva ainda em consideração a potência sonora incidente no material (W_1), e pode ser calculado pela equação 6:

$$R' = 10 \log \left(\frac{W_1}{W_2 + W_3} \right) \quad \text{Eq (6)}$$

Segundo Ferreira Neto (2009), como no Brasil as paredes são em alvenaria e estão rigidamente ligadas à laje, é difícil que a transmissão sonora se dê apenas pela partição. Por isso, ao invés do índice de redução sonora aparente, na prática, é adotada a diferença padronizada de nível como parâmetro para a avaliação em campo do isolamento de ruído aéreo em partições.

– **Parâmetros de isolamento sonoro ponderados** – são aqueles usados para quantificar o isolamento sonoro aéreo e que dependem da frequência, tanto em bandas de terço de oitava, quanto em bandas de oitava: D_n , D_nT e R' . Eles são convertidos em um número único (índice ponderado ou global), possibilitando a caracterização do desempenho acústico e facilitando a comparação e a escolha rápida de materiais. Os nomes adotados para indicar os valores únicos para os parâmetros anteriormente citados são: D_{nw} (diferença normalizada de nível ponderada), $D_{nT,w}$ (diferença padronizada de nível ponderada) e R'_w (índice de redução sonora aparente ponderado), conforme Tabela 10. O procedimento para a obtenção do número único é detalhado na norma ISO 717-1 (1996).

Tabela 10- Parâmetros acústicos para medições em campo utilizados no isolamento sonoro segundo as normas ISO

SÍMBOLO	NOMENCLATURA	APLICAÇÃO	NORMA
R'	Índice de redução Sonora Aparente	Sistema de edificação	ISO 140-4
R'_w	Índice de redução Sonora Ponderada		ISO 717-1
D_n	Diferença Normalizada de Nível	Sistemas construtivos – parede/piso	ISO 140-4
$D_{n,w}$	Diferença Normalizada de Nível Ponderada		ISO 717-1
D_{nT}	Diferença Padronizada de Nível		ISO 140-4
$D_{nT,w}$	Diferença Padronizada de Nível Ponderada		ISO 717-1
$D_{2m,nT}$	Diferença Padronizada de Nível, a 2 metros	Fachadas e coberturas	ISO 140-5
$D_{2m,nT,w}$	Diferença Padronizada de Nível Ponderada, a 2 metros		ISO 717-1

Fonte: Ferreira Neto (2009)

2.3.2 Critérios de ruído

O Brasil ainda é bastante carente no que se refere a leis para a regulamentação da questão acústica nas cidades e nas edificações. Historicamente o Governo Federal tem deixado sob a responsabilidade da esfera municipal a regulamentação do ruído urbano das cidades. Enquanto isso, em diversos países da Comunidade Europeia, há décadas, já existe gerenciamento de ruído urbano com o objetivo de avaliar e gerenciar, focando a prevenção, o monitoramento e o estabelecimento de bases para ações em prol da redução dos níveis de ruído (PAIVA; RODRIGUES; CARDOSO 2012a).

As normas técnicas são fundamentais para a garantia da qualidade dos produtos e dos procedimentos relacionados à construção civil. Porém, em se tratando de normativos técnicos relativos a métodos de medição e a parâmetros de avaliação do desempenho acústico de habitações, o Brasil também é bastante carente. Somente em 2013 entrou em vigor a versão final da primeira norma de desempenho de edifícios habitacionais no Brasil, a NBR 15575 (ABNT, 2013). Porém, essa norma não supriu a carência de um normativo técnico brasileiro, o qual necessita ainda de uma regulamentação nacional com procedimentos de medição de desempenho acústico de habitações. Ela adota o padrão internacional, fazendo referência às normas ISO, da Organização Internacional de Normatização.

2.3.2.1 Critérios nacionais

Como informado anteriormente, a legislação brasileira ainda é bastante carente de regulamentações a cerca do desempenho de edificações, mais especificamente no que se refere à qualidade acústica das residências. Esses normativos são fundamentais para a garantia da qualidade de vida, por estabelecer parâmetros de avaliação e limites de tolerância para a incidência de ruído nas habitações.

O Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) tem sido um dos principais responsáveis pelo combate aos níveis excessivos de ruído nas cidades, os quais são considerados poluição ambiental. O inciso II do artigo 6º da Lei 6.938/81 atribui ao CONAMA a função de normatizar e estabelecer padrões compatíveis com o meio ambiente equilibrado e necessário à sadia qualidade de vida (BRASIL, 1981). Desde então, as políticas brasileiras são direcionadas ao controle dos níveis de ruído gerado por atividades urbanas: tráfego, construção e atividades recreativas.

Portanto, assim como as regulamentações federais, as municipais também são insuficientes quando o assunto é o controle de ruídos em prol da melhoria da qualidade acústica das moradias. Assim, resta ao projetista e aos usuários recorrer às normas técnicas na busca por critérios e limites de ruídos nas habitações.

Atualmente, o Brasil possui três normas que tratam especificamente de ruídos em habitações: NBR 10151 (ABNT, 2000), com a temática do respeito ao ruído comunitário, que trata dos procedimentos para a avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade; NBR 10152 (ABNT, 1987), que normatiza níveis de ruído para o conforto acústico; e a NBR 15575 (ABNT, 2013), que trata do desempenho em edificações habitacionais. Esta última não trata exclusivamente de acústica, é uma norma que aborda a questão do desempenho das residências de uma forma geral, englobando critérios de segurança (desempenho mecânico, segurança contra incêndio, segurança no uso e operação), de habitabilidade (estaqueidade, desempenho térmico e acústico, desempenho lumínico, saúde, higiene e qualidade do ar, funcionalidade e acessibilidade, conforto tátil) e de sustentabilidade (durabilidade, manutenibilidade e adequação ambiental) (CBIC, 2013).

– NBR 10151 (ABNT, 2000)

A NBR 10151, publicada em dezembro de 2000, trata de procedimentos para a avaliação do ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade, especificando um método para a medição de ruído, a aplicação de correções nos níveis medidos e uma comparação dos níveis corrigidos, além de estabelecer valores do “Nível Critério de Avaliação para ambientes externos” para diferentes tipos de áreas de uso de solo, independente de reclamações (ABNT, 2000).

No item referente às medições de ruído, é feita a recomendação do uso de medidor de pressão sonora em acordo com a IEC 60651 (1979), para os tipos 0,1 ou 2, para medir os níveis sonoros, utilizando a escala de compensação A e a resposta de leitura rápida. Tais valores devem ser medidos no local e hora de ocorrência do incômodo. Determina ainda que deve ser feita a calibração para verificar o ajuste do medidor, antes e depois do conjunto de medições, usando um calibrador acústico em conformidade com a IEC 60942 (2003), sendo de classe 2 ou superior. Tanto o medidor, quanto o calibrador devem ser certificados pelo INMETRO.

Pesquisas comprovaram que o ouvido humano não é igualmente sensível a todas as frequências, sendo mais sensível à faixa de frequência entre 2kHz e 5kHz (GERGES, 2000). O autor apresenta ainda circuitos eletrônicos de sensibilidade variável com a frequência que modelam o comportamento do ouvido humano: os filtros A, B, C e D. O filtro A aproxima-se das curvas de igual audibilidade para baixos Níveis de Pressão Sonora (NPS), através de correções por faixa de frequência (Tabela 11).

Tabela 11- Filtro de compensação A para bandas de oitava

Frequência (Hz)	Filtro
125	-16
250	-9
500	-3
1000	0
2000	+1
4000	+1

Fonte: Adaptado de Gerges (2000)

Salvo alguns casos específicos, as medições externas devem ser feitas a 1,2m acima do solo e a, no mínimo, 1,5m das paredes, evitando a influência de sons indesejáveis. Já naquelas efetuadas em ambientes internos, o medidor deve distar, no mínimo, 1m das paredes, 1,2m acima do piso e a 1,5m da janela, a qual deverá estar aberta, a não ser que o ambiente seja comumente usado com ela fechada. Nesse caso, para evitar distorções de ondas estacionárias, devem ser adotados, no mínimo, três pontos de medição, distantes 0,5m uns dos outros, e, em seguida, deverá ser feita uma média aritmética desses valores.

- NBR 10152 (ABNT, 1987)

A NBR 10152 (ABNT, 1987), estabelece os níveis de ruído para conforto acústico em ambientes diversos. Ela apresenta uma tabela com dois parâmetros para a avaliação do conforto acústico dos usuários para cada tipo de ambiente: níveis de pressão sonora ponderados em A, em dB (A); e a curva NC, em dB, que são valores obtidos a partir das curvas de avaliação de ruído ou “Curvas de Critério de Ruído Balanceadas”, representadas graficamente na NBR 10152 (ABNT, 1987).

Bistafa (2006) afirma que essas curvas foram criadas em 1957 para limitar os níveis de ruído em ambientes de ocupação humana. Seu método de utilização consiste em medir o nível de ruído em determinado ambiente nas bandas de oitava de 63Hz a 8000Hz e plotar os resultados sobre as curvas NC. A curva NC imediatamente acima do nível plotado mais elevado é a que classifica o nível de ruído do ambiente.

A norma apresenta uma tabela mostrando os valores recomendados para vários tipos de ambientes. Os valores inferiores representam o nível para conforto e os superiores, aqueles aceitáveis para cada caso. Na Tabela 12 são apresentados os limites estabelecidos para residências, o foco deste trabalho.

Tabela 12- Valores dos níveis de ruído em dB (A) e NC para residências

LOCAIS	dB (A)	NC
Dormitórios	35-45	30-40
Salas de Estar	40-50	35-45

Fonte: Adaptado de NBR 10152 (ABNT, 1987)

Assim, para avaliações de ruídos no interior das edificações, a norma brasileira que servirá de base será a NBR 10152 (ABNT, 1987), com os limites de ruído de fundo para determinados ambientes internos na edificação, não mencionando, porém, o desempenho dos elementos e sistemas construtivos.

- NBR 15575 (ABNT, 2013)

As normas de desempenho, ao contrário das normas tradicionais, definem as propriedades que devem ser exigidas dos diferentes elementos da construção, independentemente dos materiais que os compõem, tendo como objetivo atender as necessidades da construção (CBIC, 2013).

Ela passou por um processo de revisão e sua nova versão entrou em vigor a partir de 19 de julho de 2013, sob o título de “Edifícios habitacionais – Desempenho” (ABNT, 2013). Não é uma norma completa, já que não contempla uma série de elementos e sistemas relativos às habitações, tais como condicionamento de ar, telecomunicações, elevadores, segurança, automação predial, dentre outros. Porém, representa um grande avanço no que se refere ao desempenho das construções e será uma grande aliada para os diversos atores do processo construtivo, principalmente para os projetistas e os usuários.

Suas determinações se aplicam a edificações habitacionais com qualquer número de pavimentos, apesar de, em seu texto, indicar que é aplicável somente para edificações de até cinco pavimentos. Ela não se aplica a: obras finalizadas, assim como a edificações já existentes; obras em andamento na data da entrega em vigor da norma; projetos protocolados nos órgãos competentes até a data da entrada em vigor da norma; obras de reformas ou *retrofit*; edificações provisórias (CBIC, 2013).

A NBR 15575 (ABNT, 2013) segue os modelos internacionais de desempenho, apresentando requisitos e critérios de desempenho e métodos de avaliação para cada necessidade do usuário e condição de exposição. De acordo com esses requisitos, ela foi dividida em seis partes (ABNT, 2013):

- Parte 1 – Requisitos gerais;
- Parte 2 – Requisitos para os sistemas estruturais;
- Parte 3 – Requisitos para os sistemas de pisos;
- Parte 4 – Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas (SVVIE);
- Parte 5 - Requisitos para os sistemas de coberturas; e
- Parte 6 - Requisitos para os sistemas hidrossanitários.

Na área da acústica, a Norma estipula critérios para a atenuação dos ruídos de impactos de piso e para o isolamento ao som aéreo dos pisos, fachadas e coberturas, além do isolamento de paredes geminadas entre unidades habitacionais autônomas e de paredes divisórias entre áreas privativas e comuns nos edifícios multifamiliares. Em relação aos níveis toleráveis de ruído no interior da habitação para fontes externas e internas ela faz referência aos limites estabelecidos nas normas NBR 10151 (ABNT, 2000) e NBR 10152 (ABNT, 1987), respectivamente.

Essa norma estabelece níveis mínimos de desempenho (M), que devem ser atendidos obrigatoriamente pelos elementos e sistemas que compõem a construção. Apresenta ainda outros dois níveis facultativos: intermediário (I) e superior (S). De acordo com Michalski (2011), essa classificação tem como objetivo possibilitar uma melhora na qualidade da edificação e uma análise da relação custo/benefício por parte dos usuários, de modo que um cidadão ao comprar um imóvel classificado com (S) saiba que está pagando mais caro por uma edificação de melhor desempenho acústico. Também são expostos valores de referência para diferentes elementos ou sistemas construtivos.

Michalski (2011) afirma que o edifício habitacional deve apresentar condições de conforto e privacidade acústica aos seus ocupantes, de maneira que a comunicação verbal não seja transmitida entre ambientes adjacentes, através do isolamento sonoro adequado entre os ambientes internos e das vedações externas com relação aos ruídos aéreos externos à habitação.

Esta norma apresenta ainda três métodos para a avaliação do isolamento sonoro aéreo, sendo dois para medições de campo e um para ensaios em laboratórios (ABNT, 2013):

- Método de engenharia: é associado à medição do tempo de reverberação e é considerado o método mais rigoroso para verificações do som em campo. Utiliza valores em bandas de terço de oitava entre 100Hz e 3150Hz ou em bandas de oitava entre 125Hz e 2000Hz. Ele é descrito para fachadas na norma ISO 140-5 (1998) e para paredes internas na norma ISO 140-4 (1998).
- Método de avaliação simplificado: também usado em medições em campo, mas é indicado para os casos em que não há instrumentos para a medição do tempo de reverberação ou quando o ruído de fundo não permite obter esse parâmetro. O resultado será uma estimativa e será restrito somente às medições efetuadas. Esse método é descrito na ISO 10052 (2004);
- Método de precisão: permite determinar o isolamento sonoro de componentes e elementos construtivos com precisão, o que permite que esses dados sirvam como referência para o desenvolvimento de projetos. Os valores são obtidos em ensaios de laboratórios.

Dos parâmetros acústicos apresentados na norma, três serão empregados neste estudo, os quais são apresentados na Tabela 13 e detalhados a seguir.

Tabela 13- Parâmetros acústicos de verificação

Símbolo ²	Descrição	Norma	Aplicação
R_w	Índice de Redução Sonora Ponderado	ISO 140-2 ISO 717-1	Componentes, em laboratório
$D_{nT,w}$	Diferença Padronizada de Nível Ponderada	ISO 140-4 ISO 717-1	Vedações verticais e horizontais internas, em edificações (paredes, etc.)
$D_{2m,nT,w}$	Diferença Padronizada de Nível Ponderada a 2 m de distância da fachada	ISO 140-5 ISO 717-1	Fachadas, em edificações; Fachadas e coberturas em casas térreas e em sobrados

Fonte: NBR 15575 (ABNT, 2013)

Para este estudo, o qual é baseado em medições de campo, serão adotadas as diferenças de níveis ($D_{nT,w}$ e $D_{2m,nT,w}$) e não os índices de redução sonora (R_w), os quais serão citados, porém, na comparação do desempenho acústico dos materiais empregados nas partições analisadas. Seguem as tabelas 14, 15, 16 e 17 com os valores de referência para avaliações de isolamento sonoro ao ruído aéreo, tanto para ensaios em laboratórios, quanto para medições em campo, as quais foram separadas de acordo com as partições em análise: paredes entre ambientes e fachadas.

² Como as normas ISO não possuem versão em português, foram mantidos os símbolos originais.

- Paredes entre ambientes

A norma apresenta valores de referência para avaliações do isolamento sonoro ao ruído aéreo em paredes entre ambientes realizadas através de ensaios de laboratório e de medições em campo. São testados em laboratório componentes, elementos e sistemas construtivos aplicados em paredes de vedação entre ambientes contíguos (Tabela 14).

Tabela 14- Índice de redução sonora ponderado, R_w , de componentes construtivos utilizados nas vedações entre ambientes, para ensaios em laboratório

Elemento	R_w (dB)	Nível de desempenho
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação) nas situações onde não haja ambiente dormitório	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥ 55	S
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação) no caso de, pelo menos, um dos ambientes ser dormitório.	50 a 54	M
	55 a 59	I
	≥ 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
	≥ 55	S
Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, tais como corredores e escadaria dos pavimentos.	35 a 39	M
	40 a 44	I
	≥ 45	S

Fonte: CBIC (2013)

Nas medições em campo, a verificação de procedimento pode ser feita pelo método de engenharia ou pelo simplificado, com portas e janelas fechadas e com resultados restritos ao sistema verificado. Os limites para o método de engenharia são estabelecidos na Tabela 15.

Tabela 15- Diferença padronizada de nível ponderada entre ambientes, $D_{nT,w}$ – Método de engenharia

Elemento	$D_{nT,w}$ (dB)	Nível de desempenho
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação) nas situações onde não haja ambiente dormitório	40 a 44	M
	45 a 49	I
	≥ 50	S
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação) no caso de pelo menos um dos ambientes ser dormitório	45 a 49	M
	50 a 55	I
	≥ 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
	≥ 50	S
Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, tais como corredores e escadaria dos pavimentos.	30 a 34	M
	35 a 39	I
	≥ 40	S

Fonte: NBR 15575 (ABNT, 2013)

- Fachadas

Os valores de referência para avaliações de isolamento sonoro ao ruído aéreo de fachadas são apresentados pela NBR 15575 (ABNT, 2013) também em tabelas separadas pelo método de avaliação adotado: ensaios em laboratório e medições em campo. Em laboratório são realizados testes em componentes, elementos e sistemas construtivos utilizados para fachadas (paredes, janelas, paredes com janelas, entre outros), chegando aos valores de referência da Tabela 16.

Tabela 16- Índice de redução sonora ponderado, R_w , de fachadas, para ensaios em laboratório

Classe de ruído	Elemento	R_w * (dB)	Nível de desempenho
I	Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas	≥ 25	M
		≥ 30	I
		≥ 35	S
II	Habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e II	≥ 30	M
		≥ 35	I
		≥ 40	S
III	Habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, desde que esteja de acordo com a legislação.	≥ 30	M
		≥ 35	I
		≥ 40	S

(*) valores aproximados/ ordem de grandeza para potencial atendimento na situação real de campo
Fonte: CBIC (2013)

Em campo, podem ser avaliadas fachadas e coberturas, aplicando os procedimentos nas medições em dormitórios com portas e janelas fechadas, fazendo comparações com os valores de referência apresentados na NBR 15575 (ABNT, 2013), os quais podem ser visualizados na Tabela 17.

Tabela 17- Diferença padronizada de nível ponderada da vedação externa, $D_{2m,nT,w}$ para ensaios de campo

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

Fonte: NBR 15575 (ABNT, 2013)

Nota 1 – Para vedação externa de salas, cozinhas, lavanderias e banheiros não há requisitos específicos.

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

2.3.2.2 Critérios internacionais

As principais normas internacionais que tratam das questões acústicas, principalmente às referentes ao isolamento de ruídos aéreos e de piso, e aos métodos de medições, são: a ISO 140-4 (1998), que apresenta procedimentos para medições em campo do isolamento sonoro entre divisórias internas; a ISO 140-5 (1998), que descreve o método para as medições de campo do isolamento sonoro de elementos de fachadas e de fachadas; a ISO 717-1 (1996), que expõe métodos para a obtenção de um valor global para o isolamento sonoro em edificações e em elementos de edificações para ruídos aéreos; e a ISO 3382 (1997) com os métodos de medição do tempo de reverberação em salas com referência a outros parâmetros acústicos.

As normas brasileiras, por não apresentarem ainda determinações de métodos de medição, fazem referência a normatizações internacionais quando se trata desse assunto. No caso das medições de isolamento sonoro ao ruído de divisórias internas, elas adotam as normas ISO 140 (1998), para os métodos de engenharia em campo e de precisão em laboratório.

O grupo das ISO 140 é dividido em diversas partes, todas referentes à acústica, sendo que, por abordarem temas relativos à temática estudada, as partes que serão detalhadas são as 4 e 5. A seguir são listadas as dez primeiras partes desse grupo:

- ISO 140-1 – trata de especificações referentes a laboratórios que trabalham com medições de isolamento sonoro em elementos de edificações;
- ISO 140-2– especifica procedimentos para a obtenção da incerteza em medições acústicas descritas nas ISO 104-3 a ISO 104-9, devido às diversas influências sobre os sistemas;
- ISO 140-3 – especifica os métodos de laboratório para as medições de isolamento de ruído aéreo de elementos de edificações, como paredes, pisos, janelas, elementos de fachadas e fachadas, com exceção daqueles classificados como pequenos elementos de edificações;
- ISO 140-4– tratados métodos de medições em campo de isolamento de ruído aéreo de partições interiores: paredes, pisos e portas entre dois ambientes;

-
- ISO 140-5– especifica dois métodos para as medições de isolamento de som aéreo em elementos de fachada e nas fachadas por completo, respectivamente: o método do elemento e o método global;
 - ISO 140-6– determina métodos de laboratório para medição de transmissão de ruído de impacto através de pisos usando um equipamento padrão: a “*tapping machine*”;
 - ISO 140-7– descreve os métodos de medição em campo de transmissão de ruído de impacto através de pisos de edificações, tanto os pisos sem revestimento, como com revestimentos, usando um equipamento padrão: a “*tapping machine*”;
 - ISO 140-8– medições em laboratório da redução do ruído de impacto transmitido por revestimentos de piso em pisos padrão com peso elevado;
 - ISO 145-9– descreve um método de laboratório para medição de isolamento de ruído aéreo de forros suspensos com um plenum de altura definida instalado sobre uma barreira acústica que separa dois ambientes;
 - ISO 140-10– determina um método de medição em laboratório para medição de isolamento de ruído aéreo em condições de campo difuso para os pequenos elementos de edificações.

A norma ISO 717 (1996) tem como objetivo normatizar um método por meio do qual os índices de isolamento em função da frequência possam ser traduzidos em um número único, caracterizando o desempenho acústico da edificação ou de um elemento de um edifício. Para avaliações em edificações, esse número único é baseado em resultados de medições em um terço de oitava ou em bandas de oitava. Ela é dividida em duas partes:

- ISO 717-1 – essa norma é relativa a medições de isolamento aéreo em edificações e em seus elementos (pisos, paredes, janelas e portas), conforme as partes 3, 4, 5, 9 e 10 da ISO 140, e pode ser aplicada para fontes sonoras internas às edificações e para ruídos de tráfego externos, sendo essa a adotada para esta dissertação;
- ISO 717-2 – norma que trata das medições de isolamento de ruído de impacto em edificações e em seus elementos (pisos, paredes, janelas e portas), de acordo com as partes 6,7 e 8 da ISO 140;

Como este trabalho não trata de ruído de impacto, será feita a descrição apenas da primeira parte da norma 717 (1996).

- ISO 140-4 (1998)

A ISO 140-4 (1998) descreve o método de medição em campo, em função da frequência, das propriedades de isolamento de ruído aéreo de divisórias (paredes, pisos e portas internas) entre dois ambientes submetidos a um campo sonoro difuso para determinar a proteção sonora necessária aos usuários da edificação.

De acordo com essa norma, as medições de isolamento de ruído aéreo devem ser feitas em frequências de um terço de banda de oitava, a não ser no caso de terem sido acordadas medições em bandas de oitava. Sendo que os resultados obtidos para o número único, ao serem convertidos, não podem ser comparados aos que foram feitos a partir de medições em 1/3 de oitava com os de 1/1 oitava.

Recomenda que na sala emissora o som gerado seja estacionário e tenha um espectro contínuo, como o ruído branco, por exemplo. No caso do uso de filtros, o recomendado é o de um terço de banda de oitava, mas caso a escolha seja pela banda de oitava, por exemplo, devem ser feitos ajustes no espectro, principalmente nas altas frequências na sala receptora. Independente da banda de frequência escolhida, o espectro sonoro na sala onde a fonte se encontra não deve ter diferenças de níveis superiores a 6dB entre as bandas de um terço de oitava mais próximas.

A potência sonora deve ser suficientemente alta para que o nível de pressão sonora na sala receptora seja, no mínimo, 10dB maior que o ruído de fundo em qualquer banda de frequência. Se isso não ocorrer, devem ser aplicadas correções nas seguintes condições:

- Se a diferença entre o nível de pressão sonora na sala receptora (L_2) e o de ruído de fundo (B_2) for menor que 6dB ($L_2 - B_2 < 6\text{dB}$): subtrair 1,3dB de L_2 ;
- Caso a diferença entre o nível de pressão sonora e o de ruído de fundo fique entre 6dB e 10dB ($6\text{dB} < L_2 - B_2 < 10\text{dB}$): usar a fórmula da equação 7 para a correção:

$$L = 10 \log (10^{L_{sb}/10} - 10^{L_b/10}) \quad \text{Eq (7)}$$

Onde:

L = nível de sinal ajustado (dB);

L_{sb} = nível de sinal e o ruído de fundo combinados (dB);

L_b = nível de ruído de fundo (dB)

Deve ser medido o nível de ruído de fundo dos ambientes para garantir que as medições nos ambientes receptores não sejam afetadas por sons indesejáveis, como aqueles externos aos ambientes de medição, entre outros.

A Norma recomenda que, quando houver apenas uma fonte sonora, ela deve ser operada em, pelo menos, duas posições. Se os ambientes apresentam volumes diferentes, a maior deve ser escolhida como sala emissora.

O alto-falante deve ser posicionado de forma abrigada, de modo a gerar um campo sonoro o mais difuso possível. Também deve ser mantida certa distância em relação aos elementos de separação, evitando a influência de transmissão lateral e com o aumento indesejável de flutuações no nível dentro da sala emissora. Isso mostra que o tipo e a posição da fonte sonora têm forte influência sobre o campo sonoro dos ambientes.

A ISO 140-4 (1998) estabelece distâncias mínimas e outros requisitos para o posicionamento do microfone, de modo a garantir que ele fique fora da área de atuação da radiação do som direto (Tabela 18):

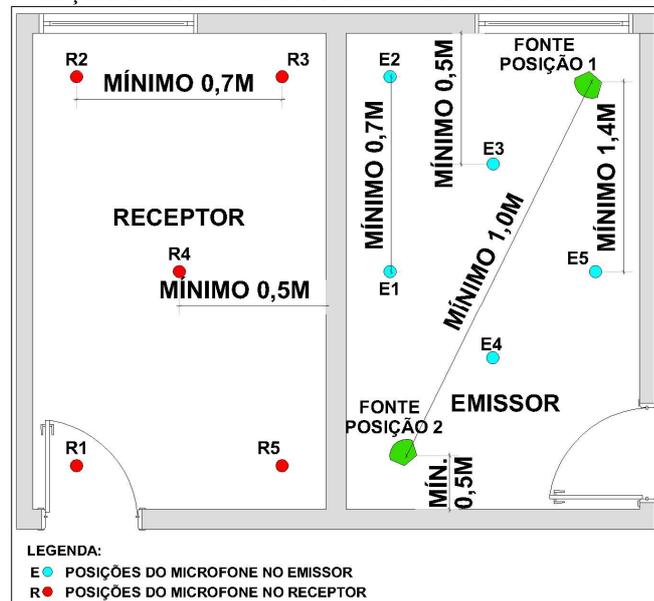
Tabela 18- Distâncias mínimas exigidas pela ISO 140-4 para medições de isolamento sonoro aéreo entre salas

Situações	Distância mínima (m)
Entre as posições de microfone	0,7
Entre diferentes posições das fontes sonoras	0,7
Entre qualquer posição do microfone e os limites dos ambientes (quaisquer superfícies)	0,5
Entre o centro da fonte sonora e os contornos da sala	0,5
Entre o microfone e a fonte sonora	1,0
Entre pelo menos duas posições de fonte sonora	1,4

Fonte: ISO 140-4 (1998)

O microfone fixo deve ser posicionado em, no mínimo, cinco posições diferentes distribuídas dentro das salas, e, pelo menos, duas posições de fonte sonora na sala emissora, resultando em dez medições (Figura 42), a quantidade mínima de acordo com a norma. Para cada ponto de posição do microfone, a média do tempo de medição deve ser de 6s em cada banda de frequência com frequência central inferior a 400Hz. Para bandas com frequências centrais superiores é possível reduzir esse tempo, mas nunca abaixo de 4s.

Figura 42 – Planta baixa com o esquema do posicionamento do microfone (medidor) e da fonte (alto-falante) nas medições de isolamento sonoro de ruído aéreo entre recintos



Fonte: Arquivo pessoal (2014)

O alto-falante (fonte sonora) não deve ser posicionado no mesmo plano paralelo aos limites do ambiente, como as paredes por exemplo. É uma prática comum o posicionamento da fonte nos cantos dos ambientes (Figura 42).

Para a medição do tempo de reverberação da sala receptora a ISO 140-4 (1998) determina que o número mínimo de medições de decaimento sonoro para cada banda de frequência é seis, com, pelo menos, uma posição da fonte sonora e três do microfone são necessárias, com duas leituras em cada caso.

A norma apresenta certa preocupação com a precisão dos resultados obtidos através do método de medição que descreve e cita que o procedimento de medição:

“deve dar repetitividade satisfatória, determinada de acordo com o método dado na ISO 140 parte 2 e deve ser verificado de tempos em tempos, particularmente quando uma mudança é feita no procedimento ou instrumentação”.

- ISO 140-5 (1998)

A ISO 140-5 (1998) estabelece os métodos para medições de campo de isolamento sonoro aéreo de elementos de fachadas e de fachadas. Nela são apresentados dois métodos de medição:

- Método de elemento: adotado para estimar o índice de redução sonora do elemento da fachada, utilizando fonte sonora artificial ou o ruído disponível. Pode ser utilizado para comparar os resultados com aqueles obtidos em laboratório;
- Método Global: esse método é usado para estimar a diferença do nível sonoro exterior/ interior nas condições atuais do tráfego avaliado. Segundo essa norma, é o mais preciso dos métodos e usa o tráfego como fonte sonora, mas permite também o uso de um alto-falante como fonte sonora artificial. Nesse caso seria o método adequado para avaliar o desempenho de toda a fachada (isolamento acústico aéreo), pois produz a redução real de uma fachada de um determinado local em relação a uma posição de 2m na frente da fachada. Não pode ser comparado com resultados de laboratórios.

A ISO 140-5 (1998) descreve os equipamentos que deverão ser usados nas medições:

- Microfone: com diâmetro mínimo de 13 mm. O raio de curvatura dos microfones móveis deverá ser de 0,7m;
- Medidor do nível de pressão sonora (NPS): deverão ser de classe 0 ou 1 do IEC 60651 (1979) ou IEC 60942 (2003);
- Filtros (de 1/3 de oitava e de oitava de banda): de acordo com a IEC6126-0 (1995);
- Medidor do tempo de reverberação: deve adequar-se aos requisitos da ISO 354 (2003), no caso de medições em laboratório;
- Alto-falante: ele deve ser direcionado de modo que as diferenças locais do nível de pressão sonora em cada banda de frequência de interesse sejam inferiores a 5dB. No caso de espécies de teste com dimensões superiores a 5 metros, a diferença de 10dB é aceita. São necessárias, no mínimo, cinco posições de microfone distribuídas pela sala receptora. Os valores mínimos de distâncias de separação são listados na Tabela 19.

Tabela 19- Distâncias mínimas exigidas pela ISO 140-5 para medições na sala receptora

Situações	Distância mínima (m)
Entre diferentes posições de microfone	0,7m
Entre qualquer posição de microfone e contornos da sala (quaisquer superfícies na sala como paredes, teto, pisos, móveis, objetos ou difusores)	0,5m
Entre qualquer posição de microfone e fonte sonora	1,0m

Fonte: ISO 140-5 (1998)

O nível de pressão sonora médio da sala receptora pode ser medido com: um microfone fixo; movendo-o para cada ponto de medição; com vários microfones fixos, um em cada ponto, formando uma malha; ou com um microfone sendo deslocado continuamente.

Dos parâmetros abordados na norma, os que têm o alto-falante como fonte sonora são:

–Diferença de nível ($Dls,2m$): é expressa para cada banda de frequência, é a diferença entre o nível de pressão sonora médio do lado de fora a 2m da fachada ($L1,2m$), e o nível de pressão sonora médio na sala receptora ($L2$). Seu cálculo é feito através da equação 8:

$$Dls,2m = L1,2m - L2 \text{ (dB)} \quad \text{Eq (8)}$$

–Diferença padronizada de nível ($Dls,2m,nT$): também é expressa para cada frequência, corresponde à diferença de nível correspondente a um valor de referência do tempo de reverberação na sala receptora ($T_0 = 0,5$ s). O cálculo é feito conforme fórmula da equação 9:

$$Dls,2m,nT = Dls,2m + 10\log(T/T_0) \text{ (dB)} \quad \text{Eq (9)}$$

–Diferença normalizada de nível ($Dls,2m,n$): é a diferença de nível correspondente a uma área de absorção de referência na sala receptora ($A_0=10\text{m}^2$), dada pela equação 10:

$$Dls,2m,n = Dls,2m + 10\log(A/A_0) \text{ (dB)} \quad \text{Eq (10)}$$

Onde: A = Área equivalente de absorção da sala de recepção (m^2)

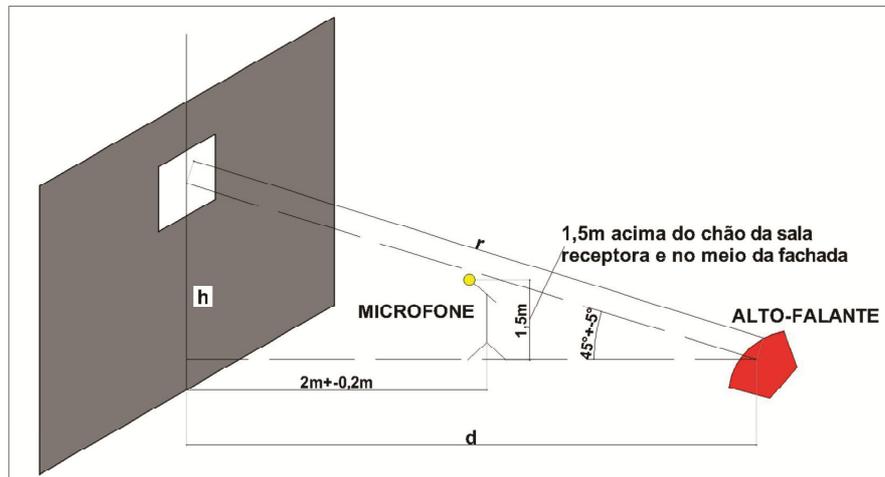
A_0 = Área equivalente de absorção de referência (m^2), sendo $A_0 = 10 \text{ m}^2$ para ambientes em edificações

A norma recomenda que, para medições que utilizem frequências em 1/3 de oitava com bandas de frequências centrais de, pelo menos, 100Hz a 3150Hz, sejam utilizadas frequências entre 50Hz e 5000Hz. Já para as que utilizem frequências em oitava de bandas com frequências centrais de, pelo menos, 125Hz a 2000Hz, deve-se dar preferência a frequências de 63Hz a 4000Hz. A diferença entre os NPS obtidos em frequências de 1/3 de oitava e nos de oitava de banda devem ser iguais ou inferiores a 6dB em 125Hz, 5dB em 250Hz e 4dB em bandas maiores de frequências centrais. O nível de pressão sonora do alto-falante deverá ser alto o suficiente para produzir um ruído de fundo no ambiente com nível de pressão sonora (NPS) maior que 6dB (ISO, 1998).

No método global com alto-falante, o adotado neste estudo, de acordo com a norma ISO 140-5 (1998), nas medições, o alto-falante deve ser posicionado do lado de fora do ambiente de análise, a uma distância “d”, desde que o ângulo de incidência sonora seja de 45°, podendo variar em 5° para mais ou para menos. Para esse método, a fonte sonora deve distar do centro da amostra em, pelo menos, 7m. O Nível de pressão sonora médio pode ser obtido a 2m na frente da fachada, no meio desta, para se obter o nível de pressão sonora $L1,2m$. O microfone deve estar a uma distância de 2,0m, podendo variar 0,2m, para mais ou para menos, do plano

da fachada ou a 1,0 m de um balaústre ou outra protrusão similar e sua altura no lado de fora deve ser 1,5 m acima do nível do chão da sala receptora. A Figura 43 mostra um esquema de posição com esses distanciamentos especificados na norma.

Figura 43- Posicionamento do medidor de pressão sonora nas medições de isolamento sonoro aéreo de fachada com alto-falante



Fonte: ISO 140-5 (1998)

Nas medições no ambiente receptor, deve-se posicionar o microfone em, no mínimo, cinco pontos distintos, com espaçamento uniforme, com as seguintes distâncias mínimas: 0,7m entre os pontos do microfone; 0,5m do perímetro do ambiente ou de demais objetos; 1,0m entre qualquer posição do microfone e a fonte sonora.

A norma alerta ainda a importância de se medir o ruído de fundo dos ambientes para evitar interferências, reforçando ainda o método de correção explicitado na ISO 140-4 (1998) para situações em que a diferença do nível de pressão sonora da sala receptora e o do ruído de fundo seja inferior a 10dB.

- ISO 717-1 (1996)

O número único para avaliação de isolamento sonoro aéreo é definido como o valor, em dB, da curva de referência na frequência de 500Hz após seu deslocamento de acordo com o método especificado nesta norma ISO 717-1 (1996). Os termos e os símbolos adotados para os parâmetros em análise, com as respectivas normas de referência, são listados na Tabela 20.

Tabela 20- Número único de isolamento sonoro aéreo de edificações com os termos e os símbolos de cada parâmetro

Quantidade de número único	Termos e símbolos	Definida em:
Índice de redução sonora aparente ponderada $R'w$	Índice de redução sonora aparente, R'	ISO 140-4: ____
Diferença padronizada de nível ponderada, $D_{nT,w}$	Diferença padronizada de nível, D_{nT}	ISO 140-4: ____
Diferença padronizada de nível ponderada, $D_{ls,2m,nT,w}$ ou $D_{tr,2m,nT,w}$	Diferença padronizada de nível, $D_{ls,2m,nT}$ ou $D_{tr,2m,nT}$	ISO 140-5: ____

Fonte: Traduzido de ISO 717-1 (1996)

Existem, segundo a ISO 717-1 (1996), duas abordagens mais comuns para a obtenção do índice global de isolamento do som aéreo: o método da curva de referência e o método da frequência de ponderação, como a “A”, por exemplo. O primeiro calcula o índice global comparando os valores das frequências de isolamento sonoro com uma curva de referência. Esse índice é obtido deslocando a curva B de referência e aplicando regras simples para, no final, determinar a posição final do índice na banda de frequência de interesse. Já o método de ponderação consiste na aplicação de filtros e, em seguida, no cálculo da média das bandas ponderadas.

Mondaca, Machimbarrena e Monteiro (2012) expõem as vantagens e desvantagens de cada um desses métodos. Segundo o autor, a maior vantagem da curva de referência é o seu processo simples de cálculo e o fato de comparar o desempenho de soluções construtivas com padrões acústicos ideais presentes na curva. Porém, sua principal limitação é sua forte dependência em relação às restrições dos desvios permitidos. Já o método da ponderação tem como vantagem sua flexibilidade na abrangência da faixa de frequência e na facilidade de estimar sua incerteza combinada, e sua principal limitação é a sua ampla média permissiva, a qual pode mascarar a frequência de isolamento mais fraca. Mas já foi comprovado que os dois métodos são equivalentes na avaliação de isolamento e têm a mesma fraqueza que é esconder as bandas de baixo isolamento através das bandas de alto isolamento. Ainda não há um consenso de qual método é mais apropriado para cada situação, mas o método das curvas de referência aparenta ser o menos adequado, devido ao seu alto desvio admitido (32dB), podendo esconder importantes defeitos em certas bandas de frequência (MONDACA; MACHIMBARRENA; MONTEIRO, 2012).

Para este trabalho será adotado o método da curva de referência, cujo procedimento para a obtenção do valor único ou índice ponderado de isolamento sonoro aéreo abrange os seguintes passos:

–PASSO 1: arredondar os resultados das medições para uma casa decimal, conforme as normas ISO 140 (1998).

–PASSO 2: comparar os valores obtidos de acordo com os valores de referência nas frequências de medição, entre 100Hz e 3150Hz, para bandas de frequência de um terço de oitava, e entre 125Hz e 2000Hz para bandas de frequência de oitava, conforme Tabela 21.

Tabela 21- Valores da curva de referência para isolamento sonoro em bandas de frequência de um terço de oitava e bandas de oitava

Freq. (Hz)	Valores de referência da curva para isolamento sonoro (dB)	
	Bandas de um terço de oitava	Bandas de oitava
100	33	
125	36	36
160	39	
200	42	
250	45	45
315	48	
400	51	
500	52	52
630	53	
800	54	
1000	55	55
1250	56	
1600	56	
2000	56	56
2500	56	
3150	56	

Fonte: Traduzido de ISO 717-1 (1996)

–PASSO 3: desloca-se a curva de referência relevante em intervalos de 1dB em direção à curva medida até que a soma dos desvios desfavoráveis seja a maior possível, sem ultrapassar 32dB (para medições em 16 bandas de um terço de oitava) ou 10dB (para medições em 5 bandas de oitava). Um desvio desfavorável de uma frequência específica ocorre quando os resultados das medições são inferiores aos valores de referência. Só os desvios desfavoráveis devem ser levados em consideração. Para avaliações em campo, os valores de referência em bandas de oitava só podem ser comparados com os resultados de medições em bandas de oitava.

–PASSO 4: após mover a curva, o valor único ou índice ponderado de isolamento sonoro aéreo será o valor, em dB, da curva de referência em 500 Hz.

A norma apresenta ainda o conceito do termo de adaptação do espectro, que consiste no valor, em decibels, a ser adicionado à avaliação do número único, levando em conta características particulares do espectro sonoro. São dois coeficientes: o coeficiente de

adaptação de espectro de ruído rosa (*C*) e o coeficiente de adaptação de espectro de ruído de trânsito (*C_{tr}*). Eles são calculados tendo como base dois espectros típicos fornecidos, ruído rosa (número 1) e ruído de tráfego (número 2), ponderados em A e com o nível de espectro total normalizado para 0dB, dentro dos intervalos de frequência citados anteriormente. Como os espectros da maioria das fontes usuais de ruído interno e externo estão na faixa dos espectros do ruído rosa e do ruído de tráfego, respectivamente, os coeficientes de adaptação *C* e *C_{tr}* podem ser usados para caracterizar o isolamento sonoro de outras fontes de ruído (MICHALSKI, 2011).

Segundo Michalski (2011), esses coeficientes servem para evitar a confusão entre diferentes índices ponderados com magnitudes parecidas e para avaliar curvas de isolamento sonoro com valores muito baixos numa única banda de frequência, os quais possuem validade limitada.

O conjunto de espectros sonoros em bandas de um terço de oitava e em bandas de oitava para calcular os termos de adaptação do espectro deve estar de acordo com a Tabela 22.

Tabela 22- Espectro de nível sonoro para calcular os coeficientes de adaptação

Espectro de nível sonoro–L_{ij} (dB)- para calcular os coeficientes de adaptação (dB)				
Frequência (Hz)	Espectro nº 1 para calcular C		Espectro nº 2 para calcular C _{tr}	
	1/3 de oitava	Oitava	1/3 de oitava	Oitava
100	-29		-20	
125	-26	-21	-20	-14
160	-23		-18	
200	-21		-16	
250	-19	-14	-15	1
315	-17		-14	
400	-15		-13	
500	-13	-8	-12	-7
630	-12		-11	
800	-11		-9	
1000	-10	-5	-8	-4
1250	-9		-9	
1600	-9		-10	
2000	-9	-4	-11	-6
2500	-9		-13	
3150	-9		-15	

Fonte: Adaptado de ISO 717-1 (1996).

A norma apresenta as fórmulas nas equações 11 e 12 para o cálculo dos termos de adaptação dos espectros *C* e *C_{tr}*:

$$C = X_{A,1} - X_w \quad \text{Eq (11)}$$

Onde:

$X_{A,1}$: caracteriza a diferença entre os níveis sonoros ponderados (A) da sala da fonte e da sala receptora, para o ruído rosa na sala com a fonte sonora;

X_w : é o valor do número único relevante, de acordo com a curva de referência

$$C_{tr} = X_{A,2} - X_w \quad \text{Eq (12)}$$

Onde:

$X_{A,2}$ caracteriza a diferença entre os níveis sonoros ponderados (A) da sala da fonte (ou ao ar livre em frente à fachada) e da sala receptora, para o ruído de tráfego;

X_w é o valor do número único relevante, de acordo com a curva de referência.

Para a avaliação do desempenho de elementos da edificação, deve-se calcular o valor do número único apenas para bandas de um terço de oitava. Na fórmula, devem ser colocados os dois termos de adaptação do espectro em parênteses após o valor do número único, separando-os por ponto e vírgula, conforme exemplo: $R_w (C, C_{tr}) = 41(0;-5)$ dB.

Já para o desempenho de edificações, é necessário seguir os procedimentos descritos anteriormente, adotando o número único obtido através da comparação com os valores de referência, ou adicionando a esse valor o termo de adaptação de espectro relevante. Nas medições de campo deve-se especificar se elas foram feitas em bandas de um terço de oitava ou em bandas de oitava, pois isso interfere no valor do número único, podendo variar em mais ou menos 1dB.

De acordo com Michalski (2011), caso o objetivo seja expressar também os valores de requisitos, deve-se apresentar a soma com o coeficiente de adaptação de espectro relevante, por exemplo: $R'_w + C_{tr} \geq 34$ dB (para fachadas) ou $D_{nT,w} + C \geq 38$ dB (entre residências). Ou seja, requisitos podem ser baseados apenas no valor ponderado X_w ou na soma ($X_w + C$) ou ($X_w + C_{tr}$).

Porém, esse método carece de simplificação para facilitar seu uso e a interpretação de seus resultados. Assim, com o objetivo de simplificar o cálculo do número único e sua incerteza, e proporcionar um índice mais robusto para ajudar a caracterizar melhor o isolamento acústico dos edifícios apesar da heterogeneidade do comportamento por frequência, nos últimos anos, surgiram discussões sobre a necessidade de revisar a ISO 717 (1996) (MONDACA; MACHIMBARRENA; MONTEIRO, 2012).

As principais justificativas encontradas na bibliografia foram: a definição das situações em que se deve adotar cada método de ponderação, como, por exemplo, a curva de referência da norma e a ponderação “A”; redução da quantidade de valores de número único para a

avaliação de edifícios e de elementos dos edifícios; facilitar o tratamento de isolamento sonoro aéreo e de impacto. Infelizmente não é possível considerar os efeitos subjetivos a partir dessa abordagem teórica.

A Tabela 20, mostrada anteriormente, e que relaciona as variedades de número único para propriedades do elemento do edifício e do próprio edifício, mostra apenas alguns exemplos da grande quantidade desses indicadores. Além disso, de acordo com Mondaca, Machimbarrena e Monteiro (2012), os índices de isolamento tradicionais geram ambiguidade nos resultados, já que elementos bem diferentes podem gerar o mesmo valor de número único. Assim, na proposta de revisão apresentada por Scholl (2012), foram definidos quatro campos de aplicação na acústica das edificações, para os quais a criação de números únicos específicos parecem valer a pena:

- Ruídos de vizinhança;
- Ruídos externos (a maioria, ruído de tráfego de rodovias);
- Fala humana;
- Ruído de impacto.

Como alternativa para facilitar o tratamento de isolamento sonoro aéreo e de impacto, a proposta é tratá-los de forma uniforme, deixando o sistema mais claro (SCHOLL, 2012). A revisão da ISO 717 (1996) gerou uma nova norma, a ISO 16717, que ainda está em elaboração.

É fundamental que os parâmetros nacionais de isolamento sonoro tenham relação com esse número único.

- ISO 3382 (1997)

As medições do tempo de reverberação são importantes para o controle de ruídos em salas, não somente auditórios ou salas de concertos, mas também em salas destinadas para a fala ou para a música e em ambientes onde se deseja fazer a proteção contra o ruído. A ISO 3382 (1997) pode ser aplicada nesses tipos de medições, não servindo, porém, para medições em laboratórios, como nas salas reverberantes.

A norma conceitua tempo de reverberação como o tempo, expresso em segundos, necessário para que o nível de pressão sonora decaia em 60dB. Alerta que a ocupação do ambiente interfere nos resultados. Ela estabelece procedimentos para a obtenção do tempo de reverberação a partir de dois métodos:

–Método de interrupção do ruído: obtém a curva de decaimento pela gravação direta do decaimento do nível de pressão sonora após a excitação de um ambiente com determinado ruído. Entende-se como curva de decaimento, a redução do nível de pressão sonora como uma função do tempo em um ponto da sala após a fonte sonora ser interrompida. Nesse procedimento, o ruído do altofalante deve ser derivado de uma banda larga aleatória, com um espectro semelhante ao do ruído rosa, ou de um ruído sem uma frequência repetitiva. A duração da excitação deve ser suficiente para que o campo sonoro atinja um estado estacionário antes de iniciar o decaimento, o que corresponde a poucos segundos. O número mínimo de medições é três para cada ponto, fazendo a média em seguida. Para medições em ambientes que não sejam salas de concertos ou salas para a fala, podem ser usadas bandas de um terço de banda de oitava com faixa de frequência entre 100Hz e 5kHz;

–Método da resposta impulsiva acústica: estabelece que a resposta ao impulso a partir de uma posição da fonte para uma posição do receptor em uma sala é uma quantidade bem definida, que pode ser medida de várias formas, como, por exemplo, a partir de uma excitação provocada por disparo de arma de fogo, rajada de ruídos, silvos, dentre outros. Resposta ao impulso consiste no nível de pressão sonora em função do tempo para um ruído recebido em uma sala como resultado da excitação dela. A excitação pode ser medida diretamente usando uma fonte impulsiva, como um tiro ou qualquer outra fonte que não seja reverberante por si só. O impulso da fonte tem que ser capaz de produzir um pico de nível de pressão sonora suficiente para garantir uma curva de decaimento começando, no mínimo, 45dB acima do ruído de fundo na banda de frequência correspondente.

Essa norma estabelece regras para a utilização dos equipamentos nas medições, tais como:

- Fonte: tem que ser o mais omnidirecional possível (que projeta para todos os lados) e produzir um nível de pressão sonora suficiente para gerar curvas de decaimento com o alcance dinâmico mínimo sem ser contaminada pelo ruído de fundo. Autofalantes domésticos não servem como fontes omnidirecionais;
- Microfones: microfones omnidirecionais devem ser usados para detectar a pressão sonora e os dados devem ser lançados diretamente para um amplificador, filtro e um sistema de visualização das curvas de decaimento, ou para um equipamento de análise para derivar as respostas impulsivas. Existe a possibilidade ainda de gravar o sinal para

análises futuras, nesse caso, deve-se obedecer às exigências desta norma para o equipamento de gravação.

– Equipamento de medição: deve ser do tipo 1, de acordo com a IEC 60651 (1979). Os filtros, de banda de oitava ou de um terço de banda de oitava, devem estar em conformidade com a IEC 6126-0 (1995). O microfone deve ser o menor possível, de preferência com um diafragma com diâmetro máximo de 13 mm.

Alguns critérios para as posições de medição são determinados pela ISO 3382 (1997)

– A distância de qualquer posição do microfone para as superfícies de reflexão mais próximas, incluindo o piso, deve ser, no mínimo, um quarto de um comprimento de onda, normalmente 1m;

– Nenhuma posição do microfone deve ficar muito perto da fonte para evitar influências muito fortes do som direto. A distância mínima (d_{\min}), em metros, pode ser calculada pela equação 13:

$$d_{\min} = \sqrt{V/cT} \quad \text{Eq (13)}$$

Onde: V: o volume (m^3)

c: a velocidade do som (m/s)

T: estimativa do tempo de reverberação desejado (s)

Cada par de medições é a combinação de uma posição de fonte e uma do microfone. O número de posições pode ser escolhido para o rendimento para uma cobertura baixa ou para uma normal:

- 1- A cobertura baixa é utilizada para medições que buscam quantificar a absorção da sala para controle do ruído. Devem ser adotadas duas posições da fonte em pontos representativos para o ambiente e obter a média dos resultados de três ou quatro posições do microfone em áreas onde as pessoas normalmente estão presentes ou no centro da plateia;
- 2- A cobertura normal é aplicada em medições de verificação do desempenho acústico de edificações a partir de um estudo preliminar de projeto. As posições da fonte devem ser distribuídas de modo a abranger todas as áreas que possam ser ocupadas pelo cantor (no caso de espaços para música) ou pelo autor do discurso, além de áreas do palco principal. No mínimo, duas posições da fonte, três ou quatro do microfone, o qual deve estar 1,2m acima do piso.

2.3.3 Procedimentos para avaliação do conforto acústico das edificações

O ser humano passa boa parte de suas vidas dentro de edifícios, seja para se abrigar, seja para trabalhar, ou para se divertir. Por isso, esses ambientes internos devem nos proporcionar um conforto de alta qualidade em seus diversos níveis.

Condições de bem-estar vêm da combinação de parâmetros termo-higrométrico-microclimáticos adequados: iluminação natural e artificial, uso de água e outros recursos, segurança e tecnologia, tudo isso aliado à questão acústica (COTANA; GORETTI, 2005).

Junto com a necessidade de verificar o atendimento aos limites de ruído, é importante quantificar o impacto do desempenho acústico na avaliação da qualidade e da sustentabilidade ambiental dos edifícios.

Duas importantes ferramentas que são aliadas na busca por construções sustentáveis e com melhor desempenho são a certificação e os “selos verdes”, pois informam ao usuário das características ambientais, de modo que eles possam controlar e, como consequência, exigir que os produtos ou serviços adotem medidas para reduzir os impactos causados ao meio ambiente e/ou critérios sociais em seu processo produtivo.

2.3.3.1 Certificados

Regulamentos relativos a construções em diversos países determinam requisitos mínimos referentes a condições acústicas em habitações. Como cumprimento legal, esses limites não garantem necessariamente condições satisfatórias para os ocupantes. Assim, diversos países têm introduzido esquemas de classificação que especificam critérios de classes para diferentes aspectos acústicos, nos quais cada classe representa um diferente nível de conforto acústico (COTANA; GORETTI, 2005).

Dessas propostas de classificação surgiram algumas certificações, que têm como objetivo estimar e comparar desempenhos de edificações, tornando-os parte da avaliação, junto com as considerações dimensionais, econômicas e estéticas, assim possibilitando alta qualidade e sustentabilidade nas construções. A necessidade do mercado de identificar a origem, o processo e a qualidade dos produtos, transmitindo maior confiança ao consumidor, demandou a criação de tal instrumento.

As certificações mais difundidas no Brasil são a LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) e o processo AQUA (Alta Qualidade Ambiental), porém, alguns

países têm desenvolvidos certificações, ainda pouco difundidas internacionalmente, voltadas para a avaliação do desempenho acústico de habitações, como a certificação italiana BGP (*Building Global Performance*). A seguir serão descritos os métodos de avaliação e os critérios adotados em cada uma dessas:

- LEED

O LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) é uma certificação americana aplicada pelo USGBC (*United States Green Building Council*) que leva em consideração o impacto que os processos relativos ao edifício, como o projeto, a construção e a operação, geram para o meio ambiente. Coelho (2010) afirma que esse sistema está em processo de adequação à realidade brasileira desde 2008, quando profissionais de alta capacidade técnica, entre eles professores acadêmicos, arquitetos, engenheiros, biólogos, consultores e profissionais do LEED se reuniram para analisar o modelo americano e propor ajustes para adaptá-lo às necessidades e às especificidades brasileiras.

A Certificação atua em diversas categorias, tendo como foco maior edificações não-residenciais, como prédios comerciais e escolas, por exemplo. Porém, o Green Building Council Brasil está desenvolvendo um referencial específico para casas sustentáveis, o “Referencial GBC Brasil Casa”, totalmente voltado para o mercado imobiliário residencial brasileiro, como forma de difundir parâmetros nacionais de sustentabilidade para residências unifamiliares ou multifamiliares (GBC BRASIL, 2013). O trabalho é dividido em comitês técnicos, cada um responsável por uma temática específica:

- Implantação
- Uso Racional da Água
- Energia e Atmosfera
- Materiais, Recursos e Sistemas
- Qualidade do Ambiente Interno
- Requisitos Sociais
- Processo de Inovação e Projetos
- Créditos Regionais

É no quesito Qualidade Ambiental Interna, que exige uma pontuação mínima de 18 pontos, que o crédito “Acústica” é avaliado. A habitação em avaliação receberá 1 ponto, dos 18, no caso de cumprir os requisitos de acústica exigidos: atender aos níveis máximos de

ruídos permitidos pela NBR 10152 (ABNT, 1987) (Tabela 23) através de estratégias de projeto, como a adoção de vedações e de isolamento acústico nas fachadas e nas partições internas, e a redução dos impactos e da propagação de ruídos em pisos. Tem como objetivo reduzir a propagação de ruídos externos e o efeito prejudicial que causam nos ambientes de maior permanência da residência (GBC BRASIL, 2013).

Tabela 23- Níveis máximos de ruídos permitidos

Ambiente	dB (A)	NC
Dormitórios	35 - 45	30 - 40
Salas de Estar	40 - 50	35 - 45

Fonte: GBC BRASIL (2013)

Onde:

dB (A) – Medição do nível sonoro

NC – Curvas de avaliação de ruído.

Os comitês são formados por profissionais da área, os quais analisam os critérios de avaliação da ferramenta LEED e sugerem as adequações necessárias. Eles indicam uma pontuação para cada um desses critérios, de acordo com o cumprimento ou não dos pré-requisitos e créditos da lista de checagem de cada tema. De acordo com a quantidade de pontos obtidos, é conferido um nível de certificação, sendo a inicial, nível certificado, a partir dos 40 pontos, e o nível platina, a certificação máxima, com 110 pontos (GBC BRASIL, 2013). O peso das melhorias acústicas na pontuação é mínima, já que os empreendimentos que atendem os requisitos acústicos recebem apenas 1 ponto por isso.

- AQUA (FCAV, 2013)

A Fundação Carlos Alberto Vanzolini (FCAV), é uma instituição sem fins lucrativos formada por professores de engenharia da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP), há mais de quinze anos certifica sistemas de gestão e produtos da construção civil (empreendimentos em construção ou em reabilitação), através de um processo que foi adaptado da “*Démarche HQE*”, da França: o processo Alta Qualidade Ambiental – AQUA (ALTA, 2013). Ele adota o conforto acústico como premissa de projeto e como boa prática comportamental para os usuários.

A Alta Qualidade Ambiental (AQUA) é um processo de gestão de projeto visando obter a qualidade ambiental de um empreendimento novo ou de uma reabilitação, promovendo a economia de recursos e integrando em um projeto global, de maneira harmoniosa, estética,

conforto e qualidade de vida (RIBEIRO; MICHALSKI, 2010). Estrutura-se em torno dos seguintes aspectos:

- Os empreendedores implementam um sistema de gestão ambiental;
- A habitação é adaptada a sua envolvente e ao seu entorno;
- Os empreendedores transmitem a informação aos compradores e usuários das habitações, de modo a estimular práticas mais eficientes do ponto de vista ambiental.

No ano de 2010, o padrão francês foi adaptado à realidade brasileira e foi publicada a primeira versão do Referencial Técnico de Certificação para edifícios habitacionais, a qual foi revisada em 2013, resultando na segunda versão publicada no mesmo ano (FCAV, 2013). O ruído faz parte da categoria de informações aos ocupantes sobre práticas de comportamento, junto com a gestão da energia, água, ar e armazenagem de resíduos (RIBEIRO; MICHALSKI, 2010). Nele estão listados os “deveres” dos usuários em prol da redução do ruído, deixando evidente a importância do comportamento dos ocupantes no que se refere ao conforto acústico nas habitações:

“Procurar reduzir as fontes de ruído provenientes da própria unidade habitacional (televisor, aparelhos de som, ferramentas, conversas, etc.). Respeitar os horários corretos, com relação à vizinhança, com vistas a minimizar os incômodos causados por certas atividades ruidosas, que algumas vezes têm que ser realizadas. Embora a unidade habitacional tenha desempenho acústico adequado, procurar não desempenhar atividades ruidosas, que devem ser realizadas em ambientes externos adequados (uso de instrumentos musicais ou realização de atividades manuais altamente ruidosas).” Referencial Técnico de Certificação – Edifícios habitacionais – Processo AQUA (2010)

O referencial técnico de certificação estrutura-se em dois instrumentos, baseado nos quais são feitas as avaliações de desempenho:

- Sistema de Gestão do Empreendimento - avalia o sistema de gestão ambiental implementado pelo empreendedor, permitindo o conjunto dos processos operacionais relacionados às fases de programa, concepção e realização da construção. O projeto e a construção devem basear-se nos seguintes fatores: a política do empreendedor, as exigências legais e regulamentares, as ocupações dos edifícios (funções), as necessidades e expectativas dos interessados, a análise do entorno e as restrições que este oferece e a avaliação dos custos do empreendimento, incluindo a operação;
- Qualidade Ambiental do Edifício - avalia o desempenho arquitetônico e técnico da construção para escritórios, edifícios escolares, hotéis e edifícios residenciais. Ele é estruturado em 14 categorias, que são agrupadas em quatro famílias, sendo as duas primeiras relativas ao gerenciamento de impactos sobre o ambiente exterior e a segunda

referente à criação de um espaço interior sadio e confortável. As questões relativas ao ruído são abordadas em três categorias deste instrumento: “relação do edifício com o seu entorno” (categoria 1); “canteiro de obras com baixo impacto ambiental” (categoria 3); e “conforto acústico” (categoria 9), conforme destaque na Tabela 24.

Tabela 24- Famílias e categorias do referencial da Qualidade Ambiental do Edifício

FAMÍLIA	CATEGORIA	
Sítio e Construção	1	Relação do edifício com o seu entorno
	3	Canteiro de obras com baixo impacto ambiental (Gestão)
Conforto	9	Conforto acústico

Fonte: Adaptado de FCAV (2013)

No instrumento Qualidade Ambiental do Edifício, o nível de desempenho é expresso em três níveis:

- BOM (B): desempenho mínimo aceitável para um empreendimento de Alta Qualidade Ambiental;
- SUPERIOR (S): correspondente ao das boas práticas.
- EXCELENTE (E): baseado em desempenhos máximos, possíveis de serem atingidos, constatados em empreendimentos de Alta Qualidade Ambiental.

Cada Referencial Técnico de Certificação se baseia em normas brasileiras vigentes para as categorias, na ausência de normativos brasileiros, são adotadas as normas e as regulamentações internacionais (RIBEIRO; MICHALSKI, 2010).

Cabe ao empreendedor definir quais categorias atingirão a classificação máxima, intermediária e mínima, dependendo do contexto e de sua estratégia de sustentabilidade. Para um empreendimento ser certificado, o empreendedor deve ter no mínimo três categorias no nível EXCELENTE e no máximo sete categorias no nível BOM.

A categoria 1 determina apenas que os incômodos sonoros do entorno devem ser levados em consideração. A categoria 3 estabelece que esses incômodos devam obedecer a limites, a partir das seguintes providências: sensibilização do pessoal do canteiro de obras; planejamento das atividades ruidosas; ligação à rede elétrica, evitando o uso de geradores; e adotar processos construtivos que evitem o uso de ferramentas equipamentos ruidosos. Em nenhuma dessas duas categorias há critérios objetivos de desempenho, mas as determinações da legislação local devem ser obedecidas (RIBEIRO; MICHALSKI, 2010).

A seguir, são expostos os parâmetros para a análise do desempenho na categoria 9, conforto acústico, que tem como base os níveis das partes 3 e 4 da Norma de Desempenho, a NBR 15575 (2013), para duas situações:

1- Conforto acústico entre a unidade habitacional e os outros locais de uma mesma edificação, que adota como parâmetros:

- Nível de pressão sonora ponderado do ruído de impacto ($L'_{nT,w}$): em salas de estar ou dormitórios, tendo como ambiente emissor outra sala de estar, outro dormitório, uma área de serviço, um hall interno, uma circulação comum ou um local com atividades não residenciais;
- Diferença padronizada de nível ponderado ($D_{nT,w}$): para medições em campo, de acordo com a ISO 140-4 (1998), avaliando o isolamento dos sistemas de piso entre unidades habitacionais;
- Diferença padronizada de nível ponderada entre ambientes ($D_{nT,w}$) e do Índice de redução sonora ponderado (R_w): avaliando os níveis de desempenho da vedação entre ambientes e dos seus elementos (Tabela 25);

Tabela 25- Níveis de desempenho da vedação entre ambientes representados pela diferença padronizada de nível ponderada entre ambientes $D_{nT,w}$ e pelo índice de redução sonora ponderado R_w dos elementos de vedação

EXIGÊNCIAS	NÍVEIS		
	B	S	E
Parede entre UH autônomas (parede de geminação), não havendo dormitório			
$R_w \geq 45$ dB	X	X	X
$D_{nT,w} \geq 40$ dB e $R_w \geq 45$ dB		X	X
$D_{nT,w} \geq 45$ dB e $R_w \geq 50$ dB			X
Parede entre UH autônomas (parede de geminação), sendo um dos ambientes um dormitório			
$R_w \geq 50$ dB	X	X	X
$D_{nT,w} \geq 45$ dB e $R_w \geq 50$ dB		X	X
$D_{nT,w} \geq 50$ dB e $R_w \geq 55$ dB			X
Parede cega de dormitórios entre uma UH e áreas comuns de trânsito eventual, tais como corredores e escadaria nos pavimentos			
$R_w \geq 45$ dB	X	X	X
$D_{nT,w} \geq 40$ dB e $R_w \geq 45$ dB		X	X
$D_{nT,w} \geq 45$ dB e $R_w \geq 50$ dB			X
Parede cega de salas e cozinhas entre uma UH e áreas comuns de trânsito eventual, tais como corredores e escadaria dos pavimentos			
$R_w \geq 35$ dB	X	X	X
$D_{nT,w} \geq 30$ dB e $R_w \geq 35$ dB		X	X
$D_{nT,w} \geq 35$ dB e $R_w \geq 40$ dB			X

Fonte: FCAV (2013)

2- Conforto acústico entre os cômodos principais e o exterior de uma construção, através da avaliação da diferença padronizada de nível ponderada da vedação externa ($D_{2m,nT,w}$) da fachada e da cobertura, no caso de casas térreas e sobrados, e somente fachada, nos edifícios com vários pavimentos; e do índice de redução sonora ponderado (R_w) das fachadas (Tabela 26).

Tabela 26- Nível ponderada da vedação externa ($D_{2m,nT,w}$) e pelo índice de redução sonora ponderado R_w das fachadas

EXIGÊNCIAS	NÍVEIS		
	B	S	E
Classe I Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas:			
$R_w \geq 25$ dB	X	X	X
$R_w \geq 25$ dB e $D_{2m,nT,w} \geq 20$ dB		X	X
$R_w \geq 30$ dB e $D_{2m,nT,w} \geq 25$ dB			X
Classe II - Habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III:			
$R_w \geq 30$ dB	X	X	X
$R_w \geq 30$ dB e $D_{2m,nT,w} \geq 25$ dB		X	X
$R_w \geq 35$ dB e $D_{2m,nT,w} \geq 30$ dB			X
Classe III - Habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, desde que esteja de acordo com a legislação:			
$R_w \geq 35$ dB	X	X	X
$R_w \geq 35$ dB e $D_{2m,nT,w} \geq 30$ dB		X	X
$R_w \geq 40$ dB e $D_{2m,nT,w} \geq 35$			X

Fonte: FCAV (2013)

A certificação do processo Aqua representa uma evolução em relação à Norma de Desempenho, já que relaciona mais de um parâmetro, ao combinar a diferença padronizada de nível ponderada ($D_{nT,w}$) com o índice de redução sonora ponderado (R_w) dos elementos que compõem as partições em análise.

- Proposta Ferreira Neto (2009)

Ferreira Neto (2009) apresenta uma proposta de avaliação de conforto acústico entre ambientes adjacentes, com partições (divisórias) tipicamente utilizadas em edifícios tradicionais. Nela, é feita a combinação do desempenho da parede, definido através do parâmetro $D_{nT,w}$, com o nível de privacidade (L_{Pr}), proveniente da avaliação objetiva da inteligibilidade da fala. Essa combinação resulta no nível de conforto, L_{conf} , do ambiente em análise, calculado a partir das equações 14 e 15:

$$L_{conf} = L_{Pr} + D_{nT,w} \quad \text{Eq (14)}$$

Sendo que:

$$L_{Pr} = 10 \log STI_0 / STI \text{ (dB)} \quad \text{Eq (15)}$$

Onde: STI – é o valor médio do índice de transmissão da fala;

STI_0 – 0,2 é o valor de referência;

$D_{nT,w}$ – é o valor único, em dB, do isolamento, de acordo com a ISO 717-1 (1996);

O valor de referência, STI_0 , foi obtido a partir do levantamento de outros trabalhos acadêmicos, adotando o menor valor de STI encontrado, já que corresponde à pior condição acústica do ambiente para a fala.

Como consequência, é apresentada uma proposta de classificação de conforto para o ambiente, a partir dos valores obtidos para L_{conf} , inspirada na diferença de níveis de desempenho da norma ABNT NBR 15575 (2008)³, conforme Tabela 27. As classes vão de A, melhor desempenho, a E, pior condição de conforto.

Tabela 27– Classe de conforto, segundo os valores do nível de conforto, L_{conf}

Classe de conforto	Valores de L_{conf} em dB
A	≥ 45
B	40-44
C	35-39
D	30-34
E	≤ 29

Fonte: Ferreira Neto (2009)

- Certificação de Qualidade Geral das Construções – BGP (*Building Global Performance*)

Em 2007, o Setor de Física Aplicada da CIRIAF - Universidade da Perugia (Itália) propôs um modelo experimental de certificação total de construções, chamado BGP (“*Building Global Performance*” ou Desempenho Global de Construções). O protocolo BGP foi criado originalmente para testar a qualidade geral de apartamentos existentes e de baixo desempenho. Posteriormente, passou a ser atualizado, integrando os últimos padrões e regulamentos, e levando em conta resultados obtidos em suas implantações e aplicações (COTANA; GORETTI, 2010).

O objetivo do modelo de certificação BGP não é apenas estimar a contribuição energética do condicionamento de ar no inverno e no verão, ou o aquecimento de água, ou a ventilação, sistema de iluminação e recursos renováveis, mas, principalmente, busca estender a avaliação de habitações para a eficiência energética em todos os princípios fundamentais que desempenham um papel no conforto, levando em consideração todos os principais aspectos de forma independente e objetiva. Indicadores de contribuição única foram propostos e um índice global foi definido para classificar edifícios novos e existentes, fazendo referência a um desempenho total (COTANA; GORETTI, 2010).

³ Versão anterior da NBR 15575 (ABNT, 2013)

A certificação BGP estabelece seis indicadores e sete classes para cada um deles. Para cada classe de desempenho é atribuído um valor de 1 (a mais baixa qualidade ou classe G) até 7 pontos (a classe mais alta ou classe A). A pontuação resulta da comparação de resultados de campo com parâmetros específicos com uma escala elaborada a partir de padrões e técnicas da literatura. O índice total BGP é calculado como uma média ponderada dos seis indicadores, sendo que para cada um é atribuído um peso de acordo com critérios objetivos.

São seis os indicadores que compõem o índice global de desempenho da edificação (BGP): Energia (*Energy Microclimate- EMPP*), Desempenho Acústico (*Acoustic Performance- AP*), Iluminação (*Lighting-LP*), Recursos Hídricos (*Water-Resources-WRP*), Segurança (*Safety-SP*) e Desempenho Tecnológico (*Technology Performance- TP*).

Como esta dissertação tem o foco na acústica, serão apresentadas aqui apenas as informações relativas ao indicador AP, o qual introduz a classificação de cada parâmetro acústico específico e de uma síntese final do índice. O parâmetro é definido a partir dos seguintes requisitos acústicos, conforme legislação italiana (Decreto Nacional Italiano, DPCM 05/12/1997):

- R'_w - O índice de redução sonora ponderado de componentes construtivos utilizados em vedações entre ambientes;
- $D_{2m,nT,w}$ - diferença padronizada de nível ponderada da fachada para ensaios de campo;
- $L'_{n,w}$ - nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado;
- L_{ASmax} - valor máximos do nível de pressão sonora máximo ponderado;
- L_{Aeq} - valor máximo do nível de pressão sonora contínuo equivalente ponderado (A);

Para cada um desses cinco parâmetros o limite estabelecido pelo decreto para edifícios residenciais foi determinado como o valor central da escala e as faixas para essas diferentes classes foram definidas levando em consideração desempenhos acústicos razoavelmente obtidos (Tabela 28).

Tabela 28- BGP: Escala dos requisitos acústicos para edifícios residenciais

PARÂMETRO	CLASSE/ PONTUAÇÃO						
	G/1	F/2	E/3	D/4	C/5	B/6	A/7
R'_w (dB)	≤44	45-47	48-49	50	51-52	53-55	≥56
$D_{2m,nT,w}$ (dB)	≤33	34-36	37-39	40	41	42	≥43
$L'_{n,w}$ (dB)	≥68	66-67	64-65	63	59-62	55-58	≤54
L_{ASmax} dB(A)	≥42	39-41	36-38	35	32-34	29-31	≤28
L_{Aeq} dB(A)	≥38	37	36	35	31-34	27-30	≤26
PIOR				MELHOR			

Fonte: Cotana e Goretti (2010)

Esse esquema privilegia a verificação das condições mais críticas do ruído em detrimento dos valores médios da habitação, de modo a proporcionar o conforto acústico de interiores a partir do desempenho mínimo de cada requisito (COTANA; GORETTI, 2010).

De acordo com os padrões italianos e internacionais, medições de ruído devem ser feitas para avaliar o desempenho acústico de paredes, fachadas, pisos e sistemas construtivos.

Medições em campo devem ser comparadas aos valores das classes fixados na Tabela 28, de modo a atribuir a cada parâmetro acústico uma pontuação de 1 a 7. O índice AP da unidade habitacional testada será a média ponderada da pontuação obtida para cada fator. Os pesos normalizados são expostos na Tabela 29, e foram determinados de acordo com o percentual de interferência de cada um desses parâmetros no isolamento geral dos ambientes internos. Assim, como a literatura identifica o ruído aéreo proveniente das fachadas como um dos principais “vilões” na proteção acústica de interiores aos ruídos externos, para o $D_{2m,nT,w}$, referente ao isolamento de ruído aéreo de fachadas, é atribuído um peso um pouco maior (COTANA; GORETTI, 2010).

Tabela 29- BGP: Pesos normalizados atribuídos aos parâmetros acústicos

PARÂMETRO	PESO
$R'w$ (dB)	0,20 (20%)
$D_{2m,nT,w}$ (dB)	0,25 (25%)
$L'n,w$ (dB)	0,20 (20%)
LASmax dB(A)	0,20 (20%)
LAeq dB(A)	0,15 (15%)
AP	1,00 (100%)

Fonte: Cotana e Goretti (2010)

Por final, o índice AP é comparado aos limites da Tabela 30 para classificar a qualidade acústica do edifício avaliado.

Tabela 30- BGP: Escala padronizada do índice de Desempenho Acústico (DA) para edifícios residenciais

PARÂMETRO	CLASSE						
	G	F	E	D	C	B	A
AP	< 1,5	≥1,5 <2,5	≥2,5 <3,5	≥3,5 <4,5	≥4,5 <5,5	≥5,5 <6,5	≥6,5

Fonte: Cotana e Goretti (2010)

O custo foi outro critério examinado, o qual serve para assegurar uma maior objetividade. Portanto, pesos foram estabelecidos com bases em análises de custo. De acordo com o mercado italiano, os custos médios a serem considerados para equipar com materiais e dispositivos que garantam altos desempenhos foram estimados em 54% do custo total do projeto e da construção. Assim, os pesos normalizados aplicados aos diferentes indicadores

foram obtidos comparando as contribuições individuais de cada indicador com o percentual total de 54%.

A taxa de desempenho foi obtida com base em análises de custo médio. O investimento necessário para obter um desempenho de excelência foi comparado ao custo total de equipamentos e depois normalizados para a porcentagem total. O percentual de isolamento acústico foi calculado em 10% do custo total do sistema construtivo. Portanto, em relação ao investimento total para a otimização (54%), o índice AP afeta o índice de qualidade total BGP em aproximadamente 19% (Tabela 31).

Tabela 31- BGP: pesos normalizados atribuídos aos indicadores específicos e ao índice final

ÍNDICE	CONTRIBUIÇÃO	CUSTO/TOTAL	PESO
EMP	Eficiência energética, isolamento térmico e microclima	25%	0,46 (46%)
AP	Isolamento Acústico de componentes e sistemas	10%	0,19 (19%)
LP	Luz natural e projeto do sistema de iluminação artificial	2%	0,04 (4%)
WRP	Equipamentos para economizar água e outros recursos	6%	0,11 (11%)
SP	Dispositivos de segurança para homens e sistemas	5%	0,09 (9%)
TP	Dispositivos tecnológicos para melhorar a vida em ambientes internos	6%	0,11 (11%)
BGP	Desempenho geral de qualidade em interiores	54%	1,00 (100%)

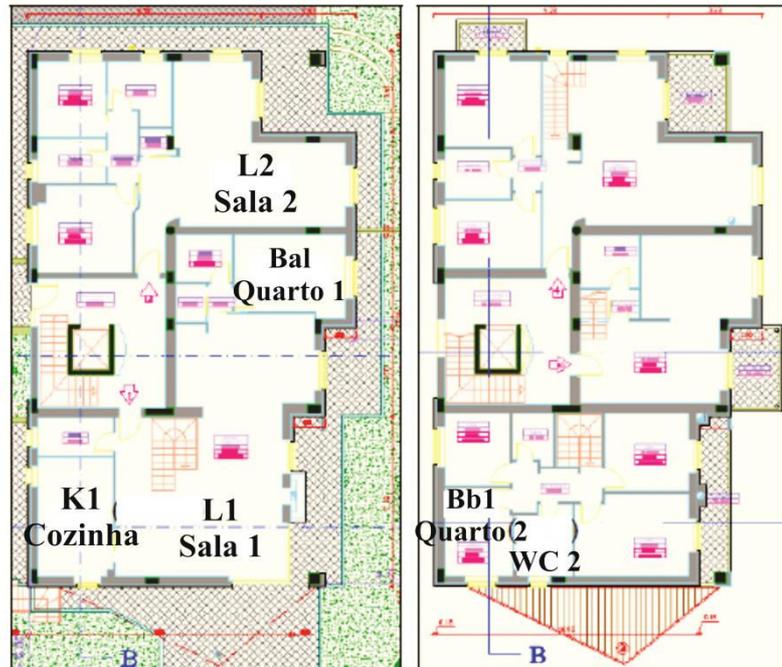
Fonte: Cotana e Goretti (2010)

Cotana (2010), em seu estudo de caso, fez medições em um apartamento que foi o primeiro edifício multifamiliar construído na região da Umbria a ser certificado como classe A pelo “*KlimaHouse*” para eficiência energética muito alta. Suas medições seguiram as metodologias das ISO 140 (1998) e ISO 717 (1996) (Figura 44). Os níveis de ruído foram determinados de acordo com a ISO 16032 (2004) e UNI 8199 (1998) (padrão italiano). Eles analisaram os seguintes índices acústicos:

- Índice de redução sonora para o ruído aéreo da parede entre a sala e um quarto (R'_w);
- Diferença de ruído aéreo na fachada da cozinha ($D_{2m,nTw}$);
- Nível de ruído de impacto de piso entre um quarto no pavimento superior e a cozinha no térreo (L_{nw});
- Nível de pressão sonora máximo ponderado (A) produzido pelo acionamento da descarga do banheiro do pavimento superior sobre o ambiente mais afetado no térreo (L_{ASMax});

- Nível de pressão sonora equivalente ponderado (A) produzido pelo sistema de ventilação mecânica controlado na sala de estar (L_{Aeq}).

Figura 44- Estudo de caso: plantas do 1º pavimento (esquerda) e do 2º pavimento (direita)



Fonte: Adaptado de Cotana e Goretti (2010)

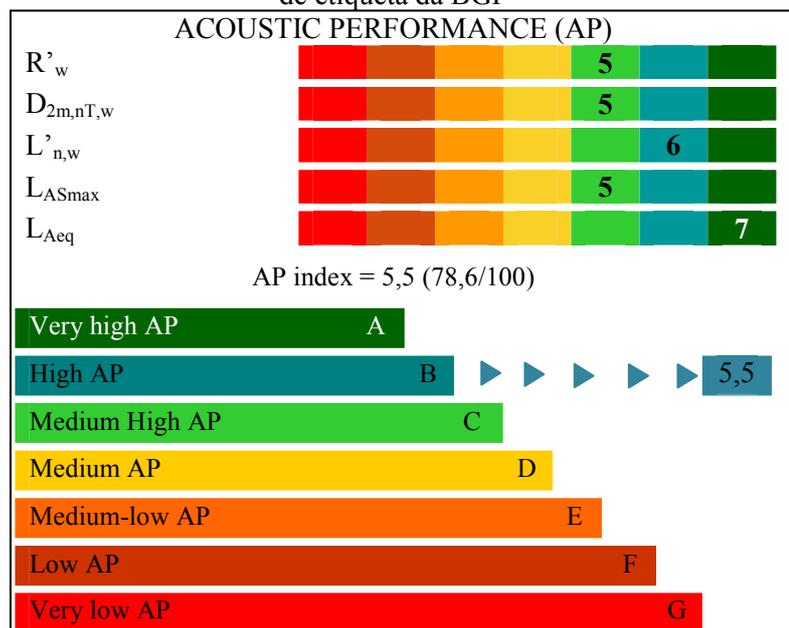
Em seguida, foi aplicada a metodologia da certificação BGP, com suas pontuações e ponderações, citadas anteriormente (Tabela 32). Os resultados obtidos no trabalho foram representados graficamente como uma etiqueta de qualidade, tanto para cada indicador específico, como para o índice BGP final, conforme a Figura 45.

Tabela 32- Estudo de caso da BGP para avaliação do índice AP (“Acoustic Performance”)

Parâmetro	Salas e Sistemas	Valores Medidos	Classe/ Pontuação	Peso	Pontuação Ponderada/ Classe
R'_w	L2 x Bal	51 dB	C/5	0,20	1,00
$D_{2m,nT,w}$	K1	41 dB	C/5	0,25	1,25
$L'_{n,w}$	Bb1 x K1	58 dB	B/6	0,20	1,20
L_{ASmax}	WCb1 x K1	34 dB(A)	C/5	0,20	1,00
L_{Aeq}	Ventilação x L1	21 dB(A)	A/7	0,15	1,05
PA				1,00	5,50/B

Fonte: Cotana e Goretti (2010)

Figura 45 -- Representação gráfica do índice de “Acoustic Performance” (AP) e certificação em forma de etiqueta da BGP



Fonte: Adaptado de Cotana e Goretti (2010)

Pode-se observar que a representação gráfica do índice de desempenho acústico em forma de etiqueta da BGP assemelha-se ao selo PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica) Eletrobrás de Economia de Energia, o qual é considerado um selo de sucesso, pois foi uma forma de permitir que o público leigo compreendesse o desempenho energético de um determinado equipamento, ajudando no ato da compra, possibilitando aquisições mais eficientes. Acredita-se que essa etiqueta BGP possa apresentar ao usuário resultado semelhante ao obtido com o selo PROCEL.

2.3.3.2 Selos

Os “selos verdes” são outra ferramenta na luta pela sustentabilidade e são também conhecidos como rotulagem ambiental, etiquetagem ambiental, eco rotulagem ou rótulo ecológico, e, através de símbolos, marcas, textos ou outras formas de sinalização visual, informam ao consumidor das características ambientais dos produtos e serviços, diferenciando-os dos demais, sem a exigência de uma certificação prévia. Esses “selos verdes” são definidos pela *International Standard Organization* (ISO), através de metodologias diversas, sendo, na maioria dos casos, adotados critérios baseados no ciclo de vida de produtos.

Dos selos encontrados na revisão bibliográfica, apenas um aborda o desempenho acústico, o Selo Casa Azul Caixa, lançado no ano de 2010 pela Caixa Econômica Federal.

Tem como objetivo dar um reconhecimento aos empreendimentos que comprovem estar contribuindo para a redução dos impactos ambientais.

Qualquer empreendimento habitacional que busca financiamento ou programa de repasse na Caixa pode se cadastrar para obter o Selo. São três os níveis de gradação conferidos ao empreendimento:

- Bronze – quando todos os critérios obrigatórios são atendidos (Tabela 33);
- Prata – se, além dos critérios obrigatórios, o empreendimento atender a mais seis critérios de livre escolha (Tabela 33);
- Ouro – quando são atendidos mais de doze critérios de livre escolha, além dos obrigatórios (Tabela 33).

Eles são avaliados através dos seguintes grupos de critérios: qualidade urbana, projeto e conforto, eficiência energética, conservação de recursos materiais, gestão da água e práticas sociais. Visa ainda servir de contribuição para estudantes, profissionais e estudantes na área de construção que queiram adotar práticas mais sustentáveis em seus projetos e construções.

No total, são 53 critérios de avaliação, agrupados em seis categorias:

- 1- Qualidade Urbana – com cinco critérios;
- 2- Projeto e conforto – com onze critérios;
- 3- Eficiência energética – com oito critérios;
- 4- Conservação de recursos matérias – dez critérios;
- 5- Gestão da água – oito critérios;
- 6- Práticas sociais – onze critérios.

A Tabela 33 apresenta o único critério do Selo Casa Azul Caixa que aborda a temática da acústica, detalhando a sua classificação.

Tabela 33- Descrição do critério “Qualidade do Entorno – Impactos” do Selo Casa Azul Caixa

CATEGORIAS/ CRITÉRIOS	CLASSIFICAÇÃO		
	BRONZE	PRATA	OURO
1. QUALIDADE URBANA			
1.2 Qualidade do Entorno - Impactos	Obrigatório	Critérios obrigatórios + 6 itens de livre escolha	Critérios obrigatórios + 12 itens de livre escolha

Fonte: John e Prado (2010)

O selo Casa Azul Caixa é o primeiro sistema de classificação de sustentabilidade de projetos de origem brasileira e desenvolvido de modo a atender às especificidades das construções habitacionais do país.

Dentro da primeira categoria, Qualidade Urbana, insere-se o critério Qualidade do entorno, um dos obrigatórios, e considera o impacto do entorno em relação ao empreendimento em análise. É nesse item que a qualidade acústica das habitações é avaliada. Um de seus indicadores é a inexistência, no entorno com um raio de, pelo menos, 2,5 quilômetros, marcado a partir do centro geométrico do empreendimento, de fatores de ruído excessivos e constante, como rodovias, aeroportos e determinadas indústrias (JOHN; PRADO, 2010).

O parâmetro adotado para avaliar o critério ruído foi o nível de pressão sonora equivalente (Leq dB(A)), com os limites recomendados estabelecidos pela Organização Mundial de Saúde (OMS, 2003), conforme Tabela 34.

Tabela 34 - Níveis equivalentes de ruído máximos recomendados pela Organização Mundial de Saúde para áreas residenciais

Indicador	Critério (inferior a)	Situação ou efeito
Leq dB(A)	55dB(A) – incômodo severo (pode gerar estresse e desconforto) 50dB(A) – incômodo moderado (permite adaptação do organismo)	Áreas externas de locais residenciais, durante o dia
Leq dB(A)	45dB(A)	Áreas externas e locais residenciais, durante a noite
Leq dB(A)	30dB(A)	Sem perturbação de sono (dentro de quartos)

Fonte: OMS, 2003

Independente da classificação de certificados ou selos, tais iniciativas contribuem bastante para o controle dos ruídos nas habitações e, conseqüentemente, para o desempenho acústico, sendo ainda importantes ferramentas para o arquiteto. A Tabela 35 apresenta um breve resumo das certificações e selo apresentados, destacando os parâmetros acústicos adotados por cada um. Como a proposta apresentada por Ferreira Neto (2009) que trata do nível de conforto (L_{conf} (dB)) não foi efetivada como certificação, ela não foi inserida na tabela a seguir, mas é considerada uma contribuição para o trabalho.

Tabela 35 - Resumo das certificações e selos que abordam a questão acústica

Certificados	Parâmetros de desempenho acústico	Responsável
<p>LEED</p>  <p>Fonte: GBC Brasil (2010)</p>	<p>Qualidade Ambiental Interna (QAI): Nível máximo de ruído permitido dB(A)</p>	<p>USGBC (<i>United States Green Building Council</i>)</p>

<p>Processo de Alta Qualidade Ambiental - AQUA</p>  <p>Processo AQUA CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL Fonte: Alta (2013)</p>	<p>$L'_{nT,w}$ (dB) DnT,w (dB) R_w (dB) $D_{2m,nT,w}$ (dB)</p>	<p>Fundação Vanzolini</p>
<p>Certificação De Qualidade Geral Das Construções – BGP</p>	<p>R'_w (dB) $D_{2m,nT,w}$ (dB) $L'_{n,w}$ (dB) L_{ASmax} dB(A) L_{Aeq} dB(A)</p>	<p>Setor de Física Aplicada da CIRIAF - Universidade da Perugia (Itália)</p>
<p>Selo</p>	<p>Parâmetros de desempenho acústico</p>	<p>Responsável</p>
<p>Selo Casa Azul CAIXA</p>  <p>Fonte: John e Prado (2010)</p>	<p>L_{eq} dB (A)</p>	<p>Caixa Econômica Federal</p>

A legislação e as normas técnicas brasileiras isoladamente são insuficientes para análises mais confiáveis de desempenho acústico, porém, associadas ao que recomendam as leis e as normas de outros países, configuram importantes bases para estudos em prol da melhoria da qualidade acústica das residências brasileiras. Todavia, é necessário que essa associação seja sistematizada e validada de modo que se transforme em leis e normas nacionais, facilitando o trabalho dos técnicos brasileiros, principalmente, pela questão do idioma e da facilidade do acesso.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Com a finalidade de atingir os objetivos propostos, os procedimentos metodológicos desta dissertação foram baseados na avaliação do isolamento sonoro aos ruídos aéreos das partições verticais em dois apartamentos na cidade Maceió-AL.

Na etapa inicial, foi feita uma consulta a bibliografias com temas relacionados à arquitetura brasileira, a materiais de construção e à acústica aplicada à arquitetura. Foi realizado ainda o levantamento dos elementos construtivos mais amplamente difundidos nos edifícios em Maceió-AL, através de visitas a construtoras, à Associação das Empresas do Mercado Imobiliário de Alagoas (ADEMI-AL) e a fornecedores de materiais de construção. A legislação brasileira e as normas vigentes, tanto as nacionais como as internacionais, foram revisadas. Essa etapa ocorreu paralelamente ao levantamento de informações para a caracterização dos apartamentos escolhidos como objetos de estudo.

Desse modo, os procedimentos realizados foram desenvolvidos em seis etapas com algumas subdivisões. São elas:

- Formação do referencial teórico (apresentado na seção 2);
- Caracterização dos objetos de estudo (seção 3.1);
 - Definição dos objetos de estudo (seção 3.1.1);
 - Seleção dos objetos de estudo (seção 3.1.2);
 - Levantamento de dados: físicos e do entorno (seção 3.1.3);
 - Configuração dos apartamentos (seção 3.1.3.1);
- Realização de medições de campo (seção 3.2);
 - Equipamentos utilizados (seção 3.2.1);
 - Procedimentos de medição (seção 3.2.2);
 - Pontos de medição (seção 3.2.3);
- Definição de uma proposta de certificação de desempenho acústico, resultante de adequações realizadas no modelo italiano, BGP (seção 3.3);
- Tratamento dos dados (seção 4);
- Análise dos resultados (seção 4).

3.1 Caracterização dos objetos de estudo

Esta etapa abrange as seguintes atividades:

3.1.1 Definição dos objetos de estudo

A busca pelos objetos em estudo foi feita, inicialmente, através de um contato direto com os construtores, a partir do qual foi escolhido o primeiro apartamento. Quando a Associação das Empresas do Mercado Imobiliário de Alagoas (ADEMI-AL) tomou ciência do trabalho, entrou em contato para oferecer outros apartamentos para a pesquisa e facilitar o contato com os construtores.

O objetivo era encontrar dois apartamentos com diferentes características, principalmente em relação a configurações de planta e a materiais e sistemas construtivos.

Foram realizadas medições-teste em um apartamento disponibilizado por um dos construtores. Nesse caso, o prédio já estava todo ocupado, sendo esse a única unidade habitacional disponível. Essa experiência foi fundamental para a sistematização do método de trabalho a ser executado nas medições definitivas. Foi importante também para identificação de algumas dificuldades, evitando que elas se repetissem. O principal empecilho encontrado foi o incômodo que os elevados níveis de ruído produzido nas medições provocaram nos moradores, que, por diversas vezes, solicitavam a interrupção dos trabalhos.

Por isso, acrescentou-se mais um requisito de escolha dos objetos, que os prédios teriam que estar em fase de entrega aos moradores, mas ainda desocupados e sem móveis. A localização desejada era em pavimento térreo ou no primeiro andar, em caso de haver pilotis, de modo a permitir a medição do isolamento das fachadas de acordo com as normas.

Conforme afirmado por Ferreira Neto (2009), a presença de mobiliário nos ambientes em análise interfere no tempo de reverberação, mas não influencia na diferença padronizada de nível, D_{nT} , já que os fatores que interferem no desempenho são padronizados nesse parâmetro.

3.1.2 Seleção dos objetos de estudo

A área para a busca pelos objetos para este estudo foi restringida à cidade de Maceió, capital do Estado de Alagoas, no litoral do nordeste brasileiro (Figura 46). Ela apresenta clima

quente e úmido e temperaturas entre 17°C e 32°C. De acordo com o Zoneamento Bioclimático Brasileiro, estabelecido pela Norma Brasileira de Desempenho Térmico para Edificações - NBR 15.220, publicada em maio de 2005, Maceió está situada na zona climática Z8 (ABNT, 2005). A mesma norma determina que em tal zona, na época de verão, a estratégia é estimular a ventilação cruzada, com ressalvas nos períodos em que se obtenham temperaturas mais quentes, além de dotar as aberturas de sombras.

Das opções apresentadas pelos construtores, foram escolhidos os dois que melhor se encaixavam nos critérios estabelecidos. Além de permitir a realização das medições, elas concordaram em disponibilizar o projeto arquitetônico, as especificações técnicas e o valor venal dos imóveis, contribuindo para um melhor detalhamento e caracterização dos objetos de estudo.

Figura 46 – Mapas do Brasil com destaque para o Estado de Alagoas e com um recorte de seu território com a localização da capital, Maceió



Fonte: Disponível em: <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=1054763>. Acesso em: 28 jul. 2014.

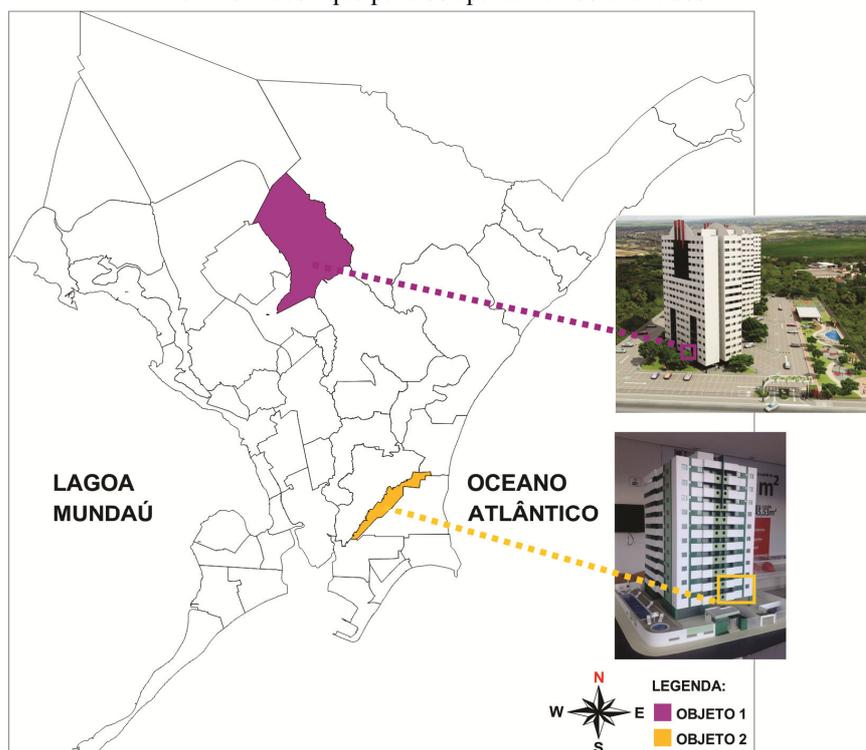
Para este trabalho os apartamentos escolhidos serão chamados de objeto 1 e objeto 2 e são eles:

- OBJETO 1: o edifício selecionado fica no Loteamento Alvorada, no bairro de Antares (Figuras 47), próximo à entrada para o bairro do Benedito Bentes, e o apartamento, o 104, fica no primeiro pavimento desta edificação. Ele já foi vendido, mas o valor

venal de um apartamento semelhante, no mesmo prédio, é de R\$ 156.431,08 na tabela de junho de 2014, cerca de R\$ 3.283,60/m²;

- OBJETO 2: o edifício escolhido fica na avenida Gustavo Paiva, no bairro de Mangabeiras (Figura 47), e foi estabelecido como objeto 2 a unidade habitacional 104 no primeiro andar. Este empreendimento, no mês de junho de 2014, tem o valor de R\$310.529,00, o equivalente a R\$ 4.295,60/m².

Figura 47 - Base Cartográfica de Maceió indicando a localização dos objetos em estudo e imagens dos objetos 1 e 2 com destaque para os apartamentos avaliados



Fonte: Adaptado da base cartográfica de Maceió (2007)

3.1.3 Levantamento de dados: físicos e do entorno

Nesta etapa foram realizados levantamentos de dados acerca dos aspectos físico-constructivos dos apartamentos em análise, os objetos 1 e 2, de seus edifícios e do entorno destas edificações, para embasar as análises da influência das características arquitetônicas na qualidade do desempenho acústico dos objetos. Os dados foram obtidos em observação de campo e através da análise dos projetos e das especificações técnicas fornecidas pelos construtores.

Os itens de projeto que mais interferem na qualidade acústica dos ambientes em análise, no que se refere aos parâmetros avaliados neste estudo, são os componentes e as técnicas construtivas empregadas:

- Na alvenaria das partições externas;
- Nas esquadrias das fachadas;
- Na alvenaria das partições internas, tanto na divisão entre os apartamentos, entre o apartamento e as áreas comuns e entre os ambientes internos;
- Nas esquadrias das partições internas.

Sendo assim, será feita a descrição da composição das partições, internas e externas, de cada objeto.

3.1.3.1 Objeto 1

O edifício do objeto 1 está próximo a um shopping center, o Pátio Maceió, e a uma galeria comercial, com banco e uma faculdade. Fica a menos de 100m da avenida Antônio Lisboa de Amorim, mais conhecida como avenida Cachoeira do Meirim, que dá acesso a um dos bairros mais populosos da cidade, o Benedito Bentes. A via de acesso ao residencial é uma via local, ainda sem pavimentação, portanto com fluxo reduzido de veículos. E o tráfego de automóveis na avenida também não pode ser considerado intenso (Figura 48).

Figura 48- Localização e implantação do objeto 1



Fonte: Google Earth, 06 jul 2014

O apartamento, ao ser analisado, pode ser enquadrado na **classe de ruído II** da parte 4 da NBR 15575 (ABNT, 2013), indicado na Tabela 36.

Tabela 36- Diferença padronizada de nível ponderada da vedação externa, $D_{2m,nT,w}$ para ensaios de campo

Classe de ruído	Elemento
I	Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas
II	Habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III
III	Habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, desde que esteja de acordo com a legislação

Fonte: NBR 15575 (ABNT, 2013)

Nota 1 – Para vedação externa de salas, cozinhas, lavanderias e banheiros não há requisitos específicos.

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

Ele faz parte de uma edificação composta por três torres de apartamentos, com um pilotis e 16 pavimentos tipo, sendo todos com 08 apartamentos, totalizando 384 no empreendimento (Figura 49). Ele fica na torre 1, voltado para a via local, a rua em projeto. A área de lazer, no pilotis e na área externa, é composta por: salão de festas, fitness, churrasqueiras cobertas, quadra poliesportiva, piscina adulto/infantil e deck molhado, quiosques para apoio, da piscina, um redário, praças, playgrounds e áreas verdes.

Figura 49- Implantação do Residencial com a localização da torre 1, onde fica o objeto 1

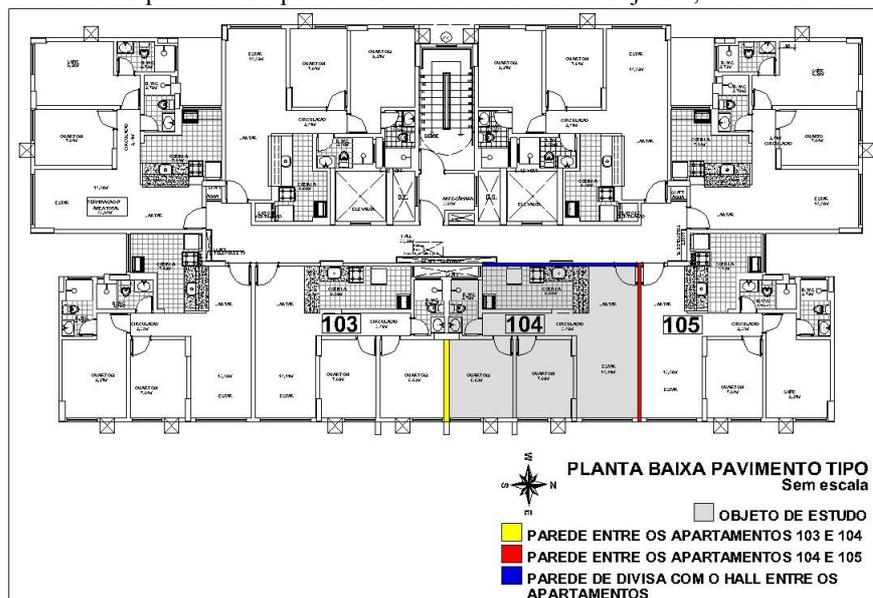


Fonte: Arquivo pessoal (2014)

- Configuração do apartamento 104

O **objeto 1**, o apartamento 104, fica entre dois outros, também utilizados para as medições: o 103, com área de 51,67m², e o 105 com 47,64m². O motivo da escolha do apartamento 104 foi o fato de ser separado de seus vizinhos por ambientes distintos: do 103 por uma parede que divide as salas de estar dos dois apartamentos; e do 105 por uma partição vertical que separa um dos quartos (o quarto 02) de cada apartamento (Figura 50).

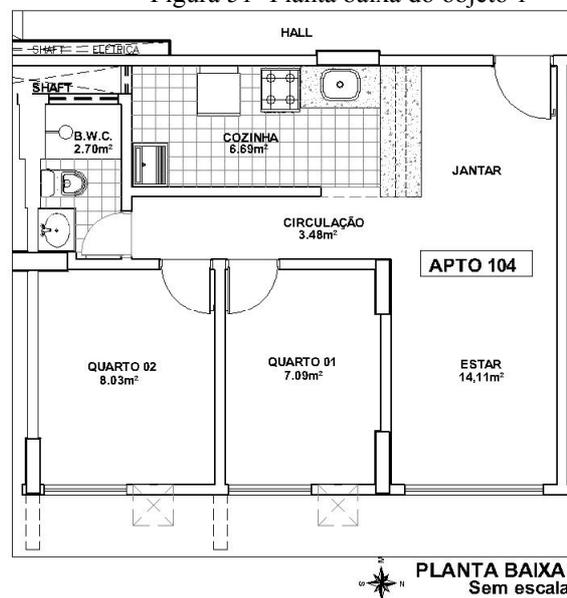
Figura 50- Planta do pavimento tipo do Residencial onde fica o objeto 1, indicando sua localização



Fonte: Arquivo pessoal (2014)

Com 47,64m² de área, o objeto 1 possui sala de estar/jantar, dois quartos, um banheiro social e cozinha americana integrada à área de serviço (Figura 51), configuração de planta também encontrada nos apartamentos contíguos a ele: 103 e 105 (Figura 50).

Figura 51- Planta baixa do objeto 1



Fonte: Arquivo pessoal (2014)

- Partições verticais externas

O sistema construtivo adotado no edifício em estudo, denominado **objeto 1**, foi estruturas, pilares e vigas em concreto armado, com laje do tipo colmeia (lajes nervuradas pré-moldadas), com vedações em alvenaria de blocos cerâmicos de 8 furos, com dimensões de

9x19x19cm. As paredes externas são revestidas internamente com massa de gesso corrido e externamente com textura aplicada sobre emboço e chapisco, com alguns detalhes em pastilha cerâmica (Figuras 52 e 53).

Figura 52- Fachada principal da torre do objeto 1, mostrando, ao fundo, o sistema construtivo utilizado



Fonte: Disponível em: www.contratoengenharia.com.br, Acesso em: 18 mai 2014

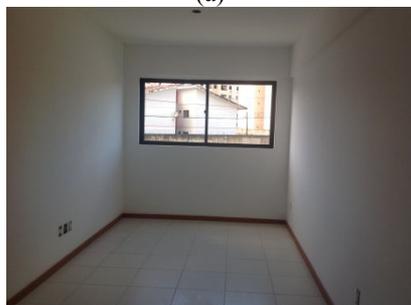
Figura 53 - Fachadas lateral e posterior da torre do objeto 1



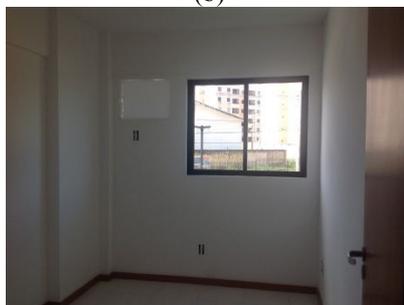
Fonte: Disponível em: www.contratoengenharia.com.br, Acesso em: 18 mai 2014

Todas as janelas que integram as alvenarias das fachadas dos quartos e da sala de estar do objeto 1 são em alumínio anodizado na cor preta com vidro comum fumê 4 mm sem nenhum tratamento acústico (Figura 54)

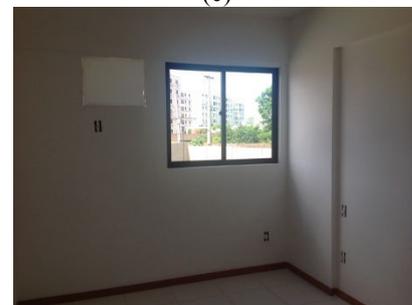
Figura 54 – Janelas do objeto 1: da sala de estar (a), do quarto 1 (b); e do quarto 2 (c)



Fonte: Arquivo pessoal (2014)



Fonte: Arquivo pessoal (2014)



Fonte: Arquivo pessoal (2014)

- Partições verticais internas

No objeto 1, os blocos usados na alvenaria das vedações externas foram de 8 furos com dimensões de 9x19x19cm (Figura 55). Esses blocos também foram utilizados nas demais paredes do prédio, como nas divisórias internas dos apartamentos e nas do hall entre os apartamentos. As alvenarias internas foram revestidas com massa de gesso e pintadas. Apenas as paredes do hall dos apartamentos receberam textura.

Figura 55 – Bloco cerâmico com 8 furos (9x19x19cm) usado no objeto 1: (a) frente; (b) lateral



Fonte: Arquivo pessoal

As portas do objeto 1 são em madeira, com acabamento liso e núcleo em sarrafos prensados, com pintura em verniz, com caixas de portas em madeira maciça envernizada, com a aplicação do sistema de vedação toque simples com uma tira de borracha nos encontros da folha de porta com o marco (Figuras 56 e 57).

Figura 56- Portas dos quartos e do banheiro do objeto 1



Fonte: Arquivo pessoal (2014)

Figura 57- Vedação toque simples no marco da porta



Fonte: Arquivo pessoal (2014)

3.1.3.2 Objeto 2

A avenida Gustavo Paiva no bairro de Mangabeiras, onde está localizado o **objeto 2**, dá acesso a um dos principais *shopping centers* da cidade, o Maceió Shopping, além de ser o eixo de ligação do litoral norte com o centro da cidade. Junto ao edifício fica o viaduto João Lyra que liga a parte baixa da cidade à alta, e dá acesso à avenida que leva à rodoviária de Maceió (Figura 58).

Figura 58- Localização do objeto 2

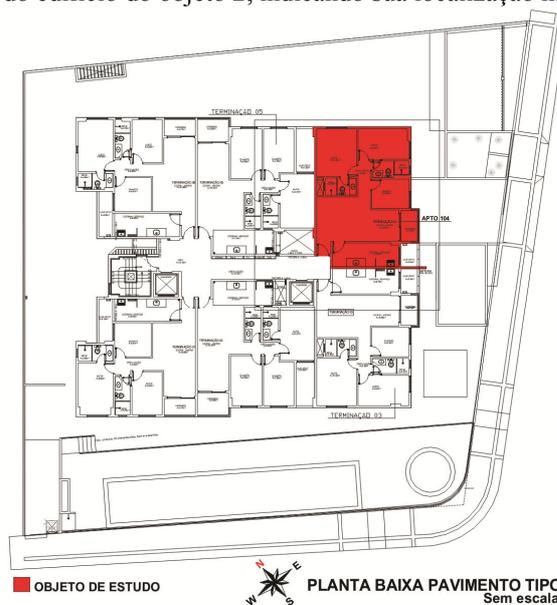


Fonte: Google Earth, 06 jul 2014

Por estar em uma via de grande fluxo, o objeto 2 foi classificado como **classe de ruído III** da parte 4 da NBR 15575 (ABNT, 2013), descrita na Tabela 36.

No edifício do qual faz parte o objeto 2, são nove pavimentos tipo, com seis apartamentos cada, além de uma cobertura com quatro apartamentos (Figura 59). Sua área de lazer, no pilotis, possui playground, salão de festas, salão de jogos abertos, espaço fitness, piscina adulto e infantil e churrasqueira. O apartamento 104, objeto 2, fica no primeiro andar, com sua fachada principal voltada para a avenida Gustavo Paiva.

Figura 59 - Implantação do edifício do objeto 2, indicando sua localização na planta do pavimento tipo

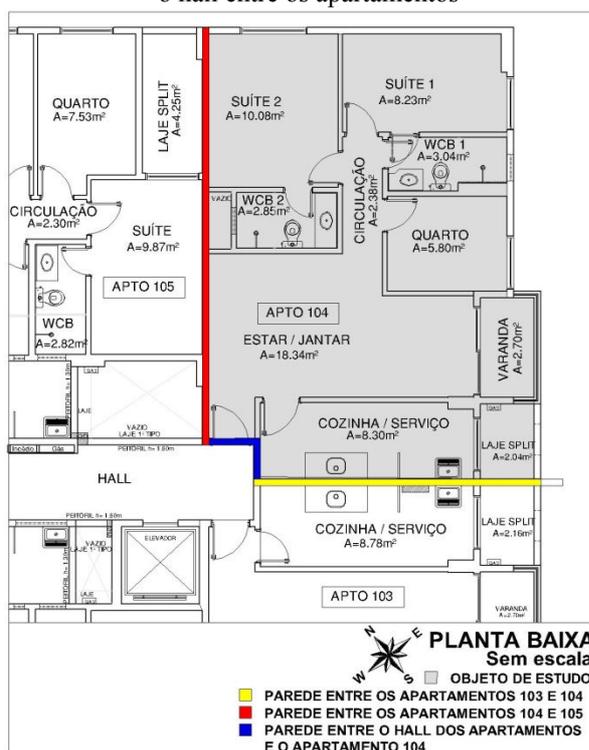


Fonte: Arquivo pessoal (2014)

- Configuração do apartamento 104

Para a avaliação do **objeto 2** foi preciso realizar medições também em seus apartamentos vizinhos: o 103 com 66,50m² de área e o 105 com 67,28m². O fato das paredes de divisão entre estas unidades autônomas separarem ambientes diversos levou à escolha do apartamento 104 como objeto de estudo. A partição vertical entre os apartamentos 104 e 103 separa as cozinhas destas unidades. A que fica entre o 104 e o 105 divide a sala de estar/jantar do primeiro e uma das suítes do segundo, a qual ainda faz divisa com o banheiro da suíte 2 do apartamento 104, tendo um *shaft* entre eles. Além disso, são duas as partições do objeto 2 voltadas para o hall do pavimento: a parede cega da cozinha e a parede com a porta de acesso ao apartamento. (Figura 60).

Figura 60 - Planta baixa do objeto 2 destacando as paredes que fazem a divisão com as unidades contíguas e com o hall entre os apartamentos



Fonte: Arquivo pessoal (2014)

O objeto 2, com 66,30m² de área, é composto por: duas suítes, sendo que o banheiro de uma delas, a suíte 1, possui, além da abertura para o interior da suíte, outra para a circulação entre as habitações; um quarto; sala de estar/ jantar com uma varanda; e cozinha integrada à área de serviço (Figura 60).

- Partições verticais externas

O **objeto 2** possui o mesmo sistema construtivo do primeiro: pilares, vigas e lajes (do tipo colmeia) em concreto armado. Apesar da alvenaria de fechamento externo também ser em blocos cerâmicos de 8 furos, as dimensões desses são diferentes: 11,5x19x19cm. Outra diferença é que todas as fachadas do objeto 2 são revestidas com cerâmica sobre chapisco e emboço, mas, as faces internas também receberam pintura sobre massa corrida de gesso (Figura 58).

Figura 61- Fachadas frontal e lateral direita do objeto 2 mostrando o revestimento cerâmico e as esquadrias externas



Fonte: Arquivo pessoal (2014)

A janela da cozinha, voltada para o exterior do apartamento (Figura 59b), e a porta da varanda da sala (Figura 59a) do objeto 2 são do tipo correr em alumínio com vidro comum 4 mm. Já as janelas dos quartos, também de correr em alumínio com vidro, receberam um tratamento para melhorar seu isolamento acústico (Figura 59c). O vidro comum foi substituído por vidro laminado 6(3+3) mm. Além disso, os perfis de alumínio foram preenchidos com lã de rocha e as escovas utilizadas no sistema de correr foram em poliuretano expandido. O fabricante não realizou ensaios para a obtenção do índice de redução acústica ponderado (R_w) dessas janelas adaptadas, mas, de acordo com o fabricante, o índice para a mesma esquadria sem as adequações e com o vidro comum 6 mm é 20dB (DEIXE, 2014).

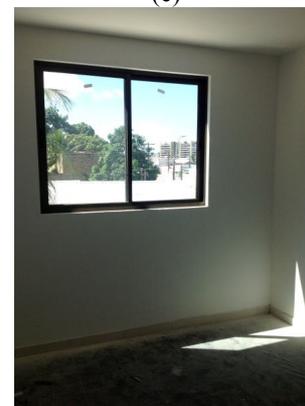
Figura 62- Porta da varanda (a) e janelas do objeto 2, cozinha (b) e quarto (c) do objeto 2



Fonte: Arquivo pessoal (2014)



Fonte: Arquivo pessoal (2014)



Fonte: Arquivo pessoal (2014)

- Partições verticais internas

Tratando do objeto 2, nas suas paredes internas foram utilizados blocos de diferentes dimensões, dependendo dos ambientes a serem divididos pela partição:

–Blocos com 4 furos e dimensões de 7x19x19cm: utilizados nas paredes dos banheiros em que não há a passagem de tubulações de água e esgoto, e nas demais partições verticais internas à unidade habitacional. Os blocos foram revestidos com massa corrida de gesso de 1,5cm de cada lado, resultando em uma parede com 10 cm de espessura (Figura 63);

–Blocos com 8 furos e dimensões de 9x19x19cm: utilizados nas paredes dos banheiros por onde passam os tubos. Os blocos receberam revestimento em massa corrida de gesso com pintura sobre ela e, nas áreas molhadas (banheiros e cozinha/ área de serviço), a alvenaria foi revestida com cerâmica sobre chapisco e emboço (Figura 63);

Figura 63- Blocos com dimensões de 9x19x19cm (8 furos) e 7x19x19cm (4 furos) utilizados nas paredes dos recintos internos do objeto 2



Fonte: Arquivo pessoal (2014)

–Blocos com 8 furos e dimensões de 11,5x19x19cm: o mesmo das fachadas, internamente foram utilizados nas paredes voltadas para o hall dos apartamentos e nas de divisão entre apartamentos vizinhos. Foram revestidos com massa de gesso com pintura aplicada sobre eles, atingindo a espessura final de 15 cm.

As portas do objeto 2 são em madeira, com acabamento liso e núcleo do tipo colmeia, pintadas com fundo primer branco base d'água, com caixa em madeira maciça protegida com a mesma borracha de vedação (toque simples) utilizada no objeto 2 (Figuras 64 e 65).

Figura 64- Portas de acesso ao apartamento objeto 2



Fonte: Arquivo pessoal (2014)

Figura 65- Vedação toque simples na porta



Fonte: Arquivo pessoal (2014)

3.2 Medições

A etapa em questão consiste em detalhar a realização das medições nos dois objetos de estudo, com o objetivo de quantificar os isolamentos dos ruídos aéreos de fachadas e entre recintos. As medições de isolamento de ruído de impacto de piso não foram realizadas pelo fato de não obtermos disponível no Estado de Alagoas a máquina específica, *tapping machine*, para a avaliação da emissão do ruído de impacto.

De acordo com Michalski (2011), o isolamento sonoro aéreo pode ser medido através de três métodos:

- O “clássico”, baseado em medições diretas dos níveis de pressão sonora, de acordo com a ISO 140 (1998);
- O método de transferência, mais novo e ainda pouco usado, baseia-se em medições de funções de transferência ou respostas impulsivas, conforme a ISO 18233 (2006);
- O que utiliza medições de intensidade sonora detalhados na ISO 15186 (2002);

Optou-se por adotar o método “clássico”, pois ele que é citado como referência nas normas brasileiras, como a NBR 15575 (ABNT, 2013).

3.2.1 Equipamentos utilizados

Os equipamentos utilizados nas medições experimentais foram os recomendados pelo método “clássico”. São eles:

- Equipamento de medição do nível de pressão sonora: Medidor Integrador de Nível Sonoro da marca 01dB (Figura 50), modelo SOLO, Classe 1 de acordo com as normas da IEC 61672-1(2002)/ IEC 60651 (1979) / IEC 60804 (1985) e IEC 6126-0 (1995). Ele possui recursos de medição do nível de pressão sonora equivalente (Leq), conforme a IEC 60804 (1985), medições paralelas de Lp, Lpk (com ponderação temporal): Start/ Stop. Além disso, possui filtro de bandas de oitavas (1/1) em tempo real (16Hz- 16KHz) – média, mínimo, máximo, e filtro de bandas de oitavas (1/3) em tempo real (12,5Hz- 20KHz) – média, mínimo, máximo. O equipamento permite ainda a medição do tempo de reverberação e do ruído de fundo. Ele foi configurado para operar no modo Escravo, ou seja, acoplado através de um cabo USB ao *notebook*, de modo que os resultados são transferidos automaticamente para o computador, sendo visualizados e armazenados através do software dBati32.
- Caixa acústica amplificada: modelo Top 500 da marca Staner (Figura 67);
- Dois *notebooks*: sendo um com o software dB Bati32 instalado e conectado ao medidor de pressão sonora, e outro conectado à caixa acústica para emitir o ruído branco de forma amplificada (Figura 67);
- Calibrador acústico: Classe 1 Cal 21 da marca 01 dB (Figura 66);
- Tripé para microfone: foi adaptado para apoiar o medidor (Figura 67);
- Fita métrica e fita adesiva: para medir os afastamentos e marcar os locais exatos de medição, respectivamente;
- Extensão para cabo USB: com 3m de comprimento, de modo a permitir que o medidor seja deslocado e se mantenha conectado ao *notebook*;
- Balões de borracha: para a produção do ruído para a medição do tempo de reverberação;
- Extensão elétrica: como os edifícios ainda estavam em fase de obra, a energia elétrica dos apartamentos não estava ligada, sendo necessária uma extensão relativamente grande, cerca de vinte metros de comprimento, para ligar na tomada do hall do pavimento.

Figura 66– Calibrador ligado ao medidor



Fonte: Arquivo pessoal (2014)

Figura 67– Medidor acoplado ao tripé, ligado ao notebook; caixa de som conectada a outro notebook para a emissão do ruído branco; balões de borracha para as medições do tempo de reverberação



Fonte: Arquivo pessoal (2014)

3.2.2 Procedimentos de medição

Foram realizadas medições de isolamento de ruído aéreo, entre recintos e de fachadas dos dormitórios. Nas medições entre dois ambientes, um é considerado emissor, no qual o som é gerado, e o outro o receptor. Todas as medições foram feitas de acordo com as normas: ISO 140-4 (1998), que estabelece os procedimentos para a realização das medições do isolamento sonoro ao ruído aéreo entre recintos; ISO 140-5 (1998), que determina os procedimentos para a realização das medições do isolamento sonoro ao ruído aéreo de fachadas; ISO 717-1 (1996), com os métodos para o cálculo do valor global (número único). Essas normas internacionais foram indicadas na norma de desempenho de edifícios habitacionais, NBR 15575 (ABNT, 2013) parte 4, como base para a realização de medições de campo, visto que não existem normas brasileiras com procedimentos de medição e cálculo para a avaliação do desempenho de edificações. Para as medições do tempo de reverberação, foi adotada a ISO 3382 (1997).

De acordo com a ISO 140-4 (1998), pode-se optar por medições em uma única direção ou em ambas. Isso significa que as posições da fonte podem ser na mesma sala ou as medições podem ser repetidas na direção oposta, transformando a sala emissora em receptora, com uma ou mais posições em cada sala. Neste trabalho, optou-se por não efetuar medições em direções opostas.

Ensaio acústico geralmente adotam como fonte ou o ruído branco ou o rosa. O primeiro apresenta um nível constante para todas as frequências do espectro, sendo frequentemente utilizado na obtenção da função de transferência de sistemas, como é o caso

deste estudo. O ruído rosa apresenta um nível que decai 3dB por oitava, como o som da TV fora de sintonia, e é empregado na análise de sistemas acústicos com filtros de larguras de bandas de porcentagem constante (BISTAFA, 2006). Assim, para as medições de isolamento de ruído aéreo entre recintos e de fachadas foi adotado o ruído branco. Para as medições do tempo de reverberação, o ruído utilizado foi o produzido pelo estouro de balões de borracha, já que o método de medição adotado foi o da resposta impulsiva. As medições de ruído de fundo foram feitas com a fonte desligada.

A faixa de frequência adotada foi a de bandas de 1/3 de oitava e o tempo médio de medição estabelecido foi de 6s para cada posição de microfone, por ser o recomendado para cada banda de frequência com frequências centrais inferiores a 400Hz.

Em relação à posição dos equipamentos, a fonte deve ser posicionada fora da área de influência dos elementos de separação e de flancos. Sua posição afeta diretamente o campo sonoro produzido, conforme ISO 140-4 (1998). Esse posicionamento e a direção da fonte devem permitir que o microfone fique fora do alcance do som direto, evitando ainda que a radiação direta da fonte não seja dominante na superfície das paredes, pisos e tetos.

No caso de isolamento de ruído aéreo, foram analisados o isolamento entre recintos e o de fachadas. Os parâmetros avaliados no que se refere a isolamento de ruídos aéreos foram:

- Tempo de reverberação (T);
- Ruído de fundo (B2)
- Diferença padronizada de nível (D_{nT});
- Parâmetros de isolamento sonoro ponderados (D_{nTw}).
- Diferença Padronizada de Nível, a 2 metros ($D_{2m,nT}$);
- Diferença Padronizada de Nível Ponderada, a 2 metros ($D_{2m,nTw}$);

As normas que tratam do isolamento acústico de habitações têm como foco as partições entre uma unidade habitacional e o seu entorno, tanto o exterior, no caso das fachadas dos dormitórios, quanto o interior, como os apartamentos vizinhos e as áreas comuns da edificação, por exemplo. Apesar disso, optou-se por incluir na avaliação as paredes internas que servem de divisória entre dois ambientes, sendo, pelo menos um deles, um quarto. Para essa situação, foram adotados os mesmos níveis recomendados para o isolamento de paredes entre unidades habitacionais autônomas com, pelo menos, um dos ambientes sendo dormitório.

3.2.2.1 Medições de isolamento de ruído aéreo entre recintos

As medições de isolamento de ruído aéreo entre recintos em ambos os objetos foram realizadas conforme recomendações da ISO 140-4 (1998), adotando-se os requisitos gerais do método de engenharia, inclusive no que se refere às posições dos equipamentos:

- O medidor foi posicionado em 5 pontos fixos, obedecendo às distâncias mínimas: 0,7m entre as posições, 0,5m das superfícies e 1m da fonte;
- A fonte foi posicionada em dois pontos da sala emissora, com afastamento entre eles de, no mínimo, de 1,4m e a 0,5m das superfícies. Nas duas situações a fonte foi colocada em um dos “cantos” da sala emissora.

Obedecendo as recomendações da NBR 15575 (ABNT, 2013), as medições foram feitas com portas e janelas fechadas. Antes de iniciar as medições, conforme recomendação da NBR 10151 (ABNT, 2000), foi feita a aferição do medidor de pressão sonora com o calibrador acústico.

Para obter o nível de pressão sonora na sala emissora (L1), foram feitas medições com a fonte em funcionamento, posicionando-a em dois pontos da sala emissora (F), e com o medidor de pressão sonora em cinco posições no mesmo ambiente (E). Em seguida, para a obtenção do nível de pressão sonora na sala receptora (L2), foi repetido o procedimento, colocando, porém, o medidor em cinco posições na sala de recepção (R). Essa rotina foi repetida para cada uma das situações de medição de isolamento de ruído aéreo entre recintos. Nessas situações, o software dBati32 foi configurado para a função “espectro padrão”, a qual permite apresentar os resultados por faixas de frequência e o nível de pressão equivalente (Leq1 e Leq2).

A etapa seguinte foi a medição do tempo de reverberação (Tr) no ambiente receptor, tendo como fonte o ruído do estouro de balões de borracha. Os balões foram estourados a 1,2m de distância do medidor. Para cada uma das três posições do medidor, foram feitos três estouros. Foram escolhidos os pontos de medição de acordo com a proximidade da partição em análise, buscando-se sempre os mais próximos. O software dBati32 foi configurado para a função “tempo de reverberação”, a qual apresenta os resultados do decaimento nas diversas faixas de frequência.

O ruído de fundo (B2), definido por Gerges (2000) como todo o ruído de fontes secundárias, ou seja, que não é o ruído em análise, que chega ao microfone, na posição do receptor, foi medido nos ambientes receptores, com a fonte desligada e três posições do

medidor, as mesmas do tempo de reverberação. O software dB Bati32 foi configurado para a função “ruído de fundo”, apresentando os resultados por faixas de frequência.

Ao final, os resultados das medições foram organizados em planilhas para facilitar a análise. Para cada partição, foi calculada a média aritmética dos valores obtidos para cada parâmetro (L1, L2, B2 e Tr) e, em seguida, os resultados foram inseridos nas equações para o cálculo da Diferença Padronizada de Nível Ponderada, a 2 metros ($D_{nT,w}$) de cada parede avaliada (Apêndices A e C).

3.2.2.2 Medições de isolamento de ruído aéreo de fachadas

O método de engenharia para a medição de isolamento de ruído aéreo de fachadas é descrito na ISO 140-5 (1998). Os equipamentos de medição foram os mesmos usados na medição entre recintos. O software utilizado para as medições também foi o dB Bati32, através das mesmas funções: espectro padrão, para as medições de nível de pressão sonora; tempo de reverberação; e ruído de fundo.

Assim como nas medições entre recintos, nas de fachadas dos quartos foram feitas em bandas de 1/3 de oitava, com o medidor de pressão sonora posicionado em 5 pontos fixos. Foram adotadas as distâncias mínimas de 0,7m entre as posições do medidor, 0,5m de afastamento em relação às superfícies e 1m da fonte. Como os edifícios possuem pilotis, a fonte foi colocada no pavimento térreo.

O primeiro passo das medições foi gerar um campo sonoro exterior, com o método de alto-falantes, utilizando o ruído branco, com a fonte emissora posicionada de modo a formar um ângulo de 45° em relação à normal da fachada. Cada medição teve duração de 6 segundos. Em cada situação de medição, a fonte foi posicionada em dois locais diferentes do lado de fora. Para cada posição da fonte, o medidor foi posicionado em três pontos a 2m da fachada, para a obtenção do nível de pressão sonora no emissor (L1) e, em seguida, em cinco pontos, dentro do ambiente receptor.

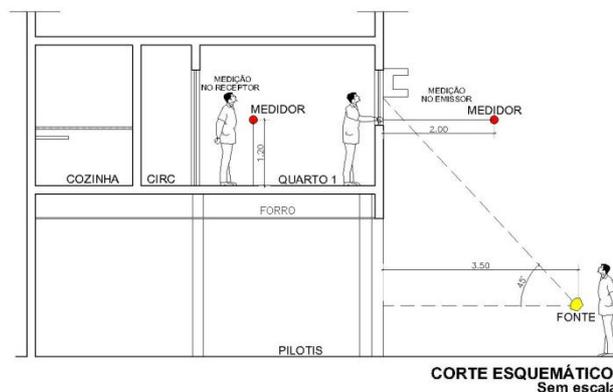
Nas medições no ambiente emissor, para que o medidor pudesse ficar a 2m de distância da fachada, ele foi acoplado ao tripé e suspenso pela varanda ou pela janela (Figuras 68 e 69).

Figura 68- Posicionamento do medidor na medição do isolamento de ruído aéreo de fachada, ilustrando o método de medição nos pontos externos



Fonte: Arquivo pessoal (2014)

Figura 69 – Corte esquemático do objeto 1 ilustrando o posicionamento do medidor e da fonte sonora nas medições de isolamento sonoro ao ruído aéreo da fachada do quarto 1



Fonte: Arquivo pessoal (2014)

Em seguida, partiu-se para as medições no ambiente receptor, realizadas em três etapas:

- 1ª etapa: Medição do nível de pressão sonora (L₂) com a fonte em funcionamento, com a fonte em duas posições (F) e o medidor de pressão sonora em cinco pontos diferentes (R), com espaçamento uniforme, tendo como distâncias mínimas: 0,7m entre os pontos do microfone; 0,5m do perímetro do ambiente ou de demais objetos; 1m entre qualquer posição do microfone e a fonte sonora;
- 2ª etapa: Medição do ruído de fundo (B₂) com três posições do medidor de pressão sonora e a fonte desligada. Foram escolhidos os pontos mais próximos da fachada;
- 3ª etapa: Medição do tempo de reverberação (Tr), com o estouro de balões de borracha como fonte e três posições de microfone, com três estouros para cada posição. Os pontos escolhidos para o medidor foram os mesmos do ruído de fundo

Todos os dados resultantes das medições nas fachadas foram sistematizados em planilhas e, em seguida, foram calculadas as médias aritméticas de cada parâmetro, para cada partição analisada, chegando-se a uma tabela final com os valores por frequências e globais (equivalentes) (Apêndices B e D). Essas serão as informações que serão inseridas nas equações para o cálculo da Diferença Padronizada de Nível Ponderada, a 2 metros ($D_{2m,nT,w}$) para cada fachada avaliada.

3.2.3 Pontos de medição

Nesta sub-seção serão apresentados os pontos em que foram posicionados os equipamentos de medição, o medidor de pressão sonora e o alto-falante, de acordo com o que foi descrito anteriormente, separando por objeto. Para cada um, serão descritos, primeiro os

pontos das medições do isolamento ao ruído aéreo entre recintos e, posteriormente, os das medições do isolamento ao ruído aéreo de fachadas.

3.2.3.1 Objeto 1

No edifício denominado **objeto 1** foram realizadas dez medições, sendo oito avaliando os recintos (cinco internos, uma entre o apartamento em estudo e o hall entre os apartamentos e duas entre apartamentos vizinhos) e duas de fachadas (Figura 70).

Figura 70- Planta baixa com as partições analisadas no objeto 1



Fonte: Arquivo pessoal (2014)

LEGENDA:

- Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação) nas situações que não haja ambiente dormitório
- Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação) no caso de pelo menos um dos ambientes ser dormitório
- Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas de trânsito eventual, tais como corredores e escadaria de pavimentos
- Vedação externa – habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III

Essas dez situações de medição foram agrupadas em três grupos: recintos internos à unidade habitacional em estudo com, pelo menos, um dos ambientes sendo dormitório; recintos vizinhos, como os apartamentos contíguos e o hall entre os apartamentos; e fachadas. (Tabela 37).

Tabela 37 – Detalhamento das situações de medições de campo do Objeto 1, divididas por grupo, indicando os parâmetros de medição e as partições avaliadas, com as respectivas siglas dos ambientes

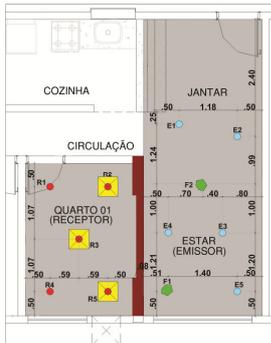
Grupo	Parâmetro	Sigla	Partição avaliada
Recintos internos	D _{nT,w} 1	SE- Q1	Parede interna entre a sala de estar e o Quarto 1
	D _{nT,w} 2	Q2-Q1	Parede interna entre o Quarto 2 e o Quarto 1
	D _{nT,w} 3	COZ/CIRC-Q1	Parede interna entre a Cozinha integrada à Circulação e o Quarto 1
	D _{nT,w} 4	COZ/CIRC-Q2	Parede interna entre a Cozinha integrada à Circulação e o Quarto 2
	D _{nT,w} 5	BWC-Q2	Parede interna entre o banheiro e Quarto 2
Recintos vizinhos	D _{nT,w} 6	SE103-SE104	Parede entre a sala de estar do apartamento 103 e a sala de estar do apartamento 104
	D _{nT,w} 7	HALL - COZ/JAN	Parede entre o hall entre os apartamentos e Cozinha integrada à sala de jantar
	D _{nT,w} 8	Q2_105-Q2_104	Parede entre o Quarto 2 do apartamento 105 e o Quarto 2 do apartamento 104
Fachadas	D _{2m,nTw} 1	F-Q1	Fachada do Quarto 1
	D _{2m,nTw} 2	F-Q2	Fachada do Quarto 2

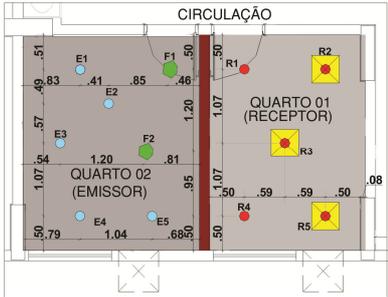
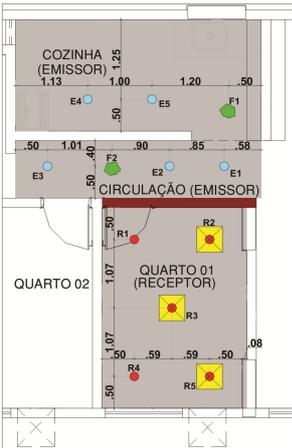
O detalhamento das situações de medição no objeto 1, incluindo os pontos de posicionamento da fonte e do medidor para cada partição analisada, será apresentado a seguir.

- Medições de isolamento de ruído aéreo entre recintos

Nas medições no objeto 1 foram obedecidos os procedimentos gerais de medição apresentados na sub-seção anterior, com exceção da avaliação do isolamento da parede entre o Banheiro e o Quarto 2 que, devido às dimensões reduzidas do Banheiro (sala emissora), só foi possível posicionar o medidor em um ponto para cada posição da fonte, mas as medições nos receptores foram normais (Tabela 38).

Tabela 38 - Situações das medições de isolamento de ruído aéreo entre recintos no Objeto 1, em campo, com os ambientes emissores e receptores, os pontos de medição e as fotos dos ambientes

Tipo	Parâmetro Emissor/Receptor	Pontos De Medição	Fotos
Recintos - internos	D _{nTw} 1 Sala de estar/ Quarto 1		 <p>Quarto 1</p>

<p>$D_{nTw} 2$ Quarto 2/ Quarto 1</p>		
<p>$D_{nTw} 3$ Cozinha-circulação/ Quarto 1</p>		
<p>$D_{nTw} 4$ Cozinha-circulação / Quarto 2</p>		 <p>Cozinha/ Serviço</p>
<p>$D_{nTw} 5$ Banheiro/ Quarto 2</p>		 <p>Quarto 2</p>

Recintos - vizinhos	<p>D_{nTw} 6</p> <p>Hall/ Jantar-Cozinha</p>		<p>Hall do primeiro andar da torre 1</p>
	<p>D_{nTw} 7</p> <p>Sala estar 103- Sala estar 104</p>		<p>Sala de estar</p>
	<p>D_{nTw} 8</p> <p>Quarto 2_105/ Quarto 2_104</p>		

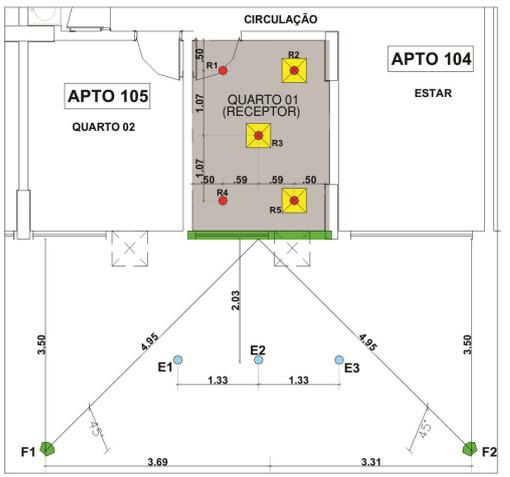
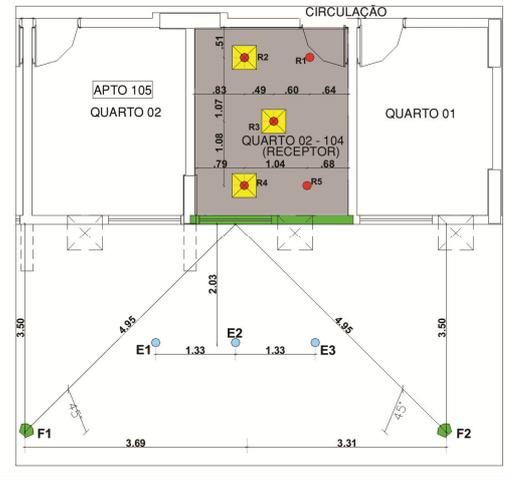
LEGENDA:

- Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação) nas situações que não haja ambiente dormitório
- Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação) no caso de pelo menos um dos ambientes ser dormitório
- Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas de trânsito eventual, tais como corredores e escadaria de pavimentos
- Vedação externa – habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III
- Vedação externa – habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, desde que esteja de acordo com a legislação – Classe II
- Posição da fonte
- Posição do medidor na sala emissora
- Posição do medidor na sala receptora
- Ponto de medição do ruído de fundo e do tempo de reverberação

- Medições de isolamento de ruído aéreo de fachadas

As fachadas avaliadas no objeto 1 foram as dos dois quartos, obedecendo às recomendações da ISO 140-5 (1998) (Tabela 39).

Tabela 39 - Situações das medições de isolamento de ruído aéreo de fachada, em campo, no objeto 1, com os ambientes emissores e receptores, os pontos de medição e as fotos dos ambientes

Tipo	Parâmetro Emissor/Receptor	Pontos De Medição	Fotos
Fachadas	D _{2m,nTw} 1 Fachada Quarto 01		 <p>Fachadas Quartos 1 e 2</p>
	D _{2m,nTw} 2 Fachada Quarto 02		

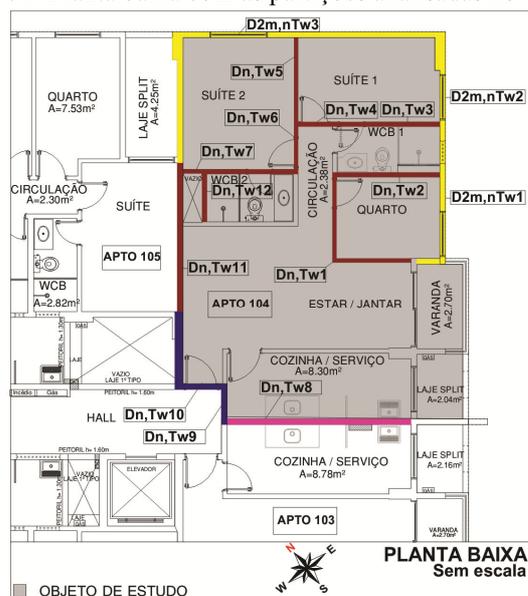
LEGENDA:

-  Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação) nas situações que não haja ambiente dormitório
-  Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação) no caso de pelo menos um dos ambientes ser dormitório
-  Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas de trânsito eventual, tais como corredores e escadaria de pavimentos
-  Vedação externa-habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III
-  Vedação externa – habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, desde que esteja de acordo com a legislação – Classe II
-  Posição da fonte
-  Posição do medidor na sala emissora
-  Posição do medidor na sala receptora
-  Ponto de medição do ruído de fundo e do tempo de reverberação

3.2.3.2 Objeto 2

Para a avaliação do isolamento sonoro do objeto 2 foram feitas quinze medições, sendo doze avaliando os recintos (sete internas, duas entre o apartamento em estudo e o hall entre os apartamentos e três entre apartamentos vizinhos) e três de fachadas (Figura 71).

Figura 71- Planta baixa com as partições analisadas no objeto 2



Fonte: Arquivo pessoal (2014)

LEGENDA:

- Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação) nas situações que não haja ambiente dormitório
- Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação) no caso de pelo menos um dos ambientes ser dormitório
- Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas de trânsito eventual, tais como corredores e escadaria de pavimentos
- Vedação externa – habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, desde que esteja de acordo com a legislação – Classe II

As quinze situações de medição foram agrupadas nos mesmos três grupos do objeto 1: recintos internos à unidade habitacional em estudo com, pelo menos, um dos ambientes sendo dormitório; recintos vizinhos, como os apartamentos contíguos e o hall entre os apartamentos; e fachadas. (Tabela 40).

Tabela 40 - Detalhamento das situações de medições de campo do Objeto 2, divididas por grupo, indicando os parâmetros de medição e as partições avaliadas, com as respectivas siglas dos ambientes

Grupo	Parâmetro	Sigla	Partição avaliada
Recintos internos	DnT,w 1	SE/CIRC-Q	Parede interna entre a sala de estar integrada à circulação e o Quarto
	DnT,w 2	WCB1-Q	Parede interna entre o banheiro reversível da suíte 1 e o Quarto
	DnT,w 3	WCB1-S1	Parede interna entre o banheiro reversível da suíte 1 e a Suíte 1

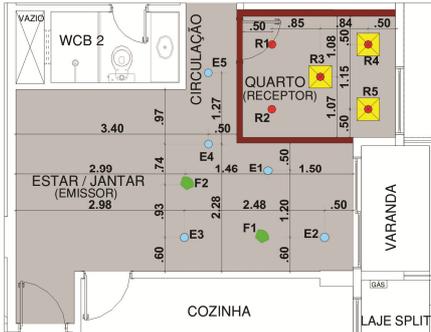
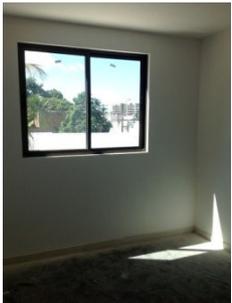
	DnT,w 4	CIRC/S1	Parede interna entre a circulação entre os quartos e a Suíte 1
	DnT,w 5	S2/S1	Parede interna entre a Suíte 2 e a Suíte 1
	DnT,w 6	CIRC-S2	Parede interna entre a circulação entre os quartos e a Suíte 2
	DnT,w 7	WCB2-S2	Parede interna entre o banheiro da suíte 2 e a Suíte 2
Recintos vizinhos	DnT,w 8	COZ103-COZ-104	Parede entre a cozinha do apartamento 103 e a cozinha do apartamento 104
	DnT,w 9	HALL-COZ-104	Parede entre o hall dos apartamentos e a cozinha do apartamento 104
	DnT,w 10	HALL-SE	Parede entre o hall dos apartamentos e a sala de estar do apartamento 104
	DnT,w 11	SE – S 105	Parede entre a sala de estar do apartamento 104 e a suíte 1 do apartamento 105
	DnT,w 12	WCB2 – S 105	Parede entre o banheiro da suíte 2 do apartamento 104 e a suíte 1 do apartamento 105
Fachadas	D2m,nTw 1	F-Q	Fachada do Quarto
	D2m,nTw 2	F-S1	Fachada da Suíte 1
	D2m,nTw 3	F-S2	Fachada da Suíte 2

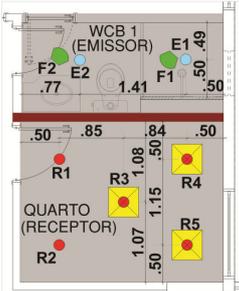
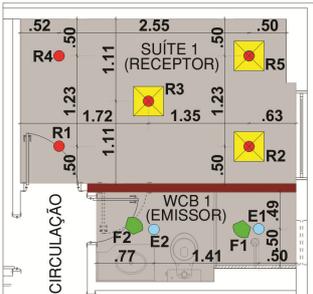
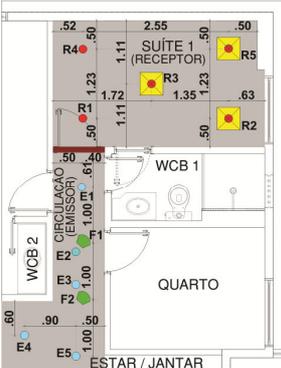
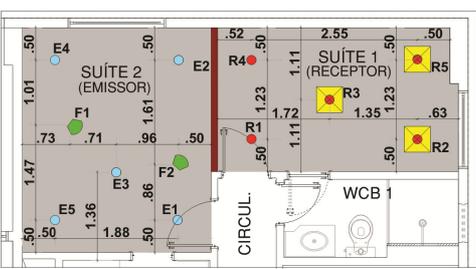
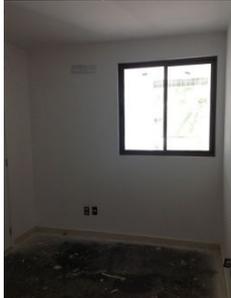
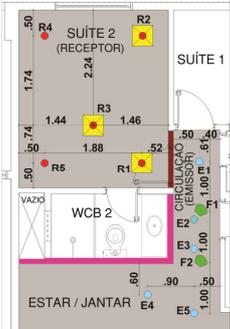
As situações de medição no objeto 2 serão detalhadas a seguir, com as indicações dos pontos em que a fonte e o medidor foram posicionados em cada partição analisada.

- Medições de isolamento de ruído aéreo entre recintos

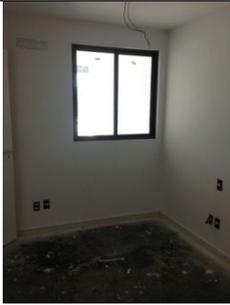
As medições no objeto 2 seguiram os procedimentos da ISO 140-4 (1998), porém, nos casos que incluíam banheiros, tiveram que ser feitas adequações, já que as dimensões reduzidas desses ambientes não permitiram a colocação do medidor em cinco pontos, com as distâncias mínimas estabelecidas na norma. Isso foi feito: nas medições entre o banheiro da suíte 1 e o quarto (WCB1-Q); entre o mesmo banheiro e a suíte 1 (WCB1-S1); entre o banheiro da suíte 2 e a suíte 2 (WCB2-S2); e entre esse mesmo banheiro e a suíte do apartamento 105 (Tabela 41).

Tabela 41 - Situações das medições de campo do isolamento ao ruído aéreo entre recintos no objeto 2, com os ambientes emissores e receptores, os pontos de medição e as fotos dos ambientes

Tipo	Parâmetro Emissor/Receptor	Pontos De medição	Fotos
Recintos - internos	D _{nTw} 1 Sala de estar/ Quarto		 <p>Quarto</p>

<p>$D_{nTw} 2$ Banheiro (WCB1)/ Quarto</p>		 <p>Banheiro 1</p>
<p>$D_{nTw} 3$ Banheiro (WCB1) / Suíte 1</p>		 <p>Banheiro 1</p>
<p>$D_{nTw} 4$ Circulação/ Sala de estar/ Suíte 1</p>		 <p>Circulação interna</p>
<p>$D_{nTw} 5$ Suíte 2/ Suíte 1</p>		 <p>Suíte 1</p>
<p>$D_{nTw} 6$ Circulação/ Sala de estar/ Suíte 2</p>		 <p>Suíte 2</p>

Recintos - vizinhos	<p>D_{nTw} 7 Banheiro (WCB2) / Suíte 2</p>		<p style="text-align: center;">Banheiro 2</p>
	<p>D_{nTw} 8 Cozinha 103/ Cozinha 104</p>		<p style="text-align: center;">Cozinha 103</p>
	<p>D_{nTw} 9 Hall dos apartamentos/ Cozinha 104</p>		<p style="text-align: center;">Cozinha 104</p>
	<p>D_{nTw} 10 Hall dos apartamentos/ Sala de estar 104</p>		<p style="text-align: center;">Hall entre os apartamentos</p>
	<p>D_{nTw} 11 Sala de estar 104/ Suíte 105</p>		<p style="text-align: center;">Sala de estar</p>

<p style="text-align: center;">D_{nTw} 12 Banheiro 2/ Suíte 105</p>		 <p style="text-align: center;">Suíte 105</p>
--	--	--

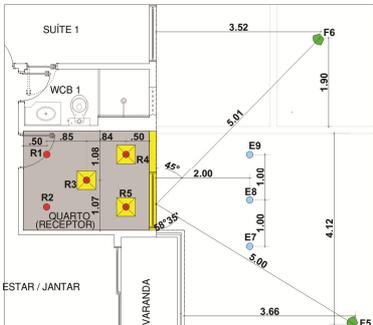
LEGENDA:

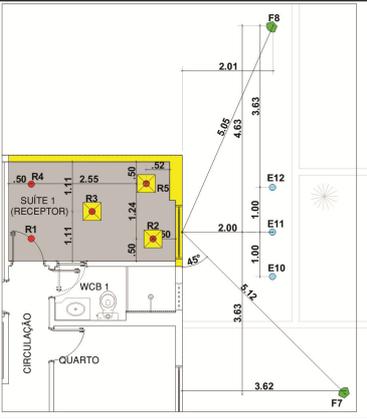
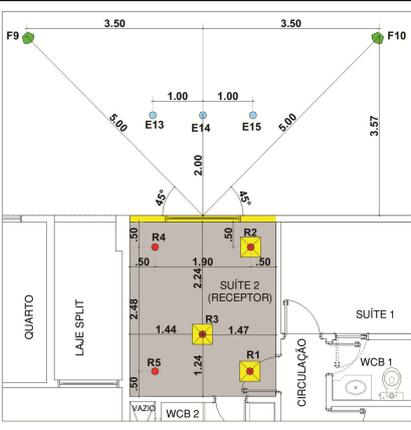
- Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação) nas situações que não haja ambiente dormitório
- Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação) no caso de pelo menos um dos ambientes ser dormitório
- Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas de trânsito eventual, tais como corredores e escadaria de pavimentos
- Vedação externa – habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III
- Vedação externa – habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, desde que esteja de acordo com a legislação – Classe II
- Posição da fonte
- Posição do medidor na sala emissora
- Posição do medidor na sala receptora
- Ponto de medição do ruído de fundo e do tempo de reverberação

- Medições de isolamento de ruído aéreo de fachadas

As fachadas avaliadas no objeto 2 foram a do quarto e as das duas suítes, obedecendo às recomendações da ISO 140-5 (1998) (Tabela 42).

Tabela 42 - Situações das medições de campo do isolamento ao ruído aéreo de fachadas no objeto 2, com os ambientes emissores e receptores, os pontos de medição e as fotos dos ambientes

Tipo	Parâmetro Emissor/Receptor	Pontos De medição	Fotos
Fachadas	$D_{2m,nTw}$ 1 Fachada Quarto		 <p style="text-align: center;">Fachadas Quarto e Suíte</p>

<p>$D_{2m,nTw} 2$ Fachada Suíte 1</p>		<p>1</p>
<p>$D_{2m,nTw} 3$ Fachada Suíte 2</p>		 <p>Fachada Suíte 2</p>

LEGENDA:

- Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação) nas situações que não haja ambiente dormitório
- Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação) no caso de pelo menos um dos ambientes ser dormitório
- Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas de trânsito eventual, tais como corredores e escadaria de pavimentos
- Vedação externa – habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III
- Vedação externa – habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, desde que esteja de acordo com a legislação – Classe II
- Posição da fonte
- Posição do medidor na sala emissora
- Posição do medidor na sala receptora
- Ponto de medição do ruído de fundo e do tempo de reverberação

3.3 Método de certificação adotado

Dentre as certificações encontradas na revisão bibliográfica, o método de classificação italiano proposto pela Certificação de Qualidade Geral das Construções da BGP foi considerado o mais adequado para servir de modelo para a proposta de certificação que será apresentada nesta dissertação. Foram três as principais razões de escolha: a) o fato de levar em conta os parâmetros acústicos que melhor refletem o desempenho de habitações; b) o sistema de ponderação, que faz, inclusive, uma relação com o custo das construções; e c) a

apresentação visual do resultado final: uma etiqueta que lembra o selo PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica) Eletrobrás de Economia de Energia, que tem como objetivo orientar o consumidor no ato da compra, iniciativa que tem apresentado ótimos resultados por ser de fácil compreensão para o consumidor.

Esse método de classificação foi adaptado através da inserção de padrões e dados das normas brasileiras, fazendo-se um recorte para partições verticais. Assim, chegou-se a uma proposta brasileira de certificação do isolamento acústico de partições verticais de ambientes residenciais, a partir de resultados obtidos em medições de campo, já que é a temática deste trabalho.

Dos cinco parâmetros acústicos adotados pela Certificação BGP, o único adotado foi o $D_{2m,nT,w}$, diferença padronizada de nível ponderada da vedação externa para ensaios de campo. Todavia, foi acrescentado o $D_{nT,w}$ (Diferença padronizada de nível ponderada entre ambientes), parâmetro utilizado na avaliação de isolamento de ruído aéreo entre recintos internos.

Como o foco são resultados obtidos em medições de campo, o R_w , que é obtido a partir de ensaios em laboratório de componentes, elementos e sistemas construtivos aplicados em paredes de vedação entre ambientes contíguos, não foi adotado como parâmetro para a proposta de certificação. Isso também pelo fato das alvenarias tradicionais no Brasil serem rigidamente ligadas à laje, de modo que a transmissão sonora não se dá apenas pela partição (FERREIRA NETO, 2009). Por isso, ao invés do índice de redução sonora aparente, na prática, é adotada a diferença padronizada de nível como parâmetro para a avaliação em campo do isolamento de ruído aéreo em partições.

A falta do equipamento específico para a geração do ruído de impacto, a *tapping machine*, impossibilitou a realização das medições de isolamento de piso, portanto os limites do nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado ($L'_{n,w}$) não foram calculados. Hoje em dia a avaliação mais comum adotada é a dos pavimentos-tipo, nos quais a planta baixa de cada pavimento é repetida nos demais, de modo que situações com apartamentos com banheiros sobre quartos não são encontradas. Assim, não foi avaliado o incômodo provocado pelo ruído de impacto produzido pelas vibrações nas instalações hidrossanitárias nos dormitórios (LASmax). Nenhum dos dois objetos estudados possui sistema de ventilação mecânica, por isso os valores máximos do nível de pressão sonora contínuo equivalente ponderado A (LAeq) não foram adotados também.

Os resultados encontrados do isolamento de fachadas e de paredes internas, obtidos por medições de campo, a serem aplicados na certificação proposta, devem estar de acordo com os procedimentos das normas ISO 140-4(1998), ISO 140-5(1998), ISO 717-1 (1996) e ISO 3382 (1997).

Na elaboração da escala dos requisitos acústicos para edifícios residenciais, os valores limites adotados foram os estabelecidos na Norma de Desempenho 15575 (ABNT, 2013) para as vedações verticais. Para cada um dos parâmetros, foi determinado o valor central, posicionado na coluna D/4, correspondente ao valor intermediário entre os limites inferiores e superiores estabelecidos para cada situação na Norma de Desempenho. Esses dois últimos limites foram colocados nas colunas extremas: G/1 e A/7, respectivamente. Nas colunas restantes foram distribuídos, em intervalos uniformes, os valores intermediários entre os limites inferior e o central, e entre este e o superior. (Tabela 43). Podem ser acrescidos quantos parâmetros forem necessários, desde que estejam previstos na norma de desempenho.

Tabela 43- Escala dos requisitos acústicos para edifícios residenciais

PARÂMETRO	LIMITES POR CLASSE/PONTUAÇÃO (dB)						
	G/1	F/2	E/3	D/4	C/5	B/6	A/7
Parede entre unidades habitacionais autônomas, nas situações onde não haja ambiente dormitório	≤40	41-42	43-44	45	46-47	48-49	≥50
Parede entre unidades habitacionais autônomas, no caso em que, pelo menos, um dos ambientes é um dormitório	≤45	46-47	48-49	50	51-52	53-54	≥55
Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual como corredores e escadaria dos pavimentos	≤30	31-32	33-34	35	36-37	38-39	≥40
Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas – CLASSE I.	≤25	26-27	28-29	30	31-32	33-34	≥35
Habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III	≤30	31-32	33-34	35	36-37	38-39	≥40
Habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, desde que conforme a legislação – CLASSE III	≤35	36-37	38-39	40	41-42	43-44	≥45

Fonte: Adaptado de Cotana e Goretti (2010)

Ao se comparar os limites estabelecidos para o parâmetro Diferença de ruído aéreo de fachadas ($D_{2m,nTw}$) na proposta original de certificação da BGP, sendo o inferior 33dB (classe G/ pontuação 1) e o superior 43dB (classe A/ pontuação 7), com os que foram adotados para esta adaptação, observa-se que a certificação italiana é mais rígida que a adaptação nas fachadas Classe I e naquelas que não se enquadram nem na classe I e nem na III (Tabela 43). Nas fachadas Classe III, porém, a adaptação é mais rígida que a certificação BGP. Esta

comparação não pode ser feita nos demais parâmetros, pois diferem dos empregados na proposta italiana.

Esse esquema permite analisar os parâmetros acústicos de forma integrada, diferentemente da norma de desempenho. Para chegar ao índice final, que será chamado neste trabalho de Desempenho Acústico - DA (com origem no inglês, *Acoustical Performance* – AP, termo adotado no estudo italiano), foram estabelecidos pesos para cada parâmetro, de acordo com o grau de importância do isolamento em relação ao conforto do usuário. Para o sistema de ponderação foi adotado o mesmo raciocínio empregado pela BGP, atribuir um peso maior para parâmetros considerados mais importantes para um desempenho acústico adequado.

Foram estabelecidos quatro grupos de parâmetros e, para cada um deles, um valor para o seu peso. O isolamento de ruído externo que é transmitido através da fachada foi considerado o mais importante, com peso 0,35, visto que o usuário da unidade habitacional não possui controle algum sobre ele. Em ordem decrescente de importância, o segundo grupo é o do isolamento sonoro entre recintos vizinhos, como os apartamentos contíguos e o hall dos pavimentos, com um dormitório em, pelo menos, um dos ambientes de medição, com peso 0,30. Neste caso, apesar da fonte de ruído também não poder ser controlada pelo usuário do objeto de estudo, a intensidade e a frequência de ocorrência de ruídos indesejáveis são menores, sendo reguladas pelas regras do condomínio. Em seguida, as situações semelhantes à anterior, ou seja, entre recintos vizinhos, mas sem dormitórios envolvidos, com peso 0,20. Por fim, o isolamento dos ambientes internos aos objetos de estudo que envolvem quartos, com 0,15 (Tabela 44). A divisão dos valores atribuídos aos pesos foi feita de modo que o somatório dos quatro resultasse em 1, equivalente a 100%.

Tabela 44- Pesos normalizados atribuídos aos grupos de parâmetros acústicos

GRUPOS		PESO
1	Fachadas	0,35 (35%)
2	Recintos vizinhos com dormitórios envolvidos	0,30 (30%)
3	Recintos vizinhos sem dormitórios envolvidos	0,20 (20%)
4	Recintos internos com dormitórios	0,15 (15%)
DA		1,00 (100%)

Para avaliações que incluam o isolamento sonoro de impacto de piso, que não é o caso desta dissertação, é feita uma proposta de tabela de pesos normalizados (Tabela 45), com a inclusão de mais dois grupos: a) sistemas de piso separando unidades habitacionais autônomas posicionadas em pavimentos distintos; e b) sistemas de piso de áreas de uso coletivo sobre unidades habitacionais autônomas. Os ruídos de impacto de piso provocam

grande incômodo aos moradores dos apartamentos que ficam abaixo das superfícies que recebem o impacto de fontes diversas: queda de objetos, arrastar de móveis e caminhar com sapatos de salto alto, por exemplo. Por isso, o peso atribuído a esses dois grupos foi elevado, sendo que, para as áreas comuns (salas de ginásticas, salão de festas, salão de jogos, dentre outras), esse valor foi ainda maior, por gerarem perturbações mais intensas.

Assim, o grupo de fachadas (ruído aéreo) foi mantido como o mais importante, portanto, com maior peso (0,30), seguido pelos grupos de ruído de impacto de piso, sendo atribuído aos sistemas de piso de áreas de uso coletivo sobre unidades habitacionais peso 0,25 e, para os sistemas de piso entre unidades habitacionais autônomas, peso 0,15, semelhante ao dos recintos vizinhos com dormitórios envolvidos (ruído aéreo). Por fim, nesta ordem, os recintos vizinhos sem dormitórios envolvidos (ruído aéreo), com 0,10, e os recintos internos com dormitórios (ruído aéreo), com 0,05 (Tabela 45).

Tabela 45 – Pesos normatizados atribuídos aos grupos de parâmetros acústicos para avaliações de isolamento sonoro que incluam o impacto de piso

GRUPOS		PESO
1	Fachadas (ruído aéreo)	0,30 (30%)
2	Sistemas de piso de áreas de uso coletivo sobre unidades habitacionais autônomas (ruído de impacto)	0,25 (25%)
3	Sistemas de piso separando unidades habitacionais autônomas posicionadas em pavimentos distintos (ruído de impacto)	0,15 (15%)
4	Recintos vizinhos com dormitórios envolvidos (ruído aéreo)	0,15 (15%)
5	Recintos vizinhos sem dormitórios envolvidos (ruído aéreo)	0,10 (10%)
6	Recintos internos com dormitórios (ruído aéreo)	0,05 (5%)
DA		1,00 (100%)

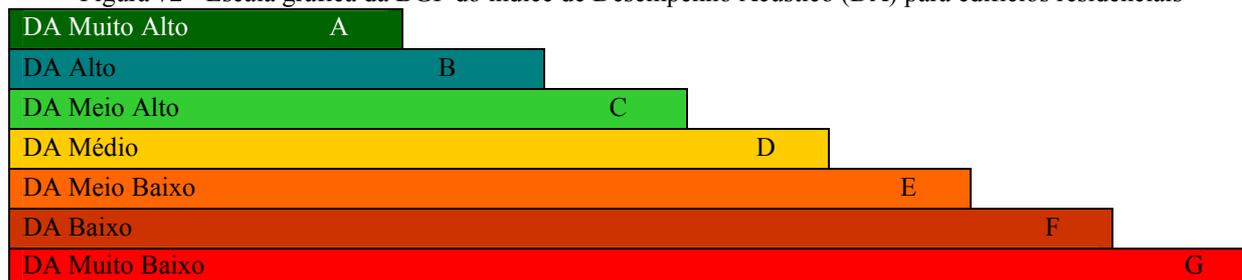
Esses valores do peso, na forma decimal, deverão ser multiplicados pela pontuação correspondente a cada parâmetro analisado, obtida na escala dos requisitos acústicos para edifícios residenciais da Tabela 43. Nos casos em que alguns parâmetros aparecem mais de uma vez dentro de um mesmo grupo, deve ser feita a média aritmética, de modo a se obter um valor único por grupo. Por fim, o índice DA é obtido somando os resultados de cada conjunto de parâmetros, e deverá ser comparado aos limites da Tabela 46 e da Figura 72 para classificar a qualidade acústica do edifício avaliado, o mesmo adotado pela BGP.

Tabela 46 – BGP: Escala padronizada do índice de Desempenho Acústico (DA) para edifícios residenciais

PARÂMETRO	CLASSE						
	G	F	E	D	C	B	A
AP	< 1,5	≥1,5 <2,5	≥2,5 <3,5	≥3,5 <4,5	≥4,5 <5,5	≥5,5 <6,5	≥6,5

Fonte: Cotana e Goretti (2010)

Figura 72 - Escala gráfica da BGP do índice de Desempenho Acústico (DA) para edifícios residenciais



Fonte: Cotana e Goretti (2010)

Para otimizar os trabalhos de campo e garantir resultados confiáveis é fundamental elaborar, previamente, um roteiro de medição, definindo os equipamentos necessários e o passo-a-passo das atividades que serão realizadas *in loco*. Todavia, para a definição da metodologia de medição é preciso conhecer bem o local a ser avaliado, por isso foi realizada a caracterização dos objetos de estudo antes da definição do método de trabalho. Os materiais e os métodos apresentados nesta seção foram aplicados nas medições de onde foram obtidos os resultados apresentados na seção seguinte.

A metodologia definida para a certificação proposta foi aplicada aos objetos em estudo, de modo a facilitar a compreensão e a análise dos valores encontrados nas medições para o público leigo, principalmente. Os resultados desta aplicação serão apresentados na seção 4.1.2.

4 ANÁLISE E DIAGNÓSTICO

A sistematização dos resultados encontrados e a inserção deles nas fórmulas de cálculo estabelecidas nas normas técnicas para a obtenção dos valores globais utilizados na *análise quantitativa* permitiu chegar às primeiras conclusões sobre o desempenho acústico dos objetos de estudo. Esses valores alimentaram a proposta de certificação, possibilitando que sua eficácia e relevância fossem testadas.

A etapa seguinte, a *análise qualitativa*, trata dos efeitos das configurações de planta e dos materiais e técnicas de construção dos objetos de estudo sobre o isolamento sonoro ao ruído aéreo de suas partições verticais. Ao final é apresentada uma comparação entre o índice de redução sonora ponderado (R_w') das soluções construtivas empregadas com o índice de algumas alternativas mais adequadas acusticamente descritas no primeiro capítulo deste trabalho.

4.1 Análise quantitativa

4.1.1 Sistematização dos resultados das medições

Após a conclusão das medições, calculadas as médias dos valores obtidos em cada ponto de medição para cada situação, os resultados foram organizados em planilhas e sistematizados de modo a facilitar a análise. Os Apêndices A e C apresentam os resultados sistematizados das medições de campo de isolamento sonoro ao ruído aéreo entre recintos e os Apêndices B e D os das medições de campo de isolamento sonoro ao ruído aéreo de fachadas.

Para cada situação, o primeiro passo foi verificar a necessidade de aplicar as correções, de acordo com os resultados do ruído de fundo. Segundo a ISO 140-4 (1998), quando a diferença entre o nível de pressão sonora na sala receptora (L_2) e o de ruído de fundo (B_2) for menor que 6dB, deve-se subtrair 1,3dB de L_2 . Caso a diferença entre o nível de pressão sonora e o de ruído de fundo fique entre 6dB e 10dB: usar a seguinte fórmula para a correção (equação 15):

$$L=10\log (10^{L_{sb}/10} - 10^{L_b/10}) \quad \text{Eq (15)}$$

L = nível de sinal ajustado (dB);

L_{sb} = nível de sinal e o ruído de fundo combinados (dB);

Lb = nível de ruído de fundo (dB)

Depois de aplicadas as devidas correções no nível de pressão sonora da sala receptora (Leq_2), e, de posse também dos valores de Leq_1 e de Tr para cada situação, eles foram aplicados na seguinte fórmula para o cálculo do D_{nT} (equação 16):

$$D_{nT} = Leq_1 - Leq_2 + 10 \log T / T_o \quad \text{Eq (16)}$$

Onde: T = tempo de reverberação da sala de recepção, em segundos;

T_o = tempo de reverberação de referência em edificações, correspondente a 0,5s para salas com até 100m³

Em seguida, foi elaborado o cálculo para a obtenção do valor global $D_{nT,w}$, também conhecido como número único, aplicando os métodos da ISO 717-1 (1996). Por fim, foram feitos os cálculos dos coeficientes de adaptação de espectro de ruído rosa (C) e de adaptação de espectro de ruído de trânsito (C_{tr}). O mesmo procedimento foi aplicado na obtenção da Diferença Padronizada de Nível a 2 metros ($D_{2m,nT}$) e da Diferença Padronizada de Nível Ponderada, a 2 metros ($D_{2m,nT,w}$). Foram inseridas ainda colunas com os limites mínimos (M) estabelecidos na Norma de Desempenho NBR 15575 (ABNT, 2013) para cada parâmetro analisado, chegando-se a uma tabela resumo com o nível de isolamento sonoro para o ruído aéreo de cada objeto e com a indicação do grau de satisfação em relação aos limites da norma (Tabelas 47 e 48). Os resultados de cada partição podem ainda ser visualizados em gráficos nos Apêndices E e F para os objetos 1 e 2, respectivamente.

Tabela 47– Resumo dos resultados da Diferença Padronizada de Nível para partições internas (D_{nT}) e para fachadas ($D_{2m,nT}$) e os seus respectivos valores globais (D_{nTw} e $D_{2m,nTw}$) em d(B) do objeto 1

Grupo	Parâmetros Acústicos	Emissor/Receptor	Frequência (Hz)															Entre recintos	Fachadas	D_{nTw} (M)	$D_{2m,nTw}$ (M)	Grau de Satisfação*	
			100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1k	1,25k	1,6k	2k	2,5k	3,15k	D_{nTw} (C;Ctr) (dB)	$D_{2m,nTw}$ (C;Ctr) (dB)	NBR 15575 (dB)		NBR 15575 (dB)
1	$D_{2m,nT}$ 1	F-Q1 Fachada quarto 01	27	23	22	22	26	23	22	25	27	26	23	22	21	26	20	28	-	24(-1;-1)		≥ 30	
	$D_{2m,nT}$ 2	F-Q2 Fachada quarto 02	18	23	19	17	22	23	20	22	20	19	20	20	19	21	15	21	-	20(-1;0)		≥ 30	
2	D_{nT} 8	Q2_105-Q2_104 Quarto 2 ap105/ Quarto 2 ap104	33	33	35	33	32	35	35	34	35	37	37	41	44	47	42	44	39 (0;-2)		45 a 49		
3	D_{nT} , 6 –	SE 103 – SE104 S. estar 103- S.estar 104	28	31	33	32	32	31	30	33	35	37	39	40	44	47	42	42	38 (0;-2)		40 a 44		
	D_{nT} , 7	HALL – COZ/JAN Hall/Jantar-Cozinha	17	17	22	23	22	22	24	24	23	24	25	25	23	22	21	20	23 (0;0)		30 a 34		
4	D_{nT} 1	SE-Q1 S. estar/ Quarto 1	16	27	24	25	22	19	21	23	23	22	22	22	23	23	21	19	22 (0;0)	-	45 a 49		
	D_{nT} 2	Q2-Q1 Quarto 1/ Quarto 2	28	31	28	29	26	28	29	30	30	29	29	29	33	38	32	28	31 (-1;-1)	-	45 a 49		
	D_{nT} , 3	COZ/ CIRC-Q1 Cozinha/circulação - Quarto 1	17	20	20	20	19	18	21	22	20	20	20	20	24	25	17	16	20 (-1;0)		45 a 49		
	D_{nT} , 4	COZ/ CIRC-Q2 Cozinha/ circulação - Quarto2	19	19	17	17	16	16	18	19	18	19	19	18	22	21	13	11	18 (-2;0)		45 a 49		
	D_{nT} , 5	BWC-Q2 Banheiro/ Quarto 2	25	16	20	23	19	21	22	25	26	25	25	23	27	26	19	16	23 (-2;0)		45 a 49		

*Grau de satisfação:



Satisfatório



Insatisfatório

Tabela 48– Resumo dos resultados da Diferença Padronizada de Nível para partições internas (D_{nT}) e para fachadas ($D_{2m,nT}$) e seus respectivos valores globais (D_{nTw} e $D_{2m,nTw}$) em d(B) do objeto 2

Grupo	Parâmetros Acústicos	Emissor/Receptor	Frequência (Hz)														Entre recintos	Fachadas	DnTw (M)	D2m,nTw (M)	Grau de Satisfação*		
			100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1k	1,25k	1,6k	2k	2,5k	3,15k	DnTw (C;Ctr) (dB)	D2m,nTw (C;Ctr) (dB)		NBR 15575 (dB)	NBR 15575 (dB)
1	$D_{2m,nT}$ 1	F-Q Fachada - quarto	24	25	20	25	29	24	24	24	22	22	24	23	22	23	18	14		21 (-1;-1)		≥ 30	
	$D_{2m,nT}$ 2	F-S1 Fachada - suíte 1	20	28	22	24	27	23	23	24	22	19	19	20	21	21	16	12		19 (-2;1)		≥ 30	
	$D_{2m,nT}$ 3	F-S2 Fachada - suíte 2	22	26	23	25	28	23	24	25	22	19	21	21	22	22	17	12		20 (-2;0)		≥ 30	
2	D_{nT} 11	SE-S105 Sala de estar do apartamento 104 - Suíte do apartamento 105	19	38	33	40	37	37	36	38	40	43	44	44	46	50	45	42	42(-1;-5)		45 a 49		
	D_{nT} 12	WCB2-S105 Banheiro Suíte 2 do apartamento 104 - Suíte ap105	34	49	39	37	42	44	42	42	47	48	50	53	54	59	56	52	49(-1;-4)		45 a 49		
3	D_{nT} 8	COZ 103-COZ 104 Cozinha 103- Cozinha 104	28	28	30	33	34	34	35	36	37	38	37	38	40	43	38	35	38(-1;-2)		40 a 44		
	D_{nT} 9	HALL-COZ 104 Hall entre apartamentos - Cozinha apartamento 104	29	25	33	32	32	33	35	35	38	39	38	40	42	45	39	35	38(-1;-2)		30 a 34		

	D _{nT} 10	HALL – SE Hall entre apartamentos – Sala de estar apartamento 104	23	24	23	21	20	25	23	24	26	25	24	26	28	28	21	16	24 (-2;0)		30 a 34	
4	D _{nT} 1	SE/ CIRC - Q Sala de estar integrada à circulação dos quartos - Quarto	13	14	15	18	18	17	17	18	19	18	21	19	22	22	17	12	19(-2;-1)	-	45 a 49	
	D _{nT} , 2	WCB1-Q Banheiro suíte 1 - Quarto	38	36	42	39	39	39	40	45	44	45	48	48	50	52	46	41	46(-1;-2)	-	45 a 49	
	D _{nT} , 3	WCB1-S1 Banheiro suíte 1 - Quarto - Suíte 1	14	21	18	14	19	18	19	20	19	20	22	22	23	26	19	13	20(-1;0)		45 a 49	
	D _{nT} , 4	CIRC-S1 Circulação entre os quartos - Suíte 1	7	12	13	14	16	14	17	17	18	18	18	18	19	22	18	10	18(-2;-2)		45 a 49	
	D _{nT} , 5	S2-S1 Suíte 2 - Suíte 1	16	28	25	24	28	29	28	30	31	31	35	34	35	37	31	25	32(-2;-2)		45 a 49	
	D _{nT} , 6	CIRC-S2 Circulação entre os quartos - Suíte 2	20	16	16	18	18	15	16	16	18	18	18	18	19	22	17	9	17(-2;0)		45 a 49	
	D _{nT} , 7	WCB2-S2 Banheiro suíte 2 - Quarto - Suíte 2	29	28	22	12	17	18	21	20	21	22	23	23	25	26	20	14	22(-2;-2)		45 a 49	

*Grau de satisfação:



Satisfatório



Insatisfatório

4.1.2 Aplicação da proposta de certificação de desempenho acústico

Para este estudo, optou-se por avaliar o desempenho acústico dos apartamentos em análise através de um método de certificação adaptado do método de Certificação de Qualidade Geral das Construções da BGP, explicados na seção 2.3. Os parâmetros acústicos utilizados nesta proposta foram aqueles usados nas medições em campo:

- Diferença padronizada de nível ponderada para parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), nas situações onde não haja ambiente dormitório ($D_{nT,w}$);
- Diferença padronizada de nível ponderada para parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), no caso em que, pelo menos, um dos ambientes é um dormitório ($D_{nT,w}$);
- Diferença padronizada de nível ponderada para parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual como corredores e escadaria dos pavimentos ($D_{nT,w}$);
- Diferença padronizada de nível ponderada da vedação externa para ensaios de campo ($D_{2m,nT,w}$);

Após a sistematização dos resultados das medições e da obtenção do valor global dos parâmetros para cada situação avaliada, esses resultados foram inseridos na tabela que contém a escala dos requisitos acústicos para chegar às classes e às pontuações de cada parâmetro (Tabelas 49 e 50). Conforme explicado na seção 3.3, os limites da NBR 15575 (ABNT, 2013) foram distribuídos em sete colunas, sendo os valores mínimos na coluna G/1 (Classe G/ 1ponto), os intermediários na D/4 (Classe D/ 4pontos) e os superiores na A/7 (Classe A/ 7pontos), sendo os demais distribuídos nas colunas intermediárias. Nas Tabelas 49 e 50 foram destacadas, com a cor cinza, as classes/ pontuações em que os resultados das medições de cada parâmetro se enquadram.

Os parâmetros de medição foram agrupados em quatro grupos, os mesmos agrupamentos do sistema de ponderação apresentado anteriormente: grupo 1 aqueles referentes ao isolamento de ruído aéreo de fachadas; grupo 2 os parâmetros de isolamento sonoro ao ruído aéreo entre recintos vizinhos, como os apartamentos contíguos e o hall dos pavimentos, com um dormitório em, pelo menos, um dos ambientes de medição; grupo 3 os parâmetro entre recintos vizinhos, mas sem dormitórios envolvidos; e o grupo 4 aqueles

relacionados ao isolamento dos ambientes internos aos objetos de estudo que envolvem quartos (Tabelas 49 e 50). Já as siglas na coluna do emissor/ receptor correspondem aos ambientes avaliados, os quais estão especificados nas tabelas 46 e 47.

Tabela 49 – Escala dos requisitos acústicos para o objeto 1

Grupo	Parâmetro	Emissor/ Receptor	Valores Medidos (dB)	Classe/ Pontuação						
				G/1	F/2	E/3	D/4	C/5	B/6	A/7
1	D _{2m,nTw} 1	F-Q1	24	≤30	31-32	33-34	35	36-37	38-39	≥40
	D _{2m,nTw} 2	F-Q2	20	≤30	31-32	33-34	35	36-37	38-39	≥40
2	D _{nT,w} 8	Q2_105- Q2_104	39	≤45	46-47	48-49	50	51-52	53-54	≥55
3	D _{nT,w} 6	SE103-SE104	38	≤40	41-42	43-44	45	46-47	48-49	≥50
	D _{nT,w} 7	HALL - COZ/JAN	23	≤30	31-32	33-34	35	36-37	38-39	≥40
4	D _{nT,w} 1	SE- Q1	22	≤45	46-47	48-49	50	51-52	53-54	≥55
	D _{nT,w} 2	Q2-Q1	31	≤45	46-47	48-49	50	51-52	53-54	≥55
	D _{nT,w} 3	COZ/CIRC-Q1	20	≤45	46-47	48-49	50	51-52	53-54	≥55
	D _{nT,w} 4	COZ/CIRC-Q2	18	≤45	46-47	48-49	50	51-52	53-54	≥55
	D _{nT,w} 5	BWC-Q2	16	≤45	46-47	48-49	50	51-52	53-54	≥55
				PIOR MELHOR 						

Fonte: Adaptado de Cotana e Goretti (2010)

Tabela 50– Escala dos requisitos acústicos para o objeto 2

Grupo	Parâmetro	Emissor/ Receptor	Valore Medido (dB)	Classe/ Pontuação						
				G/1	F/2	E/3	D/4	C/5	B/6	A/7
1	D _{2m,nTw} 1	F-Q	21	≤30	31-32	33-34	35	36-37	38-39	≥40
	D _{2m,nTw} 2	F-S1	19	≤30	31-32	33-34	35	36-37	38-39	≥40
	D _{2m,nTw} 3	F-S2	20	≤30	31-32	33-34	35	36-37	38-39	≥40
2	D _{nT,w} 11	SE – S 105	42	≤45	46-47	48-49	50	51-52	53-54	≥55
	D _{nT,w} 12	WCB2 – S 105	49	≤45	46-47	48-49	50	51-52	53-54	≥55
3	D _{nT,w} 8	COZ103-COZ- 104	38	≤40	41-42	43-44	45	46-47	48-49	≥50
	D _{nT,w} 9	HALL-COZ- 104	38	≤30	31-32	33-34	35	36-37	38-39	≥40
	D _{nT,w} 10	HALL-SE	24	≤30	31-32	33-34	35	36-37	38-39	≥40
4	D _{nT,w} 1	SE/CIRC-Q	19	≤45	46-47	48-49	50	51-52	53-54	≥55
	D _{nT,w} 2	WCB1- Q	46	≤45	46-47	48-49	50	51-52	53-54	≥55
	D _{nT,w} 3	WCB1- S1	20	≤45	46-47	48-49	50	51-52	53-54	≥55
	D _{nT,w} 4	CIRC/S1	18	≤45	46-47	48-49	50	51-52	53-54	≥55
	D _{nT,w} 5	S2/S1	32	≤45	46-47	48-49	50	51-52	53-54	≥55
	D _{nT,w} 6	CIRC-S2	17	≤45	46-47	48-49	50	51-52	53-54	≥55
	D _{nT,w} 7	WCB2-S2	22	≤45	46-47	48-49	50	51-52	53-54	≥55
				PIOR MELHOR 						

Fonte: Adaptado de Cotana e Goretti (2010)

Definidas as classes e as pontuações, partiu-se para o preenchimento da tabela de avaliação do índice do Desempenho Acústico, na qual cada parâmetro recebeu a pontuação e o peso correspondente, este último de acordo com o sistema de ponderação proposto. Esses pontos foram multiplicados pelo peso, chegando a um valor ponderado para cada parâmetro em estudo (Tabelas 51 e 52). Nessas tabelas os parâmetros também foram agrupados de acordo com os grupos do sistema de ponderação proposto e explicado anteriormente.

Tabela 51- Avaliação do índice do Desempenho Acústico (DA) do objeto 1

Grupo/Parâmetro	Emissor/ Receptor	Valores Medidos (dB)	Classe/ Pontuação	Peso	Pontuação Ponderada /Classe	
1	D _{2m,nTw} 1 - F-Q1	Jardim do pilotis/ Quarto 1	24	G/1	0,35	0,35
	D _{2m,nTw} 2- F-Q2	Jardim do pilotis/ Quarto 2	20	G/1	0,35	0,35
	MÉDIA ARITMÉTICA DO GRUPO 1					0,35
2	D _{nT,w} 8 - Q2_105- Q2_104	Quarto 2 do apto 105/ Quarto 2- 104	39	G/1	0,30	0,30
	MÉDIA ARITMÉTICA DO GRUPO 2					0,30
3	D _{nT,w} 6 - SE103- SE104	Salas de estar do apartamento 103/ Salas de estar do apartamento 104	38	G/1	0,20	0,20
	D _{nT,w} 7 - HALL - COZ/JAN	Hall dos apartamentos- 104/ Cozinha/ sala de jantar	23	G/1	0,20	0,20
	MÉDIA ARITMÉTICA DO GRUPO 3					0,20
4	D _{nT,w} 1 - SE- Q1	Sala de estar/ Quarto 1	22	G/1	0,15	0,15
	D _{nT,w} 2 - Q1-Q2	Quarto 2 / Quarto 1	31	G/1	0,15	0,15
	D _{nT,w} 3 - COZ/CIRC- Q1	Cozinha, integrada à circulação dos quartos / Quarto 1	20	G/1	0,15	0,15
	D _{nT,w} 4 - COZ/CIRC- Q2	Cozinha, integrada à circulação dos quartos / Quarto 2	18	G/1	0,15	0,15
	D _{nT,w} 5 - BWC-Q2	Banheiro/ Quarto 2	16	G/1	0,15	0,15
MÉDIA ARITMÉTICA DO GRUPO 4					0,15	
DA					1,00/G	

Tabela 52 - Avaliação do índice do Desempenho Acústico (DA) do objeto 2

Grupo/Parâmetro	Emissor/ Receptor	Valores Medidos (dB)	Classe/ Pontuação	Peso	Pontuação Ponderada /Classe	
1	D _{2m,nTw} 1- F-Q	Fachada quarto	21	G/1	0,35	0,35
	D _{2m,nTw} 2 - F-S1	Fachada Suíte 1	19	G/1	0,35	0,35
	D _{2m,nTw} 3 - F-S2	Fachada Suíte 2	20	G/1	0,35	0,35
MÉDIA ARITMÉTICA DO GRUPO 1					0,35	
2	D _{nT,w} 11 –SE – S 105	Sala de estar/ Suíte 105	42	G/1	0,30	0,30
	D _{nT,w} 12 –WCB2 – S 105	Banheiro 2/ Suíte 105	49	E/3	0,30	0,90
MÉDIA ARITMÉTICA DO GRUPO 2					0,60	
3	D _{nT,w} 8 – COZ103-COZ-104	Cozinha 103/ Cozinha 104	38	G/1	0,20	0,20
	D _{nT,w} 9 – HALL-COZ-104	Hall/ Cozinha 104	38	B/6	0,20	1,20
	D _{nT,w} 10 – HALL-SE	Hall/ Sala de estar	24	G/1	0,20	0,20
MÉDIA ARITMÉTICA DO GRUPO 3					0,53	
4	D _{nT,w} 1 – SE/CIRC-Q	Salas de estar e circulação / Quarto	19	G/1	0,15	0,15
	D _{nT,w} 2 – WCB1- Q	Banheiro 1/ Quarto	46	F/2	0,15	0,30
	D _{nT,w} 3 – WCB1- S1	Banheiro 1/ Suíte 1	20	G/1	0,15	0,15
	D _{nT,w} 4 – CIRC/S1	Circulação/ Suíte 1	18	G/1	0,15	0,15
	D _{nT,w} 5 – S2/S1	Suíte 2/ Suíte 1	32	G/1	0,15	0,15
	D _{nT,w} 6 – CIRC-S2	Circulação/ Suíte 2	17	G/1	0,15	0,15
	D _{nT,w} 7 – WCB2-S2	Banheiro 2/ Suíte 2	22	G/1	0,15	0,15
MÉDIA ARITMÉTICA DO GRUPO 4					0,17	
DA					1,65/F	

Adotando como exemplo o parâmetro D_{nT,w} 12-WCB2–S 105 do objeto 2, cujo valor global foi 49dB, observa-se na Tabela 49 que esse valor encontra-se no intervalo da coluna E/3, ou seja, classe E e pontuação 3. Como esse parâmetro faz parte do grupo 2, com peso 0,3 (Tabela 52), deve-se multiplicar o peso do grupo pela pontuação obtida na Tabela 50, portanto, 0,3 multiplicado por 3, chegando a uma pontuação ponderada de 0,9. O procedimento deve ser repetido para os demais parâmetros do mesmo grupo e, ao final, após somar as pontuações ponderadas de cada parâmetro, dividir o resultado pela quantidade de parâmetros do agrupamento, chegando-se à média ponderada do grupo.

Em cada grupo, foi feita a média aritmética dos resultados ponderados dos parâmetros para, em seguida fazer a soma e chegar ao valor do Desempenho Acústico (DA) para cada objeto (Tabelas 51 e 52). Ao aplicar os valores obtidos do índice de Desempenho Acústico (DA) para os objetos 1 e 2 na combinação das escalas padronizada (Tabela 46) e gráfica (Figura 72) da certificação BGP, constata-se que o desempenho acústico do objeto 1 foi muito baixo, ou seja, classe “G”, já o do segundo objeto foi um pouco melhor, classe “F”, baixo desempenho.

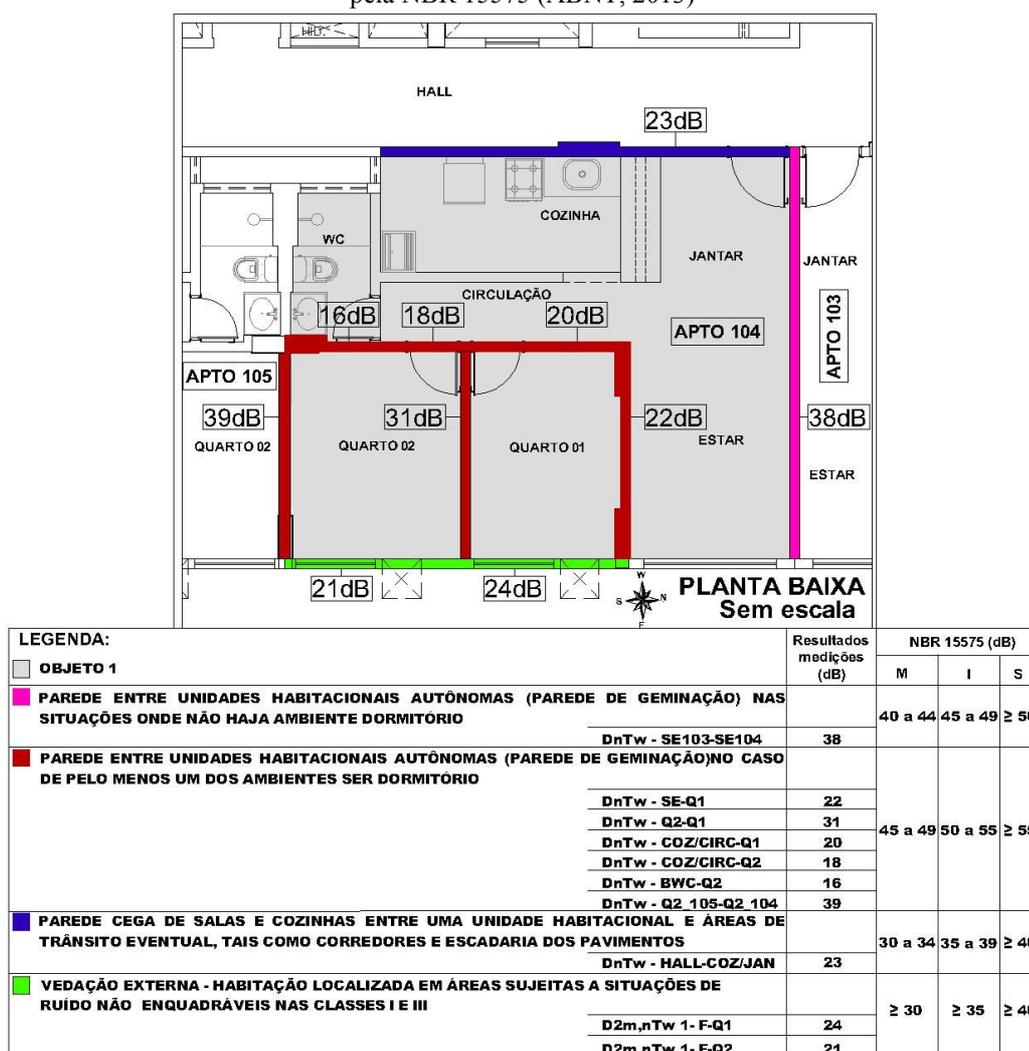
4.2 Análise qualitativa

Após analisar os resultados encontrados de forma quantitativa, foi feita a análise qualitativa, levando em consideração as estratégias de projeto, as técnicas e os materiais adotados na construção dos objetos de estudo.

4.2.1 Objeto 1

A análise da Figura 73, com a planta baixa indicando os resultados das medições em cada partição analisada no objeto 1, mostra que, de certa forma, houve um descuido com o conforto acústico e com a privacidade na fase de projeto.

Figura 73 - Planta baixa do objeto 1 indicando o resultado obtido para cada partição e os limites estabelecidos pela NBR 15575 (ABNT, 2013)



Fonte: Arquivo pessoal (2014)

A abertura da cozinha para a circulação entre os quartos faz com que os ruídos nela produzido, como os dos eletrodomésticos, acumulem-se nesse corredor e sejam transmitidos para os dormitórios. A alvenaria singela entre o banheiro e o quarto 2 não oferece resistência suficiente à passagem dos ruídos como os provenientes do acionamento da descarga sanitária. A sala de estar/ jantar, local muito utilizado para refeições em família, reuniões de amigos e de familiares, para assistir à TV e para ouvir música, portanto, fonte de ruídos diversos e de níveis elevados, é separada do quarto 1 por uma parede em alvenaria comum, sem nenhum tratamento acústico (Figura 73).

As portas dos quartos, apesar de possuir o sistema simples toque de vedação com o marco, permite a passagem de ruídos por não possuir vedação com o piso e pela baixa densidade de sua folha em madeira de compensado prensado.

Apesar de não ser avaliado neste trabalho, por não se enquadrar em nenhum dos parâmetros analisados, o vão central entre os banheiros dos apartamentos 103 e 104, que faz divisa ainda com as cozinhas dessas duas unidades e com o hall, compromete bastante o isolamento sonoro dessas habitações (Figura 73). Com a finalidade de proporcionar ventilação e exaustão nesses ambientes que não possuem ligação direta com o exterior, foram previstas janelas do tipo boca-de-lobo, abertas permanentemente, e que permitem que os ruídos, inclusive de conversação, circulem facilmente entre os ambientes que fazem o vão central. Com isso, por exemplo, os sons produzidos em um banheiro podem ser transmitidos para o do vizinho, acabando com a privacidade e podendo causar constrangimentos.

Em relação aos recintos vizinhos, também não houve essa preocupação, já que em suas paredes foram adotados os mesmos blocos cerâmicos de baixo desempenho acústico utilizados nas alvenarias das divisórias internas. No caso da parede que separa os quartos dos apartamentos 104 e 105, sua permeabilidade à passagem dos sons compromete a privacidade dos usuários e é elevada pela proximidade das janelas externas dos quartos. O isolamento da divisória que separa o hall dos apartamentos da cozinha e da sala de jantar do apartamento 104 é insuficiente para impedir que tanto os sons produzidos pelas pessoas que circulam pelo hall, como aqueles gerados pelos eletrodomésticos da cozinha e pela conversação e atividades dos moradores do objeto 1, atravessem a parede que deveria servir de barreira acústica (Figura 73).

O tipo de alvenaria empregado, a opção por janelas de correr convencionais e a abertura na parede para a instalação de aparelho de ar condicionado fragilizaram ainda mais a parede externa dos quartos (Figura 73). As caixas para ar condicionado de parede, ainda comuns nos

edifícios multifamiliares em Maceió-AL, são um grande problema para o isolamento sonoro de dormitórios, pois, mesmo após a instalação do equipamento, os pontos de infiltração de ruídos externos permanecem. Para as medições, as aberturas dos dois quartos foram vedadas com placas de isopor de 40 mm e fitas adesivas, não apresentando, porém, o mesmo desempenho que apresentaria se o vão fosse preenchido com os blocos cerâmicos originais. Mesmo assim, o resultado do desempenho das fachadas não foi satisfatório, assim como o das partições verticais internas do objeto 1 (Figura 73).

A Tabela 53 faz uma descrição detalhada da composição de cada partição avaliada, indicando as áreas de cada componente e sua relação percentual com a totalidade da parede, os resultados das medições em cada uma delas e os valores mínimos exigidos pela norma de desempenho (ABNT, 2013). Serve como complemento das informações contidas na planta baixa da Figura 73, facilitando a compreensão das observações feitas nesta seção.

Tabela 53 – Caracterização da composição das partições avaliadas no objeto 1

Parâmetro	Tipo de Partição	Material Construtivo	Área (M ²)	% Partição	Resultados medidos (dB)	NBR 15575 (M) dB
D _{2m,nTw} 1-F-Q1	Cega - alvenaria	Tijolo cerâmico 8 furos, 9x19x19cm, com pintura sobre chapisco e reboco externamente e pintura sobre massa corrida de gesso internamente	4,06	73,0%	24	≥30
	Janela de correr 2 folhas	Alumínio com vidro comum 4 mm	1,2	21,6%		
	Vão do ar condicionado	Preenchido com isopor com espessura de 40 mm	0,30	5,4%		
D _{2m,nTw} 2-F-Q2	Cega - alvenaria	Tijolo cerâmico 8 furos, 9x19x19cm, com pintura sobre chapisco e reboco externamente e pintura sobre massa corrida de gesso internamente	5,00	76,9%	21	≥30
	Janela de correr 2 folhas	Alumínio com vidro comum 4 mm	1,20	18,5%		
	Vão da caixa do ar condicionado	Preenchido com isopor com espessura de 40 mm	0,30	4,6%		
D _{nT,w} - Q2_105-Q2_104	Cega - alvenaria	Tijolo cerâmico 8 furos, 9x19x19cm, revestido com massa corrida de gesso em ambos os lados	7,98	100%	39	45 a 49

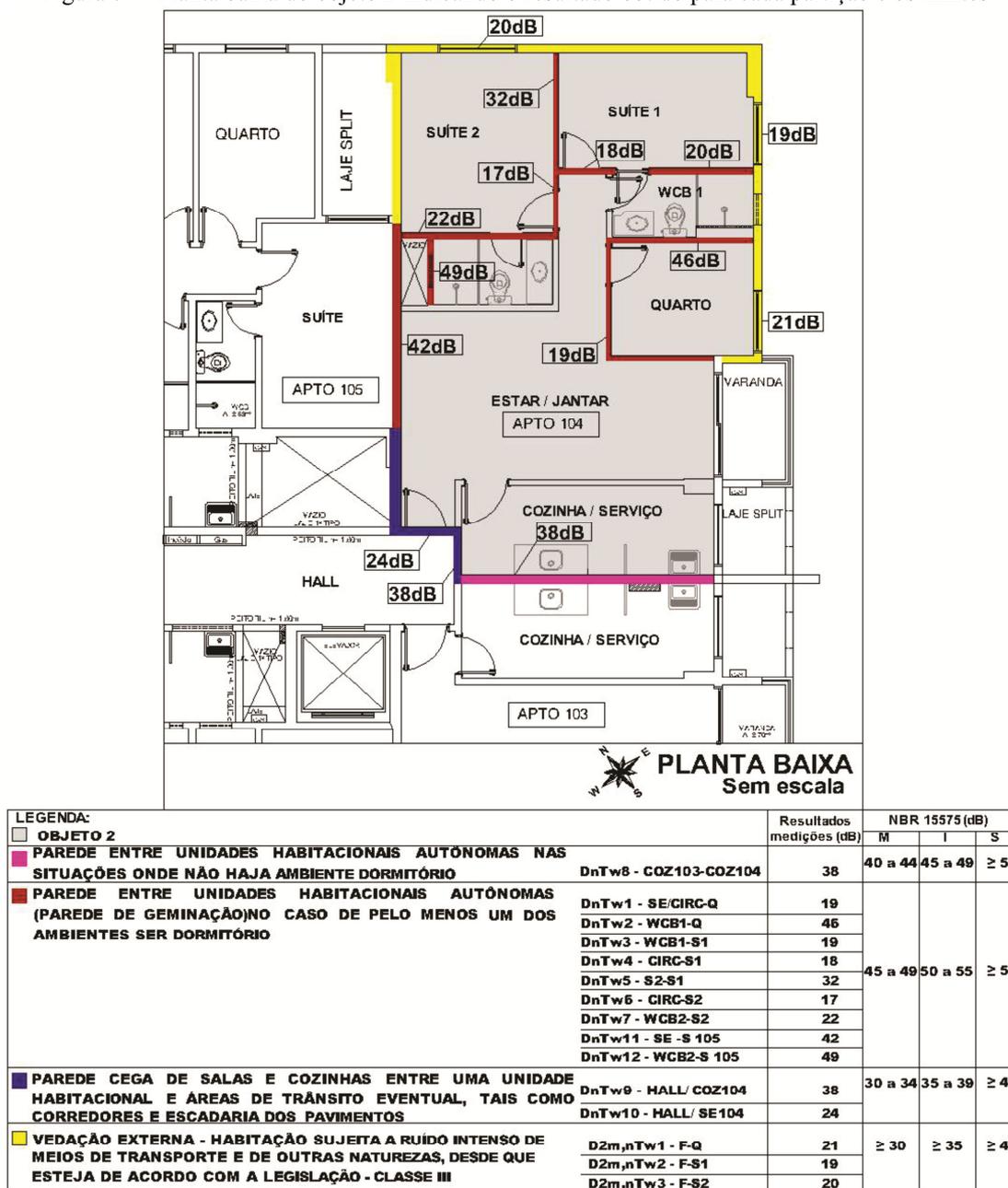
D _{nT,w} - SE103- SE104	Cega - alvenaria	Tijolo cerâmico 8 furos, 9x19x19cm, revestido com massa corrida de gesso em ambos os lados	15,55	100%	38	40 a 44
D _{nT,w} - HALL - COZ/JAN	Cega - alvenaria	Tijolo cerâmico 8 furos, 9x19x19cm, revestido com massa corrida de gesso (dentro do quarto) e cerâmica (dentro do banheiro)	13,34	76,4%	23	40 a 44
	Cega - pilar	Concreto armado (l=0,22m)	2,35	13,4%		
	Porta (1 folha)	Madeira (sarrafos prensados) pintada	1,78	10,2%		
D _{nT,w} - SE- Q1	Cega - alvenaria	Tijolo cerâmico 8 furos, 9x19x19cm, revestido com massa corrida de gesso em ambos os lados	4,36	51,7%	22	45 a 49
	Cega - pilar	Concreto armado	4,08	48,3%		
D _{nT,w} - Q2- Q1	Cega - alvenaria	Tijolo cerâmico 8 furos, 9x19x19cm, revestido com massa corrida de gesso em ambos os lados	8,03	100%	31	45 a 49
D _{nT,w} - COZ/CIRC- Q1	Cega - alvenaria	Tijolo cerâmico 8 furos, 9x19x19cm, revestido com massa corrida de gesso em ambos os lados	3,96	71,6%	20	45 a 49
	Porta (1 folha)	Madeira (sarrafos prensados) pintada	1,57	28,4%		
D _{nT,w} - COZ/CIRC- Q2	Cega - alvenaria	Tijolo cerâmico 8 furos, 9x19x19cm, revestido com massa corrida de gesso em ambos os lados	1,49	48,7%	18	45 a 49
	Porta (1folha)	Madeira (sarrafos prensados) pintada	1,57	51,3%		
D _{nT,w} - BWC-Q2	Cega - alvenaria	Tijolo cerâmico 8 furos, 9x19x19cm, revestido com massa corrida de gesso (dentro do quarto) e cerâmica (dentro do banheiro)	1,66	54,2%	16	45 a 49
	Cega - pilar	Concreto armado (l=0,30m)	1,40	45,8%		

4.2.2 Objeto 2

No objeto 2, como pode ser verificado na planta baixa da Figura 74, foram previstas algumas estratégias de projeto para reduzir a entrada no apartamento de sons indesejáveis

provenientes dos vizinhos, do hall entre os apartamentos e das fontes externas à edificação. Em algumas paredes elas apresentaram resultados satisfatórios, mas em outras elas ainda não atingiram os valores mínimos exigidos na NBR 15575 (ABNT, 2013). A análise da Figura 74 e os registros das visitas de campo (para a realização das medições) *in loco* serviram de base para as constatações relatadas a seguir.

Figura 74 - Planta baixa do objeto 2 indicando o resultado obtido para cada partição e os limites



Fonte: Arquivo pessoal (2014)

Observou-se que houve certa preocupação com os dormitórios, mais especificamente com as suítes, na distribuição dos ambientes na planta baixa. A suíte 1 foi locada em um espaço mais afastado da sala de estar, protegida pelo quarto e pelo banheiro, sendo a ligação

feita por um corredor. Houve a preocupação de posicionar as instalações sanitárias na parede oposta àquela que divide a suíte 1 de seu banheiro. A suíte 2, assim como a outra, foi separada da sala por um banheiro, e do quarto e da suíte do apartamento vizinho por um vão livre que abriga a laje para a colocação das máquinas condensadoras do sistema Split de ar condicionado. O projetista também teve o cuidado de não colocar tubulações hidrossanitárias na parede divisória entre a suíte 2 e seu banheiro (Figura 74).

Em contrapartida, o quarto ainda ficou muito exposto aos ruídos provenientes do exterior, da varanda e da sala de estar. Apesar das tubulações de água e de esgoto do banheiro da suíte 1, fontes de ruído, terem sido instaladas na parede que divide esses ambientes, a adoção de paredes com blocos cerâmicos de 8 furos e dimensões de 9x19x19cm, com a finalidade de permitir a passagem dos tubos, melhorou o desempenho acústico da partição, atingindo o mínimo exigido pela norma de desempenho.

O projetista especificou para as paredes periféricas (das fachadas, de divisa com o hall dos apartamentos e divisórias entre as unidades habitacionais autônomas) blocos cerâmicos de maior densidade, com 8 furos e dimensões de 11,5x19x19cm. Com essa solução, os níveis de isolamento chegaram muito próximos do mínimo exigido na NBR 15575 (ABNT, 2013) e, no caso da partição entre o hall e a cozinha, o desempenho foi superior ao valor mínimo obrigatório.

A alvenaria mais densa não foi suficiente para que as fachadas dos quartos atingissem o desempenho mínimo exigido pela parte 4 da NBR 15575 (ABNT, 2013), mesmo com o tratamento acústico realizado nas janelas. Apesar de não estar previsto em projeto, durante a obra, o construtor, orientado por seu fabricante de esquadria metálica, que garantiu uma melhora no isolamento acústico das janelas, optou por substituir os vidros comuns 4 mm das janelas por vidros laminados 6(3+3)m, por preencher os perfis de alumínio com lã de rocha e por substituir as escovas convencionais do sistema de correr por outras de poliuretano expandido.

Nas paredes internas foram adotados blocos cerâmicos de dimensões reduzidas. Nas paredes dos dormitórios foram usados blocos com 4 furos com 7x19x19cm, que, em conjunto com as portas de madeira tipo colmeia, resultaram em partições com baixos níveis de isolamento sonoro.

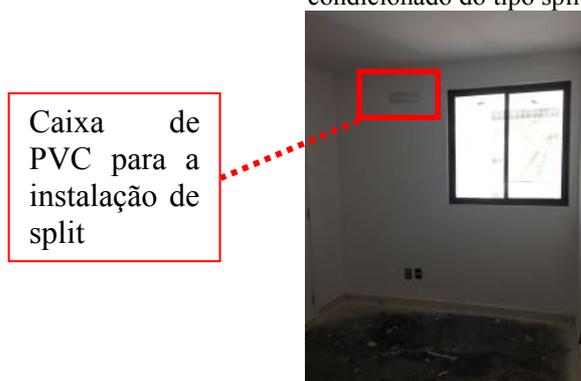
O contato entre os apartamentos 103 e 104 é feito através de uma parede cega que separa as cozinhas/ serviços das duas unidades, de modo que os ruídos gerados geram menos incômodo do que haveria se a cozinha confrontasse com a sala de estar/ jantar, por exemplo.

Além disso, a parede e a porta da cozinha amenizam a passagem dos sons indesejáveis dos eletrodomésticos para a sala de estar/jantar (Figura 74).

O objeto de estudo faz divisa com uma das suítes apartamento 105 através de dois ambientes: a sala de estar/jantar e o banheiro da suíte 2. A alvenaria mais densa na parede da sala de estar/jantar atenuou o problema de isolamento desta partição, de modo que, apesar de não atingir o mínimo da norma de desempenho, chegou bem próximo dele. O isolamento entre o banheiro 2 e a suíte do apartamento 105 foi melhorado com a colocação de um *shaft*, vão vazio para a passagem de tubulações, entre os dois ambientes, possibilitando que o resultado das medições indicasse nível intermediário de isolamento, mesmo com a existência de uma janela boca-de-lobo, tipologia com abertura permanente para ventilação, que, conseqüentemente, deixa o ruído passar facilmente. Um vão livre para ventilação separa a sala do apartamento 104 e a cozinha do 105, não havendo aberturas que permitissem a passagem de sons indesejáveis (Figura 74).

O sistema de ar condicionado adotado foi o de aparelhos do tipo Split, para os quais não são necessárias aberturas nas fachadas, como o que é feito no sistema convencional de aparelhos de parede. Porém, são feitos furos menores nas paredes para a passagem das tubulações de gás e drenagem, os quais, durante as medições, estavam vedados com uma caixa de PVC específica para esse tipo de instalação (Figura 75).

Figura 75– Parede da fachada da suíte do apartamento 105 indicando a caixa de PVC para a instalação de ar condicionado do tipo split



Fonte: Arquivo pessoal (2014)

Para complementar as informações da Figura 74 e auxiliar no entendimento da análise qualitativa do objeto 2 realizada nesta seção, foi elaborada a Tabela 54 com a descrição da composição de cada partição analisada, indicando a área de cada elemento, seu percentual em relação à área total da parede, os resultados obtidos nas medições de campo e os valores mínimos exigidos pela NBR 15575 (ABNT, 2013).

Tabela 54 – Caracterização da composição das partições avaliadas no objeto 2

Parâmetro	Tipo de Partição	Material Construtivo	Área (M ²)	% Da Partição	Resultado medições (dB)	NBR 15575 (M) dB
D_{2m,nTw}1-F-Q	Cega - alvenaria	Tijolo cerâmico 8 furos, 11,5x19x19cm, revestido externamente com cerâmica e internamente com massa corrida de gesso	3,94	73,2%	21	≥30
	Janela de correr 2 folhas	Alumínio com vidro laminado 6 (3+3)mm	1,44	26,8%		
D_{2m,nTw}2-F-S1	Cega - alvenaria	Tijolo cerâmico 8 furos, 11,5x19x19cm, revestido externamente com cerâmica e internamente com massa corrida de gesso	10,88	75,2%	19	≥30
	Cega - pilar	Concreto armado (l= 0,28m)	2,15	14,9%		
	Janela de correr 2 folhas	Alumínio com vidro laminado 4mm	1,44	9,9%		
D_{2m,nTw}3-F-S2	Cega - alvenaria	Tijolo cerâmico 8 furos, 11,5x19x19cm, revestido externamente com cerâmica e internamente com massa corrida de gesso	11,87	76,4%	20	≥30
	Cega - pilar	Concreto armado (l= 0,28m)	1,87	12,0%		
	Janela de correr 2 folhas	Alumínio com vidro laminado 6 (3+3)mm	1,80	11,6%		
D_{nT,w}11-SE-S 105	Cega - alvenaria	Tijolo cerâmico 8 furos, 11,5x19x19cm, revestido com massa corrida de gesso em ambos os lados	5,70	100%	42	45 a 49
D_{nT,w}12-WCB2-S 105	Cega - alvenaria	Tijolo cerâmico 8 furos, 11,5x19x19cm, sem revestimento (no <i>shaft</i>) e cerâmica (dentro do banheiro)	3,00	90,8%	49	45 a 49
	Janela boca de lobo	Alumínio com vidro comum 4 mm	0,25	9,2%		
D_{nT,w}8-COZ103-COZ-104	Cega - alvenaria	Tijolo cerâmico 8 furos, 11,5x19x19cm, revestido com cerâmica (em ambos os lados)	12,00	100%	38	40 a 44
D_{nT,w}9-HALL-COZ-104	Cega - alvenaria	Tijolo cerâmico 8 furos, 11,5x19x19cm, com cerâmica (do lado da cozinha) e massa corrida de gesso (do lado do hall)	2,31	100%	38	30 a 34

D_{nT,w} 10 – HALL-SE	Cega - alvenaria	Tijolo cerâmico 8 furos, 11,5x19x19cm, revestido com massa corrida de gesso em ambos os lados	0,79	30,7%	24	30 a 34
	Porta (1 folha)	Madeira tipo colmeia pintada	1,78	69,3%		
D_{nT,w} 1 – SE/CIRC-Q	Cega - alvenaria	Tijolo cerâmico 4 furos, 7x19x19cm, revestido com massa corrida de gesso em ambos os lados	8,90	84,8%	19	45 a 49
	Porta (1 folha)	Madeira tipo colmeia pintada	1,60	15,2%		
D_{nT,w} 2 – WCB1-Q	Cega - alvenaria	Tijolo cerâmico 6 furos, 9x19x19cm, revestido com massa corrida de gesso em ambos os lados	6,75	100%	46	45 a 49
D_{nT,w} 3 – WCB1-S1	Cega - alvenaria	Tijolo cerâmico 4 furos, 7x19x19cm, revestido com massa corrida de gesso em ambos os lados	5,38	79,8%	20	45 a 49
	Porta (1 folha)	Madeira tipo colmeia pintada	1,36	20,2%		
D_{nT,w} 4 – CIRC/S1	Cega - alvenaria	Tijolo cerâmico 4 furos, 7x19x19cm, revestido com massa corrida de gesso em ambos os lados	0,30	15,8%	18	45 a 49
	Porta (1 folha)	Madeira tipo colmeia pintada	1,60	84,2%		
D_{nT,w} 5 – S2/S1	Cega - alvenaria	Tijolo cerâmico 4 furos, 7x19x19cm, revestido com massa corrida de gesso em ambos os lados	5,55	100%	32	45 a 49
D_{nT,w} 6 – CIRC-S2	Cega - alvenaria	Tijolo cerâmico 4 furos, 7x19x19cm, revestido com massa de gesso (nos dois lados)	1,27	44,2%	17	45 a 49
	Porta (1 folha)	Madeira tipo colmeia pintada	1,60	55,8%		
D_{nT,w} 7 – WCB2-S2	Cega - alvenaria	Tijolo cerâmico 6 furos, 9x19x19cm, revestido com massa corrida de gesso em ambos os lados	5,79	81%	49	45 a 49
	Porta (1 folha)	Madeira tipo colmeia pintada	1,36	19%		
	Cega - pilar	Concreto armado (l=0,28m)	1,45	10,1%		
	Porta (1 folha)	Madeira tipo colmeia pintada	1,78	12,5%		

4.3 Síntese dos resultados e sugestões de melhorias acústicas

Os resultados do desempenho acústico das paredes de cada apartamento não podem ser comparados individualmente, devido às especificidades de cada situação. Porém, é possível comparar os resultados ponderados por grupo de partição, os mesmos utilizados na aplicação da proposta de certificação (Tabela 55).

Tabela 55 – Comparativo do desempenho acústico das partições avaliadas nos objeto 1 e 2

Grupo	OBJETO 1			OBJETO 2		
	Parâmetro	Valores Medidos (dB)	Pontuação ponderada	Parâmetro	Valores Medidos (dB)	Pontuação ponderada
1 - Fachadas	D _{2m,nTw} 1 - F-Q1	24	0,35	D _{2m,nTw} 1- F-Q	21	0,35
	D _{2m,nTw} 2- F-Q2	20	0,35	D _{2m,nTw} 2 - F-S1	19	0,35
				D _{2m,nTw} 3 - F-S2	20	0,35
	MÉDIA ARITMÉTICA - 1		0,35	MÉDIA ARITMÉTICA - 1		0,35
2 – Recintos vizinhos com dormitório	D _{nT,w} 8 - Q2_105-Q2_104	39	0,30	D _{nT,w} 11 –SE – S 105	42	0,30
				D _{nT,w} 12 –WCB2 – S 105	49	0,90
	MÉDIA ARITMÉTICA - 2		0,30	MÉDIA ARITMÉTICA - 2		0,60
3- Recintos vizinhos sem dormitório	D _{nT,w} 6 - SE103-SE104	38	0,20	D _{nT,w} 8 – COZ103-COZ-104	38	0,20
	D _{nT,w} 7 - HALL - COZ/JAN	23	0,20	D _{nT,w} 9 –HALL-COZ	38	1,20
				D _{nT,w} 10 – HALL-SE	24	0,20
	MÉDIA ARITMÉTICA - 3		0,20	MÉDIA ARITMÉTICA - 3		0,53
4- Recintos internos com dormitório	D _{nT,w} 1 - SE- Q1	22	0,15	D _{nT,w} 1 – SE/CIRC-Q	19	0,15
	D _{nT,w} 2 - Q1-Q2	31	0,15	D _{nT,w} 2 – WCB1- Q	46	0,30
	D _{nT,w} 3-COZ/CIRC-Q1	20	0,15	D _{nT,w} 3 - WCB1- S1	20	0,15
	D _{nT,w} 4-COZ/CIRC-Q2	18	0,15	D _{nT,w} 4 – CIRC/S1	18	0,15
	D _{nT,w} 5 - BWC-Q2	16	0,15	D _{nT,w} 5 – S2/S1	32	0,15
				D _{nT,w} 6 - CIRC-S2	17	0,15
				D _{nT,w} 7 – WCB2-S2	22	0,15
	MÉDIA ARITMÉTICA - 4		0,15	MÉDIA ARITMÉTICA DO - 4		0,17
DA		1,00/G	DA		1,65/F	

Apesar dos dois objetos apresentarem desempenho acústico insatisfatório, pode-se observar na Tabela 55 que o segundo apresentou resultados melhores que o primeiro, não somente no valor final, como também na média aritmética dos grupos 2 (recintos vizinhos com dormitório), 3 (recintos vizinhos sem dormitório) e 4 (recintos internos com dormitório). Verifica-se ainda que ambos apresentam maior fragilidade, do ponto de vista do isolamento sonoro, no grupo das fachadas.

Nenhuma partição do objeto 1 atingiu o isolamento mínimo estabelecido na NBR 15575 (ABNT, 2013), refletindo os problemas de projeto e de escolha dos materiais de construção relacionados anteriormente.

O desempenho acústico do objeto 2 atingiu a classe F (baixo desempenho) graças aos resultados de três partições que superaram os limites mínimos exigidos, sendo elas as paredes: a) entre o banheiro da suíte 2 e a suíte do apartamento 105 ($D_{nT,w} 12 - WCB2 - S 105$); b) de divisão entre o hall dos apartamentos e a cozinha do objeto ($D_{nT,w} 9 - HALL-COZ$); e c) entre o banheiro da suíte 1 e o quarto ($D_{nT,w} 2 - WCB1 - Q$). Os tipos de alvenarias para as paredes externas e internas de banheiros são mais densas, oferecendo maior resistência à passagem dos sons, porém, tais barreiras são enfraquecidas com a inclusão de esquadrias com baixo desempenho acústico, o que, agregado ao baixo desempenho das paredes internas do dormitório, faz com que o índice global do objeto 2 seja insatisfatório, evidenciando seu baixo desempenho acústico.

Apesar de ser uma suspeita, não é possível apontar problemas na execução dos sistemas construtivos durante a fase de construção dos objetos como uma das causas do baixo desempenho acústico dos apartamentos analisados, já que não foi feito um estudo do canteiro das obras e nem avaliados os processos de produção. Seria preciso acompanhar o dia-a-dia da obra, observando como os operários executavam as alvenarias e como as esquadrias eram assentadas, por exemplo, o que não foi realizado nesta dissertação.

Independente da causa, o fato é que o desempenho acústico desses apartamentos deve ser melhorado, apesar disso não ser obrigatório para eles, que tiveram seus projetos aprovados antes da NBR 15575 (ABNT, 2013). É preciso adotar estratégias para elevar a qualidade do isolamento sonoro desses ambientes para que seus futuros moradores possam desfrutar de ambientes confortáveis e com privacidade.

Não é objetivo deste trabalho apresentar as soluções para melhorar o isolamento sonoro das partições analisadas, mesmo porque isso exigiria estudos mais específicos e aprofundados. Todavia, a pesquisa feita sobre os materiais “acústicos” permite que sejam expostas algumas sugestões que podem ser avaliadas pelos projetistas e pelos construtores.

Como não é permitido substituir as alvenarias, o que também não seria economicamente viável, deve-se partir para soluções alternativas. No caso das paredes internas, existe a possibilidade de acrescentar chapas de gesso acartonado, o que, apesar de melhorar o isolamento, reduziria as dimensões dos ambientes. A alternativa mais viável seria a troca das

esquadrias convencionais por portas e janelas acústicas. Caso o condomínio não permita a substituição das esquadrias das fachadas, existe a opção das janelas de sobrepor, que são instaladas internamente, sem a retirada da esquadria original e, conseqüentemente, sem modificar a aparência externa do edifício (Figura 76).

Figura 76- Janela termo acústica sobreposta de correr com 2 folhas



Fonte: Atenuasom (2013)

O diagnóstico do desempenho acústico dos objetos 1 e 2 apresentado neste trabalho foi realizado com a intenção de mostrar aos construtores o nível do isolamento sonoro de seus empreendimentos e servir de ferramenta para auxiliar seus projetistas na apresentação de propostas de melhorias nas edificações futuras.

Como sugestão preliminar, a Tabela 56 compara os índices de redução sonora ponderados (R_w') dos sistemas construtivos das partições verticais analisadas em ambos os objetos de estudo, com algumas soluções mais eficientes acusticamente apresentadas neste trabalho. Como os construtores não possuíam os índices específicos dos materiais utilizados, a comparação foi baseada em resultados de testes feitos em componentes semelhantes. No caso das portas, não foi encontrado nenhum estudo do desempenho acústico das convencionais, sendo utilizados os valores da porta acústica mais simples, classe 1, de um dos principais fornecedores de portas de Maceió-AL (MULTIDOOR, 2014).

Tabela 56 - Comparação entre a isolamento acústica dos componentes das partições analisadas nos objetos de estudo com a de sistemas construtivos alternativos

Partição	Solução Adotada		Alternativa Proposta		Δ (dB)
	Elemento	R_w (dB)	Elemento	R_w (dB)	
FACHADAS	Blocos vazados de cerâmica com 9cm de espessura e cerca de 120kg/m ³ de massa. Revestimento de argamassa de gesso 1,5, em cada face.	38	Paredes maciças de concreto armado com 10 cm de espessura, 240kg/m ³ de massa aproximada e sem revestimento	45	+7

	Blocos vazados de cerâmica com 11,5cm de espessura e cerca de 150kg/m ³ de massa. Revestimento de argamassa de gesso 1,5, em cada face.	40	Paredes maciças de concreto armado com 12 cm de espessura, 290kg/m ³ de massa aproximada e sem revestimento	47	+7
	Janela de correr em alumínio com vidro comum 4mm, 2 folhas, 1,2x1,2m	19	Janela de correr em alumínio com vidro laminado 10 (5+5)mm, 2 folhas, 1,2x1,2m	31	+12
	Janela de correr em alumínio com vidro comum seis mm, 2 folhas, 1,2x1,2m*	20			+11
ENTRE RECINTOS INTERNOS	Blocos vazados de cerâmica com 9cm de espessura e cerca de 120kg/m ³ de massa. Revestimento de argamassa de gesso 1,5, em cada face.	38	Paredes em drywall com 2 chapas, com enchimento isolante. Espessura de 7,3cm	44	+6
			Paredes em drywall com 4 chapas, com enchimento isolante. Espessura de 9,8cm	50	+12
	Porta acústica em madeira classe 1, 40mm de espessura	20 a 24	Porta acústica em madeira classe 2, 40mm de espessura	24 a 28	+4 a 8
			Porta acústica em madeira classe 4, 45mm de espessura	32 a 36	+8 a 16
ENTRE RECINTOS VIZINHOS	Blocos vazados de cerâmica com 9cm de espessura e cerca de 120kg/m ³ de massa. Revestimento de argamassa de gesso 1,5, em cada face.	38	Paredes em drywall com 4 chapas, com enchimento isolante. Espessura de 12cm	51	+13
	Blocos vazados de cerâmica com 11,5cm de espessura e cerca de 150kg/m ³ de massa. Revestimento de argamassa de gesso 1,5, em cada face.	40			+11
	Porta acústica em madeira classe 1, 40mm de espessura	20 a 24	Porta acústica em madeira classe 4, 45mm de espessura	32 a 36	+12 a +14

Fonte: Adaptado de: CBIC (2013), Multidoor (2014), Deixe (2014) e Drywall (2014).

Fica evidente que a implantação das alternativas propostas resultaria na melhoria considerável do conforto acústico dos ambientes. Geralmente, desempenhos elevados oneram o custo da construção, mas a redução no consumo e o maior conforto pode amortizar o investimento inicial. As exigências da NBR 15575 (ABNT, 2013) já têm provocado uma repercussão nos fabricantes e fornecedores de sistemas construtivos que, para atender às demandas dos construtores, estão aumentando a oferta de produtos “acústicos”, o que pode refletir na redução do preço, tornando as soluções economicamente viáveis para construtores e proprietários.

Além das variantes apresentadas ao longo deste estudo e do custo dos sistemas acústicos, o projetista deve levar em consideração os demais requisitos de desempenho de

edificações, não somente os abordados pela norma de desempenho, mas todos aqueles que influenciam no conforto do usuário e, conseqüentemente, em sua qualidade de vida.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente dissertação avaliou o isolamento sonoro aéreo das partições verticais, internas e externas, de dois apartamentos em edifícios multifamiliares verticais na cidade de Maceió, capital de Alagoas, através de medições de campo, comparando, em seguida, os resultados obtidos com as exigências da Norma de Desempenho, a NBR 15575 (ABNT, 2013). Ao final apresentou uma adaptação de certificação de desempenho acústico baseado em adaptações realizadas no modelo italiano BGP.

As cidades estão cada vez mais ruidosas, fazendo com que as pessoas tenham que conviver com elevados níveis de sons indesejáveis em seu dia-a-dia, não somente no ambiente de trabalho, nas ruas, mas também em suas residências, que deveriam ser protegidas dessas interferências externas, de modo a proporcionar conforto aos usuários.

É por isso que a avaliação dos níveis de isolamento sonoro das partições das habitações é fundamental, pois servirá de base para a proposição de estratégias para a redução do nível de ruído incidente nos ambientes residenciais, tanto por parte dos projetistas, quanto dos construtores e dos fornecedores de materiais e de sistemas de construção.

A NBR 15575 (ABNT 2013) consiste em uma importante evolução para a qualidade das habitações brasileiras em seus diversos aspectos, mas, para o desempenho acústico, particularmente, pela carência de leis e normativos nacionais para regulamentar o controle do ruído nas construções residenciais, representa um marco normativo. Necessita, porém, de algumas adequações que ficarão mais evidentes com a aplicação de seus critérios na avaliação das novas edificações. Dentre elas, destacam-se: o estabelecimento de limites mais rígidos, pois, ao ser feita a comparação com os internacionais, como os americanos e alguns europeus, observa-se que ela pode ser considerada uma norma “branda”; a previsão de uma relação entre os níveis de desempenho, mínimo, intermediário e superior, com o padrão construtivo da habitação, como, por exemplo, ao determinar que, para residências de alto padrão, o nível de desempenho obrigatório seja o superior e não o mínimo.

Os dois primeiros objetivos específicos desta dissertação eram quantificar, através de medições em campo, o isolamento sonoro aéreo em duas diferentes unidades habitacionais em Maceió-AL e comparar os resultados obtidos do nível de isolamento sonoro ao ruído aéreo com os limites estabelecidos na norma de desempenho das habitações, NBR 15575 (ABNT, 2013). Isso foi feito e os resultados obtidos nas medições mostraram que as partições

analisadas não atendem aos requisitos mínimos estabelecidos pela NBR 15575 (ABNT, 2013).

Como os edifícios analisados são anteriores a esta norma, eles não têm a obrigação de se adequar aos níveis que ela estabelece, mas a avaliação serve para dar ciência às construtoras da necessidade de ajustes nos projetos futuros para que seus próximos empreendimentos apresentem desempenho acústico conforme as exigências normativas.

Como os dados técnicos são de difícil compreensão para a maior parte dos usuários, e como previsto no terceiro objetivo específico desta dissertação, este trabalho propõe uma certificação que possa ser utilizada facilmente pelo público leigo na escolha de suas moradias. Ela tem como base um estudo italiano, o Certificado BGP, que certifica se determinada habitação está de acordo com os requisitos de desempenho estabelecidos por normas e leis no que se refere à acústica, à iluminação, aos recursos hídricos, à segurança, à energia e ao desempenho tecnológico. Sua metodologia para o desempenho acústico foi adaptada, com a inserção dos critérios da NBR 15575 (ABNT, 2013) e de um novo sistema de ponderação. Em seguida, foi aplicada na avaliação do desempenho acústico dos objetos de estudo.

Na aplicação desta proposta, que estabelece sete classes de desempenho, desde o muito baixo (G) até o muito alto (A), os objetos em estudo não apresentaram resultados satisfatórios: muito baixo (G) para o objeto 1 e baixo (F) para o 2.

A pesquisa feita sobre materiais e sistemas que proporcionam uma melhora no isolamento sonoro ao ruído aéreo de partições verticais mostra que são diversas as alternativas que podem ser adotadas para adequar os novos empreendimentos habitacionais. É um trabalho que deve ser feito em conjunto. O projetista deve adotar estratégias de projeto, como colocar áreas ruidosas mais afastadas daquelas de descanso, por exemplo, e especificar materiais mais resistentes ao ruído. Os fabricantes e fornecedores de materiais de construção devem realizar os testes e inserir em seus catálogos os resultados do desempenho de seus produtos, de modo a auxiliar e orientar o projetista na especificação. Por fim, os construtores devem fazer a avaliação de isolamento sonoro de suas construções mais recentes, de modo a obter um diagnóstico que servirá de guia para as intervenções nos próximos empreendimentos; e garantir que seus engenheiros sigam às instruções de instalação dos materiais e dos sistemas construtivos, de modo que o desempenho acústico da construção não seja prejudicada por erros na execução.

Por fim, o projetista tem ainda o desafio de estudar técnicas e materiais construtivos que melhorem o desempenho acústico dos ambientes sem prejudicar as demais variáveis ligadas ao conforto dos usuários, como os critérios de conforto térmico, por exemplo.

Limitações do trabalho

Apesar de estudos na área da acústica arquitetônica estar ganhando cada vez mais espaço no meio acadêmico brasileiro, as referências bibliográficas com trabalhos que tratam da avaliação de desempenho acústico de residências no Brasil ainda são poucas. Além disso, a recente aprovação da versão final da norma de desempenho torna suas exigências uma novidade para o mercado da construção civil alagoano. Por este motivo, ainda é difícil obter informações do desempenho acústico dos materiais e dos sistemas adotados pelos construtores nas obras avaliadas, assim como encontrar consumidores dispostos a investir em produtos “acústicos” em Maceió.

A dificuldade de acesso a equipamentos necessários para as medições de isolamento sonoro aéreo em campo, como a fonte sonora omnidirecional e a “*tapping machine*”, já que o mestrado em Arquitetura da Universidade Federal de Alagoas ainda não possui nenhum deles, de certa forma, limitou este trabalho. A fonte sonora omnidirecional, que emite sons em todas as direções, proporcionaria uma maior fidelidade aos resultados das medições por ser o equipamento recomendado pela norma ISO 3382 (1997) para ensaios acústicos. Ela foi substituída por uma caixa amplificadora convencional. Sem a “*tapping machine*”, equipamento que gera o ruído de impacto de piso, não foi possível avaliar o isolamento sonoro de impacto dos pisos dos objetos de estudo. Em todo o Estado de Alagoas não foi encontrado nenhum exemplar deste equipamento.

Uma das ideias iniciais deste trabalho era a análise comparativa entre os custos das esquadrias e alvenarias empregadas nos objetos de estudo com o investimento em sistemas de melhor desempenho acústico encontrados no mercado alagoano. Porém, isso não foi feito, pois os dados das planilhas orçamentárias das obras não foram disponibilizados, como também não foi possível obter propostas de preços das empresas que fabricam e/ou fornecem as esquadrias acústicas em Maceió, apesar de ter sido feita a solicitação.

Apesar de todas as dificuldades, principalmente na fase de medições em campo, considerou-se favorável o resultado obtido, pois os objetivos estabelecidos no início dos estudos foram satisfatoriamente alcançados.

Sugestões para trabalhos futuros

Como forma de dar continuidade a este estudo, recomenda-se que sejam inseridos outros parâmetros acústicos no método de avaliação de desempenho proposto, principalmente o limite do nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado ($L'_{n,w}$). Esse mesmo estudo pode ser feito em um edifício que já utilize sistemas “acústicos” para verificar se estão mesmo adequados à NBR 15575 (ABNT, 2013) e em qual classe se encaixam na proposta de certificação apresentada.

Pode ainda ser feito um estudo mais aprofundado da relação entre investimentos em soluções acústicas e o custo da obra no mercado alagoano, de modo a aperfeiçoar o método de avaliação. O método de certificação adotado poderia gerar discussões interessantes se aplicado na avaliação de desempenho acústico de habitações de interesse social.

REFERÊNCIAS

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

_____. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10151: Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade - procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.

_____. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220: Desempenho Térmico de Edificações**. . Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

_____. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575: Edificações Habitacionais - Desempenho**. . Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ALTA qualidade ambiental. Disponível em: <http://www.vanzolini.org.br/hotsite-104.asp?cod_site=104>. Acesso em: 23 mai. de 2013.

ALVES, Maria Elisa Moreira. **O início da verticalização em Maceió –Al: um estudo tipo lógico dos edifícios multifamiliares em altura (1960-1970)**. 208 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo – Mestrado em Dinâmicas do Espaço Habitado, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2012.

AMORIM, Luís Manuel do Eirado. Modernismo recifense: uma escola de arquitetura, três paradigmas e alguns paradoxos. **Portal Vitruvius Arqtextos**, n.012, maio 2001. Disponível em: <http://www.vitruvius.com.br/arqtextos/arq012/arq012_03.asp>. Acesso em: 03 ago 2014.

ATENUASOM. **Janelas anti-ruído**. Disponível em: <www.atenuasom.com.br/ATENUASOM/janelas_antiruido.asp>. Acesso em: 18 ago. 2013.

BRASIL. Lei nº6938 de 31 de agosto de 1981 – **Política Nacional de Meio Ambiente**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.

BARING, João Gualberto de Azevedo. **Isolação sonora de paredes e divisórias**. In: Tecnologia de Edificações. São Paulo. PINI/ IPT, 1988. p. 429-434.

BISTAFA, Sylvio R. **Acústica aplicada ao controle do ruído**. Edgard Blücher, São Paulo, 2006.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO - CBIC. **Desempenho de edificações habitacionais: Guia orientativo para atendimento à norma ABNT 15575/2013**. Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013.

CARVALHO, Régio Paniago. **Acústica Arquitetônica**. 2. ed. Brasília: Thesaurus, 2010.

CATAÍ, Rodrigo E.; PENTEADO, André P.; DALBELLO, Paula F. **Materiais, técnicas e processos para isolamento acústico**. In: 17ª Congresso Brasileiro de Engenharia de Ciência dos Materiais. Foz do Iguaçu, Paraná, 2006. CD ROM.

COELHO, Laurimar. Carimbo Verde. Revista Técnica, n. 155, p. 32-39, Fev. 2010.

COTANA, Franco; GORETTI, Michele. **Tools for building acoustics design and experimental performances**. In: The 2005 Congress and Exposition on Noise Control Engineering – Inter-noise ENVIRONMENTAL Noise Control. Rio de Janeiro, Brasil. 2005. Disponível em: <<http://www.crbnet.it/File/Pubblicazioni/pdf/1219.pdf>>. Acesso em: 23 jun. 2013.

COTANA, Franco; GORETTI, Michele. **Acoustic Classification of Buildings: Impact of Acoustic Performances of a High Energy-Efficient Building on Quality and Sustainability Indicators**. In: 20º International Congress on Acoustics – ICA 2010. Sydney, Australia. 2010. CD ROM.

CROOME, D. J. **Noise, Building and People**. Loughborough University of Technology, Great Britain: Pergamon Press. International Series in *heating, ventilation and refrigeration*, v. 11. 1977. 613p.

DEIXE o excesso de barulho do lado de fora. Revista Alumínio & Cia. Santoa André-SP, v.33, n.6, p. 22-27 mar/abr. 2014.

DRYWALL. **Desempenho acústico em sistemas de drywall**. Catálogo. Disponível em: <<http://www.placocentercampinas.com.br/manual-pratico-de-acustica.pdf>>. Acesso em: 07 jul. 2014.

DUARTE, E. A. C. **Estudo do isolamento acústico das paredes de vedação da moradia brasileira ao longo da história**. 2005. 99 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

FANAVID. **Vidro: laminado acústico**. Catálogo. Disponível em: <<http://www.fanavid.com/images/pdfs/fanavid-vidros-laminados-acusticos.pdf>>. Acesso em: 04 jul. 2014. P.12-13.

FERRAZ, Rafaela. **Atenuação de ruído de impacto em pisos de edificações de pavimentos múltiplos**. 2008. 144f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

FERREIRA NETO, Maria de Fátima. **Nível de conforto acústico: uma proposta para edifícios residenciais**. 2009. 257 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, 2009.

FREITAS, Ruskin. **O que é Conforto?** In: ENCONTRO NACIONAL DO CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, VIII., 2005, Maceió - AL. Anais. Maceió: ANTAC, 2005. p.726-735. CD ROM.

FUNDAÇÃO CARLOS ALBERTO VANZOLINI (FCAV). Referencial técnico de certificação "Edifícios habitacionais - Processo AQUA". Versão 2. São Paulo, 2013. Disponível em: <http://www.vanzolini.org.br/download/RT_Edificios_habitacionais_v2_2013.pdf>. Acesso em: 15 fev. de 2014.

GERGES, Samir Nagi Yousri. **Ruído: fundamentos e controle**. 2. ed. Florianópolis, 2000.

GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL (GBC BRASIL). **Certificação**. Disponível em: <<http://www.gbcbrasil.org.br>>. Acesso em: 23 mai. de 2013.

GUARDIAN-SUNGUARD. **Manual Técnico: Build with light**. Catálogo. Disponível em: <http://www.guardianbrasil.com.br/>. Acesso em: 04 jul. 2014.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION (IEC). IEC6126-0. *Electroacoustics – Octave-band and fractional-octave-band filters*. Geneva, Suíça, 1995.

_____. IEC 60651. *Sound Level Meters*. Geneve, 1979.

_____. IEC 60804. *Integrated averaging sound level meters*. Geneve, 1985.

_____. IEC 61672. *Electroacoustics – Sound level meters*. Geneve, 2002.

_____. IEC 60942. *Electroacoustics – Sound calibrators*. Geneve, 2003.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 717-1. Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of building elements. Part 1: Airborne sound insulation. 2nd ed. Suíça, 1996.

_____. **ISO 3382**. *Acoustics – Measurement of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters. 2nd ed. Suíça, 1997.*

_____. **ISO 140-4:1998 (E)**, *Acoustics -- Measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 4: Field measurements of airborne sound insulation between rooms*. Suíça, 1998.

_____. **ISO 140-5:1998 (E)**, *Acoustics -- Measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 5: Field measurements of airborne sound insulation of façade elements and façades*. Suíça, 1998.

_____. **ISO 15186**. *Acoustics -- Measurement of sound insulation in buildings and of building elements using sound intensity*. Suíça, 2002.

_____. **ISO 354**. *Acoustics – Measurement of sound absorption in a reverberation room*. Suíça, 2003.

_____. **ISO 16032**. *Acoustics -- Measurement of sound pressure level from service equipment in buildings -- Engineering method*. Suíça, 2004.

_____. **ISO 10052**. *Acoustics – Field measurements of airborne and impact sound insulation and of service equipment sound – Survey method*. Suíça, 2004.

_____. **ISO 18233**. *Acoustics -- Application of new measurement methods in building and room acoustics*. Suíça, 2006.

JOHN, Vanderley Moacyr; PRADO, Racine Tadeu A. (cord.) **Selo Casa Azul - Boas Práticas para Habitação Mais Sustentável**. Realização CAIXA. São Paulo: Páginas & Letras – Editora e Gráfica, 2010.

KOSTER, Andrew. Saint-Gobain Insulation acoustical comfort classes. *In*: 19th INTERNATIONAL CONGRESS ON ACOUSTICS (ICA). Anais. Madrid, 2-7 September 2007.

LAHTELA, Tero. **Sound Insulation - Guidelines for wooden residential buildings**. Wood Focus: Finlândia. 2005. 114p.

LOSSO, Marco Aurélio Faria. **Qualidade Acústica de Escolas Estaduais em Santa Catarina: Avaliação e Elaboração de Diretrizes para Implantação**. Dissertação de Mestrado - PPGEC/UFSC, Florianópolis, 2003.

LOSSO, Marco; VIVEIROS, Elvira; **Gesso acartonado e isolamento acústico: teoria versus prática no Brasil**. In: I Conferência Latino-americana de construção sustentável, X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. São Paulo, SP, 2004.

MANETTI, Luiz Henrique. **NBR 15575 e case Tecnisa de implantação**. São Paulo, 2012. Disponível em: <http://www.sindusconmt.org.br/images/palestras/COMPLETA_PUBLICA-MANETTI.pdf>. Acesso em: 24 fev. 2014.

MEHTA, Madan; JOHNSON, Jim; ROCAFORT, Jorge. **Architectural acoustics: principles and design**. New Jersey: Prentice-Hall, Inc, 1999. 445p.

MICHALSKI, Ranny Loureiro Xavier Nascimento. **Metodologias para medição de isolamento sonoro em campo e para expressão da incerteza de medição na avaliação do desempenho acústico de edificações**. Rio de Janeiro, 2011. 256f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

MONDACA, Cristian; MACHIMBARRENA, Maria; MONTEIRO, Carolina. **Comparisson of some global indices to adequately assess airborne sound insulation**. In: 9ª Conferência Européia de Controle de Ruído (*European Conference on Noise Control – Euronoise*), Praga, República Tcheca, 2012. CD ROM.

MULTIDOOR. **Porta Acústica – PEM PIA**. Catálogo. Disponível em: <<http://www.multidoor.com.br/portas-de-entrada-ui/porta-acustica-ia.html>>. Acesso em: 03 jul. 2014.

NEPOMUCENO, L. X. **Acústica Técnica**. São Paulo: ETEGIL, 1968.

NR, Norma Regulamentadora Ministério do Trabalho e Emprego. NR-15 - Atividades e Operações Insalubres. 2009

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE – OMS | WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. Résumé d'orientation des directives de l'OMS relatives au bruit dans l'environnement [on-line]. Geneve; 2003. Disponível em: <<http://www.who.int/homepage/primers>>. Acesso em: 25 mai. 2013.

OITICICA, Maria Lucia Gondim da Rosa. **Desempenho acústico de diversas tipologias de peitoris ventilados**. Campinas, 2010. 240 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2010.

PAIVA, Karina Mary de; RODRIGUES, Rui Manoel Gonçalves Calejo; CARDOSO, Maria Regina Alves. *Assesment and Management on environmental noise: the role of the Brazilian Legislation as health promoter*. . In: 9ª Conferência Européia de Controle de Ruído (*European Conference on Noise Control – Euronoise*), Praga, República Tcheca, 2012a. CD ROM.

PAIVA, Karina Mary de; CARDOSO, Maria Regina Alves; RODRIGUES, Rui Manoel Gonçalves Calejo; MOURA-DE-SOUSA, Carolina. *Urban noise in the São Paulo city, Brazil*. In: 9ª Conferência Européia de Controle de Ruído (*European Conference on Noise Control – Euronoise*), Praga, República Tcheca, 2012b. CD ROM.

PIRES SOBRINHO, Carlos Welligton de A. ; BEZERRA, Natalia de Moraes; COSTA, Tatiana de C. T.; SILVA, Carolina Buarque A. Divisórias internas de edifícios em alvenaria de blocos de gesso: vantagens técnicas, econômicas e ambientais. Disponível em: <http://www.sinduscon-rio.com.br/doc/divisorias.pdf>. Acesso em: 03 ago. 2014.

RIBEIRO, Diana A.; MICHALSKI, Ranny L. X.N. **Certificação ambiental e conforto acústico – Processo Aqua**. In: XXII Encontro Sociedade Brasileira de Acústica – SOBRAC 2010. Salvador, Bahia. 2010. CD ROM.

SAINT-GOBAIN. **Placo Phonique: solução acústica para seu conforto e tranquilidade.** Catálogo. Disponível em: <http://www.placo.com.br/produtos-drywall/material-impresso-drywall/arquivos%5CAF-Folder%20Placo%20Phonique_23x21_site.pdf>. Acesso em: 03 jul. 2014.

SALGADO, Júlio César Pereira. *Técnicas e práticas construtivas para edificação*. 3. ed. Ed. Érica, São Paulo, 2009.

SCHOLL, Werner. *Revision of ISO 717: Future single-number quantities for sound insulation in buildings*. In: 9ª Conferência Européia de Controle de Ruído (*European Conference on Noise Control – Euronoise*), Praga, República Tcheca, 2012. CD ROM.

SEVCENKO, Nicolau. **História da vida privada no Brasil – 3**. São Paulo, Companhia das Letras, 1998.

SHARLAND, I.; LORD, P. **Woods practical guide to noise control**. 3. ed. England: Woods of Colchester Limited, 1979.

SILVA, Pérciles. *Acústica arquitetônica e condicionamento de ar*. 6. ed. Belo Horizonte: EDTAL E. T. Ltda., 2011.

SIMÕES, Marina Almeida. **Caixa sonora: sons aéreos, ruídos de percussão e barulho de instalações preocupam os construtores sendo crescente a onda de reclamações**. Revista *Téchne*, edição 159. Ed. Pini. Disponível em: <http://www.proacustic.com.br/techne.htm>. Acesso em: 18 ago. 2013.

UNI (Italian Organization of Standardization) UNI 8199. *Acustica - Collaudo acustico degli impianti di climatizzazione e ventilazione - Linee guida contrattuali e modalità di misurazione*. Italy, 1998

VIANNA, Nelson Solano. **Acústica Arquitetônica, Urbana & Teatros e afins**. Apostila do Curso de Extensão em Arquitetura e urbanismo da Empresa AEA Educação Continuada. São Paulo, SP, 2013.

YAZIGI, Walid. *A técnica de edificar*. 5. ed. Ed. Pini, São Paulo, 2003.

APÊNDICES

Apêndice A – Tabelas com a sistematização dos resultados das medições de campo de isolamento sonoro ao ruído aéreo entre recintos no objeto 1

Sistematização dos resultados das medições de campo de isolamento sonoro ao ruído aéreo entre recintos no objeto 1					
D_{nTw} 1 - Sala de estar - Quarto 1 (SE-Q1)					
Frequência (Hz)	Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente emissor (L1) -dB	Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2) - dB	Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2 corrigido) - dB	Tempo de reverberação do ambiente de recepção sonora (T) - s	Ruído de fundo no ambiente receptor (B2) - dB
100	79,1	68,4	68,43	1,8	39,8
125	87,3	68,5	68,55	3,5	40,2
160	88,8	72,7	72,74	3,0	41,1
200	84,0	67,2	67,24	3,2	38,5
250	83,6	68,9	68,89	2,8	37,4
315	86,5	73,0	73,02	1,7	39,7
400	85,3	70,9	70,86	2,3	40,4
500	84,1	66,3	66,28	1,8	39,8
630	84,9	67,0	67,04	1,5	39,8
800	86,5	68,1	68,09	1,1	36,4
1000	84,7	65,8	65,78	1,0	32,2
1250	81,4	62,0	62,03	0,9	31,5
1600	84,4	63,8	63,83	1,0	31,3
2000	89,6	69,2	69,22	0,9	29,9
2500	88,5	69,4	69,41	0,9	28,4
3150	83,8	67,1	67,07	0,8	27,5
Leq e T	96,6	78,0	78,0	1,7	-
D_{nTw} 2 – Quarto 2 - Quarto 1 (Q2-Q1)					
Frequência (Hz)	Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente emissor (L1) -dB	Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2) - dB	Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2 corrigido) - dB	Tempo de reverberação do ambiente de recepção sonora (T) - s	Ruído de fundo no ambiente receptor (B2) - dB
100	85,8	63,5	63,5	1,8	39,8
125	93,8	71,7	71,7	3,5	40,4
160	95,2	75,3	75,3	3,0	41,1
200	87,8	67,2	67,2	3,3	38,5
250	88,0	69,0	69,0	2,8	37,4
315	90,1	67,4	67,4	1,7	39,7
400	90,2	67,4	67,4	2,3	40,4
500	88,5	64,3	64,3	1,8	39,8
630	88,8	63,8	63,8	1,5	39,8
800	90,0	64,6	64,6	1,1	36,4
1000	88,2	62,4	62,4	1,0	32,2
1250	84,6	58,1	58,1	0,9	31,5
1600	87,9	58,1	58,1	1,0	31,3
2000	92,0	56,5	56,5	0,9	29,9
2500	90,8	60,9	60,9	0,9	28,4
3150	86,2	60,9	60,9	0,8	27,5
Leq e T	96,3	73,1	73,1	1,7	-

D_{nTw} 3 – Cozinha circulação - Quarto 1 (COZ/CIRC-Q1)

Frequência (Hz)	Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente emissor (L1) -dB	Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2) - dB	Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2 corrigido) - dB	Tempo de reverberação do ambiente de recepção sonora (T) - s	Ruído de fundo no ambiente receptor (B2) - dB
100	82,1	70,8	70,8	1,8	39,8
125	87,0	75,8	75,8	3,5	40,4
160	90,0	77,9	77,9	3,0	41,1
200	83,7	71,8	71,8	3,3	38,5
250	82,7	71,2	71,2	2,8	37,4
315	85,3	72,9	72,9	1,7	39,7
400	86,0	71,4	71,4	2,3	40,4
500	85,3	69,2	69,2	1,8	39,8
630	84,7	69,1	69,1	1,5	39,8
800	87,4	70,8	70,9	1,1	36,4
1000	85,3	68,1	68,1	1,0	32,2
1250	82,1	64,7	64,7	0,9	31,5
1600	85,5	64,7	64,7	1,0	31,3
2000	89,6	67,6	67,6	0,9	29,9
2500	88,0	73,3	73,3	0,9	28,4
3150	83,8	70,4	70,4	0,8	27,5
Leq e T	97,3	81,4	81,4	1,7	-

D_{nTw} 4 – Cozinha circulação - Quarto 2 (COZ/CIRC-Q2)

Frequência (Hz)	Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente emissor (L1) -dB	Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2) - dB	Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2 corrigido) - dB	Tempo de reverberação do ambiente de recepção sonora (T) - s	Ruído de fundo no ambiente receptor (B2) - dB
100	82,1	68,5	68,5	1,9	41,7
125	87,0	75,8	75,8	3,0	42,8
160	90,0	80,8	80,8	2,9	41,3
200	83,7	73,9	73,9	2,8	39,1
250	82,7	73,4	73,4	2,6	37,2
315	85,3	76,7	76,7	2,7	41,3
400	86,0	74,4	74,4	2,1	38,6
500	85,3	72,3	72,3	2,0	36,5
630	84,7	72,1	72,1	1,8	34,2
800	87,4	73,1	73,1	1,5	32,2
1000	85,3	70,8	70,8	1,4	30,0
1250	82,1	67,8	67,8	1,3	28,7
1600	85,5	67,8	67,8	1,2	28,2
2000	89,6	72,0	72,0	1,1	27,4
2500	88,0	78,1	78,1	1,0	26,9
3150	83,7	75,8	75,8	1,0	26,6
Leq e T	97,3	84,8	63,0	1,8	-

D _{nTw} 5 – Banheiro - Quarto 2 (BWC-Q2)					
Frequência (Hz)	Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente emissor (L1) -dB	Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2) - dB	Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2 corrigido) - dB	Tempo de reverberação do ambiente de recepção sonora (T) - s	Ruído de fundo no ambiente receptor (B2) - dB
100	87,6	68,5	68,5	1,9	41,7
125	84,2	75,8	75,8	3,0	42,2
160	93,3	80,8	80,8	2,9	41,3
200	89,5	73,9	73,9	2,8	39,1
250	85,3	73,4	73,4	2,6	37,2
315	90,8	76,7	76,7	2,7	41,3
400	89,9	74,4	74,4	2,1	38,6
500	91,2	72,3	72,3	2,0	36,5
630	92,8	72,1	72,1	1,8	34,2
800	93,8	73,1	73,1	1,5	32,2
1000	90,9	70,8	70,8	1,4	30,0
1250	86,4	67,8	67,8	1,3	28,7
1600	90,6	67,8	67,8	1,2	28,2
2000	94,3	72,0	72,0	1,1	27,4
2500	93,8	78,1	78,1	1,0	26,9
3150	88,9	75,8	75,8	1,0	26,6
Leq e T	101,2	84,8	84,8	1,8	-

D _{nTw} 6 – Sala de estar 103 – Sala de estar 104 (SE103-SE104)					
Frequência (Hz)	Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente emissor (L1) -dB	Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2) - dB	Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2 corrigido) - dB	Tempo de reverberação do ambiente de recepção sonora (T) - s	Ruído de fundo no ambiente receptor (B2) - dB
100	79,8	58,9	58,9	2,7	41,7
125	90,2	65,4	65,4	2,3	34,4
160	90,8	64,4	64,4	2,2	31,8
200	85,8	60,4	60,4	2,1	28,5
250	86,3	59,8	59,8	1,9	28,2
315	87,5	62,5	62,5	1,9	27,5
400	87,0	62,2	62,2	1,9	26,9
500	85,0	57,9	57,9	2,0	26,8
630	86,8	57,9	57,9	1,9	27,1
800	88,3	57,4	57,4	1,9	26,9
1000	86,4	52,7	52,7	1,7	26,7
1250	82,7	47,5	47,5	1,7	26,9
1600	85,9	47,5	47,5	1,7	26,3
2000	90,9	48,7	48,7	1,6	25,1
2500	90,0	53,2	53,2	1,5	24,0
3150	85,5	48,0	48,0	1,5	23,3
Leq e T	98,2	65,6	65,6	1,8	-

D _{nTw} 7 – Hall – Cozinha/Jantar (HALL - COZ/JAN)					
Frequência (Hz)	Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente emissor (L1) -dB	Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2) - dB	Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2 corrigido) - dB	Tempo de reverberação do ambiente de recepção sonora (T) - s	Ruído de fundo no ambiente receptor (B2) - dB
100	77,6	66,5	66,5	2,2	33,1
125	85,5	73,8	73,8	1,8	33,5
160	88,4	73,5	73,5	2,5	34,4
200	82,2	65,6	65,6	2,0	30,1
250	83,7	67,5	67,5	1,8	27,5
315	85,1	68,3	68,3	1,8	27,1
400	85,8	67,5	67,5	1,8	27,3
500	83,3	64,6	64,6	1,8	27,0
630	84,8	66,9	66,9	1,7	26,9
800	86,7	67,9	67,9	1,6	27,0
1000	84,9	65,3	65,3	1,6	27,1
1250	81,6	61,9	61,9	1,5	27,0
1600	84,3	65,6	65,6	1,5	26,5
2000	89,0	71,0	71,0	1,4	26,2
2500	87,7	70,9	70,9	1,3	25,2
3150	83,4	67,4	67,4	1,3	24,2
Leq e T	96,1	78,5	78,5	1,6	-

D _{nTw} 8 – Quarto 2_105 – Quarto 2_104 (Q2_105 – Q2_104)					
Frequência (Hz)	Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente emissor (L1) -dB	Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2) - dB	Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2 corrigido) - dB	Tempo de reverberação do ambiente de recepção sonora (T) - s	Ruído de fundo no ambiente receptor (B2) - dB
100	85,0	57,9	57,9	1,9	41,7
125	94,2	69,0	69,0	3,0	42,2
160	94,8	67,2	67,2	2,9	41,3
200	87,9	62,4	62,4	2,8	39,1
250	88,9	64,3	64,3	2,6	37,2
315	90,6	62,8	62,8	2,7	41,3
400	91,3	62,2	62,2	2,1	38,6
500	88,1	60,6	60,6	2,0	36,5
630	89,4	59,5	59,5	1,8	34,2
800	91,1	58,7	58,7	1,5	32,2
1000	88,8	55,8	55,8	1,4	30,0
1250	86,0	49,4	49,4	1,3	28,7
1600	89,7	49,4	49,4	1,2	28,2
2000	94,0	50,4	50,4	1,1	27,4
2500	93,2	54,8	54,8	1,0	26,9
3150	88,9	47,9	47,9	1,0	26,6
Leq e T	101,2	65,1	65,1	1,8	-

Apêndice B – Tabelas com a sistematização dos resultados das medições de campo de isolamento sonoro ao ruído aéreo de fachadas no objeto 1

Sistematização dos resultados das medições de campo de isolamento sonoro ao ruído aéreo de fachadas no objeto 1					
D_{2m,nTw} 1 - Fachada Quarto 1 (F-Q1)					
Frequência (Hz)	Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente emissor (L1) -dB	Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2) - dB	Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2 corrigido) - dB	Tempo de reverberação do ambiente de recepção sonora (T) - s	Ruído de fundo no ambiente receptor (B2) - dB
100	72,3	52,8	52,8	2,7	39,8
125	75,4	59,2	59,2	2,3	40,4
160	71,2	56,1	56,1	2,2	41,1
200	69,4	53,3	53,3	2,1	38,5
250	70,5	50,4	50,4	1,9	37,4
315	70,3	52,6	52,6	1,9	39,7
400	63,5	46,8	46,8	1,9	40,4
500	66,6	47,6	47,6	2,0	39,8
630	71,7	50,9	50,9	1,9	39,8
800	74,8	55,0	55,0	1,9	36,4
1000	73,9	55,7	55,7	1,7	32,2
1250	69,4	52,8	52,8	1,7	31,5
1600	68,4	52,8	52,8	1,7	31,3
2000	71,0	50,3	50,3	1,6	29,9
2500	67,4	51,8	51,8	1,5	28,4
3150	66,7	43,7	43,7	1,5	27,5
Leq e T	80,8	65,6	65,6	1,8	-
D_{2m,nTw} 2 – Fachada - Quarto 2 (F-Q2)					
Frequência (Hz)	Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente emissor (L1) -dB	Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2) - dB	Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2 corrigido) - dB	Tempo de reverberação do ambiente de recepção sonora (T) - s	Ruído de fundo no ambiente receptor (B2) - dB
100	71,3	59,2	59,2	1,9	41,7
125	74,8	59,8	59,8	3,0	42,2
160	70,6	59,4	59,4	2,9	41,3
200	69,0	59,2	59,2	2,8	39,1
250	69,7	55,1	55,1	2,6	37,2
315	70,1	54,0	54,0	2,7	41,3
400	63,7	49,6	49,6	2,1	38,6
500	65,3	49,7	49,7	2,0	36,5
630	71,9	57,0	57,0	1,8	34,2
800	73,9	59,2	59,2	1,5	32,2
1000	73,7	57,7	57,7	1,4	30,0
1250	69,6	53,2	53,2	1,3	28,7
1600	68,1	53,2	53,2	1,2	28,2
2000	71,3	53,7	53,7	1,1	27,4
2500	68,0	56,2	56,2	1,0	26,9
3150	66,1	47,7	47,7	1,0	26,6
Leq e T	80,6	65,3	65,3	1,9	-

Apêndice C – Tabelas com a sistematização dos resultados das medições de campo de isolamento sonoro ao ruído aéreo entre recintos no objeto 2

Sistematização dos resultados das medições de campo de isolamento sonoro ao ruído aéreo entre recintos no objeto 2

D_{nTw} 1 - Sala de estar - Quarto (SE-Q)

Frequência (Hz)	Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente emissor (L1) -dB	Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2) - dB	Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2 corrigido) - dB	Tempo de reverberação do ambiente de recepção sonora (T) - s	Ruído de fundo no ambiente receptor (B2) - dB
100	83,9	75,2	75,2	1,2	43,1
125	90,8	84,4	84,4	2,8	50,4
160	91,5	84,6	84,6	2,9	48,9
200	86,8	76,9	76,9	3,0	44,6
250	86,1	75,0	75,0	2,6	40,6
315	88,1	78,2	78,2	2,4	43,2
400	89,1	78,5	78,5	2,1	42,4
500	87,9	75,3	75,3	1,8	41,2
630	88,7	75,4	75,4	1,8	39,9
800	90,6	77,5	77,5	1,6	40,1
1000	91,2	74,9	74,9	1,6	41,7
1250	85,8	71,6	71,6	1,6	42,6
1600	88,1	71,6	71,6	1,6	43,6
2000	91,8	73,9	73,9	1,4	42,6
2500	90,5	78,3	78,3	1,4	39,6
3150	85,9	78,2	78,2	1,3	36,7
Leq e T	99,4	87,1	87,1	1,8	-

D_{nTw} 2 – Banheiro Suíte 1 - Quarto (WCB1-Q)

Frequência (Hz)	Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente emissor (L1) -dB	Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2) - dB	Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2 corrigido) - dB	Tempo de reverberação do ambiente de recepção sonora (T) - s	Ruído de fundo no ambiente receptor (B2) - dB
100	92,8	72,9	72,9	1,2	36,7
125	103,2	85,3	85,3	2,8	34,4
160	105,9	82,2	82,2	2,9	31,8
200	92,6	70,9	70,9	3,0	28,5
250	93,0	71,2	71,2	2,6	28,2
315	95,3	73,6	73,6	2,4	27,5
400	96,2	73,9	73,9	2,1	26,9
500	95,9	68,6	68,6	1,8	26,8
630	94,1	67,1	67,1	1,8	27,1
800	95,7	67,6	67,6	1,6	26,9
1000	95,2	64,0	64,0	1,6	26,7
1250	91,0	59,8	59,8	1,6	26,9
1600	93,0	59,8	59,8	1,6	26,3
2000	97,6	62,4	62,4	1,4	25,1
2500	96,5	66,9	66,9	1,4	24,0
3150	90,4	66,2	66,2	1,3	23,3
Leq e T	99,8	75,8	75,8	1,8	-

D _{nT_w} 3 – Banheiro Suíte 1 – Suíte 1 (WCB1-S1)					
Frequência (Hz)	Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente emissor (L1) -dB	Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2) - dB	Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2 corrigido) - dB	Tempo de reverberação do ambiente de recepção sonora (T) - s	Ruído de fundo no ambiente receptor (B2) - dB
100	92,8	83,7	83,7	1,6	49,1
125	103,2	91,2	91,2	4,0	43,3
160	105,9	96,1	96,1	3,0	51,8
200	92,6	85,12	85,12	2,3	44,6
250	93,0	81,4	81,4	2,6	45,5
315	95,3	84,1	84,1	2,6	45,8
400	96,2	83,8	83,8	2,1	44,3
500	95,9	81,8	81,8	2,0	43,1
630	94,1	80,5	80,5	1,9	41,8
800	95,7	80,9	80,9	1,7	40,5
1000	95,2	78,5	78,5	1,7	39,9
1250	91,0	74,3	74,3	1,6	39,6
1600	93,0	74,3	74,3	1,5	40,1
2000	97,6	76,1	76,1	1,4	38,9
2500	96,5	80,9	80,9	1,2	34,5
3150	90,4	81,3	81,3	1,1	31,0
Leq e T	99,8	88,2	88,2	1,9	-

D _{nT_w} 4 – Circulação/ Sala de estar – Suíte 1 (CIRC/SE-S1)					
Frequência (Hz)	Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente emissor (L1) -dB	Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2) - dB	Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2 corrigido) - dB	Tempo de reverberação do ambiente de recepção sonora (T) - s	Ruído de fundo no ambiente receptor (B2) - dB
100	91,2	88,9	88,9	1,6	49,1
125	93,7	91,0	91,0	4,0	43,3
160	98,7	93,7	93,7	3,0	51,8
200	91,1	83,6	83,6	2,3	44,6
250	90,3	81,8	81,8	2,6	45,5
315	88,8	82,0	82,0	2,6	45,8
400	91,4	80,6	80,6	2,1	44,3
500	86,9	76,2	76,2	2,0	43,1
630	88,8	76,2	76,2	1,9	41,8
800	90,2	78,1	78,1	1,7	40,5
1000	88,0	75,5	75,5	1,7	39,9
1250	85,0	72,4	72,4	1,6	39,6
1600	86,5	72,4	72,4	1,5	40,1
2000	91,4	73,5	73,5	1,4	38,9
2500	90,7	77,1	77,1	1,2	34,5
3150	83,9	77,2	77,2	1,1	31,0
Leq e T	99,4	85,3	85,3	1,9	-

D _{nTw} 5 – Suíte 2 – Suíte 1 (S2-S1)					
Frequência (Hz)	Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente emissor (L1) -dB	Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2) - dB	Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2 corrigido) - dB	Tempo de reverberação do ambiente de recepção sonora (T) - s	Ruído de fundo no ambiente receptor (B2) - dB
100	91,1	80,1	80,1	1,6	49,1
125	99,7	81,0	81,0	4,0	43,3
160	101,1	84,2	84,2	3,0	51,8
200	94,8	77,6	77,6	2,3	44,6
250	95,7	75,0	75,0	2,6	45,5
315	96,7	74,9	74,9	2,6	45,8
400	95,0	73,0	73,0	2,1	44,3
500	93,7	69,8	69,8	2,0	43,1
630	93,4	68,3	68,3	1,9	41,8
800	94,2	68,3	68,3	1,7	40,5
1000	92,4	63,4	63,4	1,7	39,9
1250	88,7	59,3	59,3	1,6	39,6
1600	89,3	59,3	59,3	1,5	40,1
2000	92,8	59,9	59,9	1,4	38,9
2500	92,1	65,2	65,2	1,2	34,5
3150	85,8	64,1	64,1	1,1	31,0
Leq e T	102,5	76,0	76,0	1,9	-

D _{nTw} 6 – Circulação/ Sala de estar – Suíte 2 (CIRC/SE-S2)					
Frequência (Hz)	Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente emissor (L1) -dB	Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2) - dB	Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2 corrigido) - dB	Tempo de reverberação do ambiente de recepção sonora (T) - s	Ruído de fundo no ambiente receptor (B2) - dB
100	91,2	78,6	78,6	2,6	45,0
125	93,7	85,6	85,6	3,0	46,6
160	98,7	91,5	91,5	3,4	51,3
200	91,1	80,2	80,2	2,8	44,7
250	90,3	80,1	80,1	3,2	43,5
315	88,8	80,8	80,8	2,7	44,8
400	91,4	82,6	82,6	2,7	47,1
500	86,9	77,7	77,7	2,2	43,0
630	88,8	77,0	77,0	2,2	41,2
800	90,2	78,4	78,4	2,0	40,4
1000	88,0	76,5	76,5	2,3	40,6
1250	85,0	73,0	73,0	2,1	41,5
1600	86,5	73,0	73,0	1,8	41,7
2000	91,4	74,6	74,6	1,6	40,6
2500	90,7	78,7	78,7	1,4	36,9
3150	83,9	78,6	78,6	1,3	31,5
Leq e T	99,4	85,6	85,6	2,2	-

D_{nTw} 7 – Banheiro Suíte 2– Suíte 2 (WCB2 – S2)

Frequência (Hz)	Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente emissor (L1) -dB	Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2) - dB	Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2 corrigido) - dB	Tempo de reverberação do ambiente de recepção sonora (T) - s	Ruído de fundo no ambiente receptor (B2) - dB
100	95,9	73,8	73,8	2,6	45,0
125	105,8	85,1	85,1	3,0	46,6
160	105,7	92,0	92,0	3,4	51,3
200	90,1	85,7	85,7	2,8	44,7
250	94,4	85,0	85,0	3,2	43,5
315	101,8	91,0	91,0	2,7	44,8
400	99,4	86,1	86,1	2,7	47,1
500	97,5	84,3	84,3	2,2	43,0
630	99,9	85,0	85,0	2,2	41,2
800	101,1	85,3	85,3	2,0	40,4
1000	99,0	82,7	82,7	2,3	40,6
1250	96,0	79,3	79,3	2,1	41,5
1600	98,3	79,3	79,3	1,8	41,7
2000	102,6	81,5	81,5	1,6	40,6
2500	101,3	86,0	86,0	1,4	36,9
3150	96,1	85,7	85,7	1,3	31,5
Leq e T	110,0	95,1	95,1	2,2	-

D_{nTw} 8 – Cozinha 103 – Cozinha 104 (COZ_103-COZ_104)

Frequência (Hz)	Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente emissor (L1) -dB	Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2) - dB	Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2 corrigido) - dB	Tempo de reverberação do ambiente de recepção sonora (T) - s	Ruído de fundo no ambiente receptor (B2) - dB
100	89,1	67,7	67,7	2,2	48,8
125	90,1	69,4	69,4	2,5	49,5
160	91,5	67,8	67,8	2,3	51,9
200	89,2	63,1	63,1	2,3	49,3
250	88,3	60,4	60,4	1,9	48,0
315	89,7	61,6	61,6	2,0	51,7
400	89,8	61,0	61,0	1,9	46,4
500	89,7	59,7	59,7	1,8	47,0
630	91,3	59,1	59,1	1,6	46,2
800	93,3	60,5	60,5	1,5	45,4
1000	90,6	57,9	57,9	1,4	45,6
1250	88,4	54,2	54,2	1,3	45,7
1600	90,1	54,2	54,2	1,2	43,9
2000	94,5	54,9	54,9	1,1	42,8
2500	94,2	59,4	59,4	1,0	40,2
3150	89,7	57,5	57,5	1,0	37,4
Leq e T	102,2	68,6	68,6	1,6	-

D _{nTw} 9 – Hall entre apartamentos – Cozinha apartamento 104 (HALL-COZ104)					
Frequência (Hz)	Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente emissor (L1) -dB	Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2) - dB	Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2 corrigido) - dB	Tempo de reverberação do ambiente de recepção sonora (T) - s	Ruído de fundo no ambiente receptor (B2) - dB
100	84,8	62,0	62,0	2,2	48,8
125	87,0	69,2	69,2	2,5	45,2
160	92,0	65,6	65,6	2,4	45,5
200	85,7	60,6	60,6	2,3	45,1
250	84,4	58,1	58,1	1,9	40,8
315	87,4	60,1	60,1	2,0	43,8
400	88,1	59,3	59,3	2,0	42,2
500	87,2	58,0	58,0	1,8	42,5
630	88,2	55,4	55,4	1,6	42,2
800	90,2	55,7	55,7	1,5	41,7
1000	86,6	53,4	53,4	1,4	42,3
1250	85,7	49,4	44,6	1,3	42,7
1600	87,9	49,4	44,5	1,2	40,4
2000	92,6	50,6	50,6	1,1	38,4
2500	92,5	56,1	56,1	1,0	35,6
3150	88,6	56,4	56,4	0,9	31,3
Leq e T	100,2	65,9	65,9	1,6	-
D _{nTw} 10 – Hall dos apartamentos – Sala de estar 104 (HALL-SE_104)					
Frequência (Hz)	Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente emissor (L1) -dB	Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2) - dB	Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2 corrigido) - dB	Tempo de reverberação do ambiente de recepção sonora (T) - s	Ruído de fundo no ambiente receptor (B2) - dB
100	81,6	63,9	63,9	1,8	43,5
125	85,9	68,9	68,9	2,5	44,2
160	91,1	76,0	76,0	3,1	50,9
200	83,8	70,2	70,2	2,8	43,4
250	81,9	68,7	68,7	2,6	42,8
315	87,5	70,3	70,3	2,8	43,8
400	88,4	72,4	72,4	2,5	44,0
500	87,4	69,6	69,6	2,3	41,1
630	88,6	69,4	69,4	2,2	40,6
800	90,1	71,2	71,2	2,1	39,6
1000	86,5	68,5	68,5	2,0	41,0
1250	85,5	65,4	65,4	2,0	41,1
1600	87,4	65,4	65,4	1,9	40,3
2000	92,0	69,0	69,0	1,7	38,8
2500	91,7	75,7	75,7	1,5	36,1
3150	88,8	77,0	77,0	1,3	32,7
Leq e T	99,8	83,0	83,0	2,1	-

D_{nTw} 11 – Sala de estar 104/ Suíte 105 (SE 104 – S 105)

Frequência (Hz)	Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente emissor (L1) -dB	Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2) - dB	Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2 corrigido) - dB	Tempo de reverberação do ambiente de recepção sonora (T) - s	Ruído de fundo no ambiente receptor (B2) - dB
100	79,0	64,5	64,5	1,4	43,3
125	89,8	58,7	58,7	2,7	42,4
160	92,6	66,6	66,6	2,7	47,9
200	88,3	57,7	57,7	4,0	43,9
250	88,6	60,3	60,3	3,4	46,5
315	91,7	63,6	63,6	3,5	46,4
400	90,6	61,5	61,5	2,7	40,8
500	89,3	58,4	58,4	2,5	39,0
630	90,1	56,3	56,3	2,2	37,2
800	92,5	56,1	56,1	2,1	36,1
1000	91,1	53,1	53,1	2,2	36,6
1250	87,6	49,6	49,6	2,8	38,0
1600	89,5	49,6	49,6	2,1	39,1
2000	93,8	49,7	49,7	1,8	39,3
2500	93,0	53,0	53,0	1,6	35,5
3150	88,8	51,3	51,3	1,4	30,8
Leq e T	101,5	65,7	65,7	2,3	-

D_{nTw} 12 – Banheiros suíte 2 – Suíte 105 (WCB2-S 105)

Frequência (Hz)	Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente emissor (L1) -dB	Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2) - dB	Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2 corrigido) - dB	Tempo de reverberação do ambiente de recepção sonora (T) - s	Ruído de fundo no ambiente receptor (B2) - dB
100	93,7	64,2	64,2	1,4	45,4
125	102,9	61,1	61,1	2,7	39,2
160	103,7	71,8	71,8	2,7	49,6
200	90,0	61,7	61,7	4,0	45,4
250	94,3	60,6	60,6	3,4	47,8
315	100,2	64,9	64,9	3,5	44,2
400	98,8	63,7	63,7	2,7	44,2
500	95,5	61,0	61,0	2,5	42,0
630	98,8	58,3	58,3	2,2	40,1
800	99,3	57,5	57,5	2,1	38,8
1000	97,4	53,8	53,8	2,2	39,4
1250	95,2	48,7	48,7	2,2	35,9
1600	96,1	48,7	48,7	2,1	36,6
2000	101,2	47,5	47,5	1,8	37,2
2500	101,7	50,9	50,9	1,6	37,1
3150	95,8	48,4	48,4	1,4	35,6
Leq e T	109,0	65,0	65,0	2,7	-

Apêndice D – Tabelas com a sistematização dos resultados das medições de campo de isolamento sonoro ao ruído aéreo de fachadas no objeto 2

Sistematização dos resultados das medições de campo de isolamento sonoro ao ruído aéreo de fachadas no objeto 2					
D_{2m,nTw} 1 - Fachada Quarto (F-Q)					
Frequência (Hz)	Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente emissor (L1) -dB	Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2) - dB	Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2 corrigido) - dB	Tempo de reverberação do ambiente de recepção sonora (T) - s	Ruído de fundo no ambiente receptor (B2) - dB
100	79,0	58,6	58,6	1,2	43,1
125	83,7	65,8	65,8	2,8	50,4
160	78,2	65,8	65,8	2,9	48,9
200	77,3	60,4	60,4	3,0	44,6
250	78,7	57,0	57,0	2,6	40,6
315	75,8	58,3	58,3	2,4	43,2
400	71,8	53,9	53,9	2,1	42,4
500	71,5	52,6	52,6	1,8	41,2
630	71,6	55,4	55,4	1,8	39,9
800	75,4	58,3	58,3	1,6	40,1
1000	77,1	58,0	58,0	1,6	41,7
1250	74,8	57,0	57,0	1,6	42,6
1600	74,0	57,0	57,0	1,6	43,6
2000	77,1	58,9	58,9	1,4	42,6
2500	75,8	62,3	62,3	1,4	39,6
3150	73,3	63,0	63,0	1,3	36,7
Leq e T	85,8	68,2	68,2	1,8	-
D_{2m,nTw} 2 – Fachada – Suíte 1 (F-S1)					
Frequência (Hz)	Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente emissor (L1) -dB	Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2) - dB	Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2 corrigido) - dB	Tempo de reverberação do ambiente de recepção sonora (T) - s	Ruído de fundo no ambiente receptor (B2) - dB
100	80,3	65,6	65,6	1,6	49,1
125	83,4	64,9	64,9	4,0	43,3
160	78,4	64,0	64,0	3,0	51,8
200	74,4	57,3	57,3	2,3	44,6
250	74,3	54,6	54,6	2,6	45,5
315	75,2	59,6	59,6	2,6	45,8
400	72,1	55,5	55,5	2,1	44,3
500	70,4	52,0	52,0	2,0	43,1
630	69,2	53,2	53,2	1,9	41,8
800	72,5	59,2	59,2	1,7	40,5
1000	71,8	57,6	57,6	1,7	39,9
1250	70,2	55,2	55,2	1,6	39,6
1600	71,6	55,2	55,2	1,5	40,1
2000	74,6	58,0	58,0	1,4	38,9
2500	73,8	61,6	61,6	1,2	34,5
3150	67,5	59,1	59,1	1,1	31,0
Leq e T	82,9	66,4	66,4	1,9	-

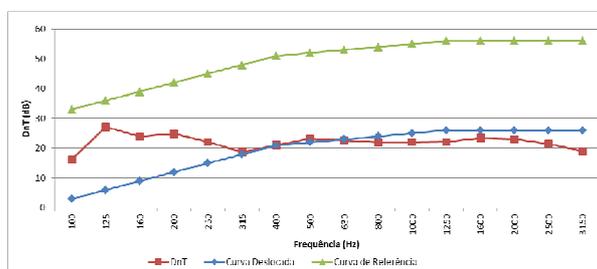
D_{2m,nTw} 3 – Fachada – Suíte 2 (F-S2)

Frequência (Hz)	Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente emissor (L1) -dB	Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2) - dB	Nível de pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2 corrigido) - dB	Tempo de reverberação do ambiente de recepção sonora (T) - s	Ruído de fundo no ambiente receptor (B2) - dB
100	80,3	65,6	65,6	2,6	45,0
125	83,4	64,9	64,9	3,0	46,6
160	78,4	64,0	64,0	3,4	51,3
200	74,4	57,3	57,3	2,8	44,7
250	74,3	54,6	54,6	3,2	43,5
315	75,2	59,6	59,6	2,7	44,8
400	72,1	55,5	55,5	2,7	47,1
500	70,4	52,0	52,0	2,2	43,0
630	69,2	53,2	53,2	2,2	41,2
800	72,5	59,2	59,2	2,0	40,4
1000	71,8	57,6	57,6	2,3	40,6
1250	70,2	55,2	55,2	2,1	41,5
1600	71,6	55,2	55,2	1,8	41,7
2000	74,6	58,0	58,0	1,6	40,6
2500	73,8	61,6	61,6	1,4	36,9
3150	67,5	59,1	59,1	1,3	31,5
Leq e T	82,9	66,4	66,4	2,2	-

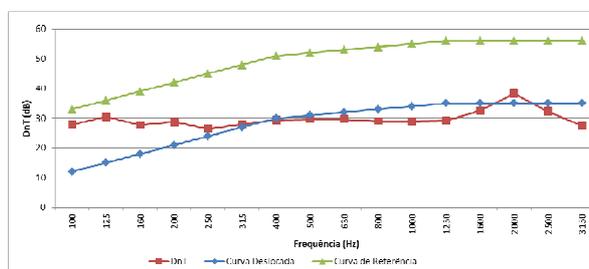
Apêndice E – Gráficos com as Diferenças Padronizadas de Nível para partições internas (D_{nT}) e fachadas dos quartos ($D_{2m,nT}$), com seus respectivos valores globais (D_{nTw} e $D_{2m,nTw}$) do objeto 1

Diferença Padronizada de Nível para as partições internas (D_{nT}) e para as fachadas dos quartos ($D_{2m,nT}$), com seus respectivos valores globais (D_{nTw} e $D_{2m,nTw}$) em d(B) do objeto 1

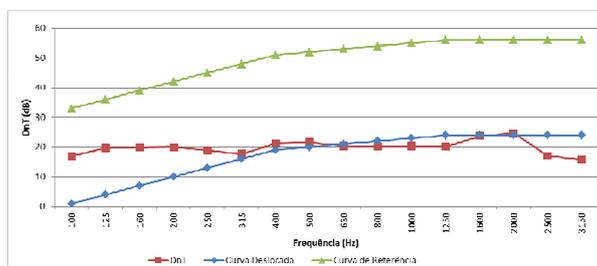
D_{nTw} 1 - Sala de estar/ Quarto 1 - 22 (0;0)



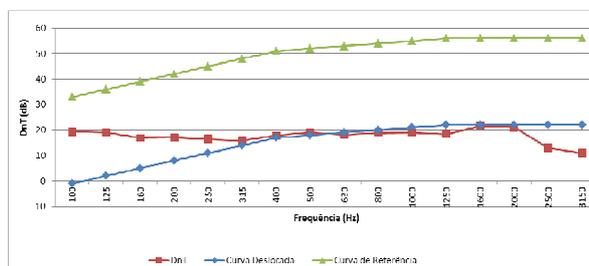
D_{nTw} 2 - Quarto 1/ Quarto 2 - 31 (-1;-1)



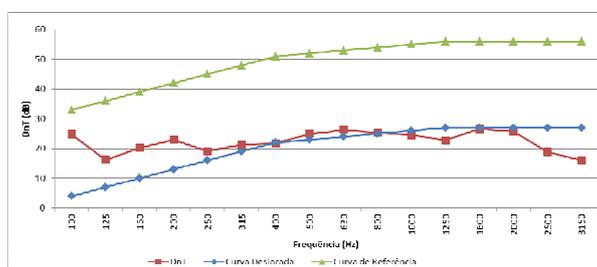
D_{nTw} 3 - Cozinha-circulação/ Quarto 1 - 20 (-1;0)



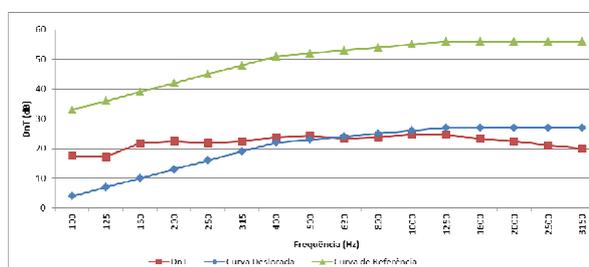
D_{nTw} 4 - Cozinha-circulação / Quarto 2 - 18 (-2;0)



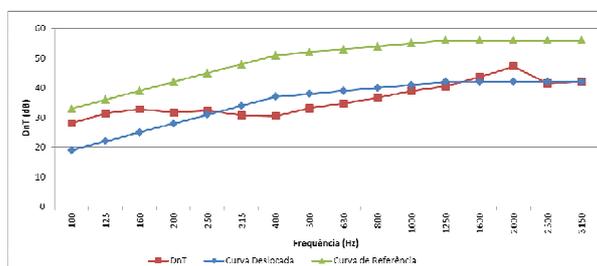
D_{nTw} 5 - Banheiro/ Quarto 2 - 23 (-2;0)



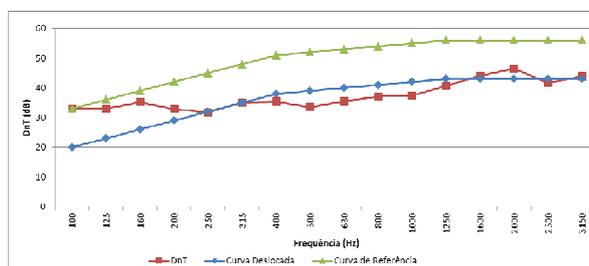
D_{nTw} 6 - Hall/ Jantar-Cozinha - 23 (0;0)



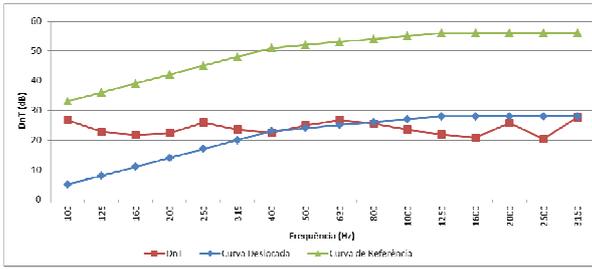
D_{nTw} 7 - Sala estar 103/- Sala estar 104 - 38 (0;-2)



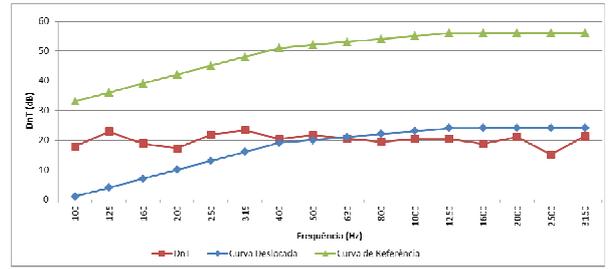
D_{nTw} 8 - Quarto 2_105/ Quarto 2_104 - 39 (0;-2)



D_{2m,nTw} 1 – Fachada Quarto 01 - 24(-1;-1)



D_{2m,nTw} 2 – Fachada Quarto 02 - 20(-1;0)



Apêndice F – Gráficos com as Diferenças Padronizadas de Nível para partições internas (D_{nT}) e fachadas dos quartos ($D_{2m,nT}$), com seus respectivos valores globais (D_{nTw} e $D_{2m,nTw}$) do objeto 2

Diferença Padronizada de Nível para as partições internas (D_{nT}) e para as fachadas dos quartos ($D_{2m,nT}$), com seus respectivos valores globais (D_{nTw} e $D_{2m,nTw}$) em d(B) do objeto 2

