

OTÁVIO JOAQUIM DA SILVA JÚNIOR

AVALIAÇÃO DE INTENSIDADE SONORA EM EDIFICAÇÕES

Recife

2012

OTÁVIO JOAQUIM DA SILVA JÚNIOR

AVALIAÇÃO DE INTENSIDADE SONORA EM EDIFICAÇÕES

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Escola de Engenharia de
Pernambuco da Universidade Federal de
Pernambuco para obtenção do título de
Engenheiro Civil

Área de concentração: Engenharia de
construção

Orientador: Professor José Jeferson do
Rego Silva

Recife

2012

OTÁVIO JOAQUIM DA SILVA JÚNIOR

AVALIAÇÃO DE INTENSIDADE SONORA EM EDIFICAÇÕES

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Escola de Engenharia de
Pernambuco da Universidade Federal de
Pernambuco para obtenção do título de
Engenheiro Civil

Comissão Examinadora:

Profº Dr. José Jeferson do Rego Silva
DECIVIL – UFPE – Orientador

Profº Dr. Tibério Wanderley Correia de Oliveira Andrade
DECIVIL – UFPE – Examinador interno

Profº MPhil. Arq. Paula Maria Wanderley Maciel Rego Silva
Examinadora Externa

Recife

2012

FICHA CATALOGRÁFIA

Júnior, Otávio Joaquim da Silva

Avaliação de intensidade sonora em edificações /
Otávio Joaquim da Silva Júnior. –Recife, 2012.

Trabalho de Conclusão de curso (TCC) – Centro de
Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de
Pernambuco. Departamento de Engenharia Civil.

1.Acústica de edifícios 2.Ensaio de acústica
3.Desempenho acústico

Dedico este trabalho aos meus pais,
pois, sou o que sou graças a eles.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus meu grande guia nesta jornada, por todo seu amor ajudando a caminhar mesmo nos momentos de grandes dificuldades.

Aos meus pais, Otávio e Maria, por sempre acreditarem em meu potencial e me apoiarem incondicionalmente, à minha namorada Mariucha pela compreensão e carinho, ao meu irmão Otaciano pela atenção e cooperação nesta jornada.

Ao Prof. Dr. José Jeferson do Rego Silva, pela confiança, dedicação, apoio e incentivo na orientação deste trabalho.

À Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, por promover a realização de um sonho, que é a obtenção do diploma de Engenheiro Civil.

Se o SENHOR não edificar a casa,
em vão trabalham os que a edificam.
(Salmos 127:1)

RESUMO

O aquecimento do mercado imobiliário tem refletido uma maior exigência da população por imóveis mais confortáveis acusticamente, principalmente nos grandes centros urbanos, onde o nível de intensidade sonora tem aumentado de forma significativa. O pouco conhecimento da acústica de edifícios e a complexidade teórica das literaturas atuais geram dificuldades na análise acústica das edificações. O presente trabalho visa expor de forma clara, objetiva e sintética as principais características acústicas das edificações, abordando inicialmente um estudo introdutório da física acústica, seguido por uma análise básica do desempenho acústico das edificações, um estudo das principais variáveis acústicas das alvenarias e uma descrição normativa sobre desempenho acústico de edifícios no Brasil. Por fim, serão analisados três estudos de caso de residências unifamiliares que empregam concreto leve nas divisórias internas e externas.

Palavras chave: Acústica de edifícios. Ensaio de acústica. Desempenho acústico.

ABSTRACT

The heating of the housing market has reflected a greater demand for housing of the population more acoustically comfortable, especially in large urban centers, where the sound intensity level has increased significantly. The little knowledge of building acoustics and theoretical complexity of the current literature lead to difficulties in acoustic analysis of buildings. The present work aims to bring out clearly, the main objective and synthetic acoustic characteristics of the buildings, initially addressing an introductory study of physical acoustics, followed by a basic analysis of the acoustic performance of buildings, a major study of acoustic variables and a description of brickwork regulations on the acoustic performance of buildings in Brazil. Finally, we will analyze three case studies of single-family homes that employ lightweight concrete partitions on internal and external.

Keywords: Acoustics of buildings. Acoustic test. Acoustic performance

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Som X Ruído.....	19
Figura 2 – Pressão X Tempo.....	20
Figura 3 – Escala de intensidade sonora	22
Figura 4 – tempo de reverberação	23
Figura 5 – Comportamento das ondas sonoras em obstáculos	24
Figura 6 – Curvas de avaliação de ruído - NC (NBR 10152:1987).....	32
Figura 7 – Medido de nível de pressão sonora	39
Figura 8 – Calibrador do nível de pressão acústica	40
Figura 9 – Fonte emissora de ruído	41
Figura 10 – Planta baixa da unidade habitacional ensaiada (caso 1)	46
Figura 11 – Fachada frontal da unidade habitacional ensaiada (caso 1)	48
Figura 12– Nível de critério de avaliação (caso 1)	49
Figura 13 – Planta baixa da unidade habitacional ensaiada (caso 2)	50
Figura 14 – Fachada da unidade habitacional ensaiada (caso 2)	52
Figura 15 – Nível de critério de avaliação (caso 2)	54
Figura 16 – Planta baixa da unidade habitacional ensaiada (caso 3)	55
Figura 17 – Fachada da unidade habitacional ensaiada (caso 3)	57
Figura 18 – Nível de critério de avaliação (caso 3)	59
Figura 19 – Níveis de critério de avaliação em todos os estudos de caso	60
Figura 20 – Diferença entre o NCA medido e de referência.....	61
Figura 21 – Diferença padronizada de nível da vedação externa	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Índice de isolamento acústico (adaptado de Carvalho 2010)	27
Tabela 2 – Nível de critério de avaliação NCA para ambientes externos, em dB(A) (NBR 10151:2000)	29
Tabela 3 – Valores de dB(A) e NC (NBR 10152:1987)	30
Tabela 4 – Critério e nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado, $L'_{nT,w}$, para ensaios de campo (NBR 15575-3:2008)	33
Tabela 5 – Critérios de diferença padronizada de nível ponderada, $D_{nT,w}$ para ensaios de campo e R_w para ensaios de laboratório (NBR 15575-3:2008).....	34
Tabela 6 – Diferença padronizada de nível promovido pela vedação externa em ensaio de campo $D_{2m,nT,w}$ e ensaios de laboratório R_w (NBR 15575-4:2008).....	34
Tabela 7 – Diferença padronizada de nível promovido pela vedação interna em ensaio de campo $D_{nT,w}$ e ensaios de laboratório R_w (NBR 15575-4:2008).....	35
Tabela 8 – Diferença padronizada de nível da vedação externa de cobertura em ensaio de campo $D_{2m,nT,w}$ (NBR 15575-5:2008)	36
Tabela 9 – Diferença padronizada de nível da vedação externa de cobertura em ensaio de laboratório $D_{2m,nT,w}$ (NBR 15575-5:2008)	36
Tabela 10 – nível de pressão sonora de impacto em ensaio de campo $L'_{nT,w}$ (NBR 15575-5:2008).....	37
Tabela 11 – Descrição dos equipamentos utilizados nos ensaios de desempenho acústico	45
Tabela 12 – Caracterização do ruído ambiente (caso 1).....	47
Tabela 13 – Nível de critério de avaliação (caso 1).....	48
Tabela 14 – Diferença padronizada de nível promovida pela vedação externa (caso 1).....	49
Tabela 15 – Caracterização do ruído ambiente (caso 2).....	51
Tabela 16 – Nível de critério de avaliação (caso 2).....	53
Tabela 17 – Diferença padronizada de nível promovida pela vedação externa (caso 2)	54
Tabela 18 – Caracterização do ruído ambiente (caso 3).....	56
Tabela 19 – Nível de critério de avaliação (caso 3).....	58
Tabela 20 – Diferença padronizada de nível promovida pela vedação externa (caso 3).....	59

Tabela 21 – Níveis de ruído ambiente.....	60
Tabela 22 – Resumo da diferença padronizada de nível da vedação externa nos estudos de caso	63

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
$D_{2m,nT,w}$ (Weighted Standardized Level Difference at 2 m)	- Diferença Padronizada de Nível Ponderada a 2 m
dB	- Decibel
dB (A)	- Decibel Ponderado com a escala A
$D_{nT,w}$	- Diferença Padronizada de Nível Ponderada (Weighted Standardized Level Difference), onde as diferenças padronizadas são ponderadas e consolidadas em um único valor
IA	- Índice de Isolamento Acústico
$L'_{nT,w}$ Ponderado (Weighted Standardized Impact Sound Pressure Level)	- Nível de Pressão Sonora de Impacto Padronizado
L_{Aeq}	- Nível de Pressão Sonora Equivalente Ponderado em "A"
NBR	- Norma Brasileira Registrada
NC	- Nível de Conforto
NCA	- Nível de Critério de Avaliação
NPS	- Nível de Pressão Sonora
R_w Reduction Index)	- Índice de Redução Sonora Ponderado (Weighted Sound Reduction Index)
T_{60}	- Tempo de Reverberação

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	16
1.1. Objetivos	16
1.1.1. Objetivo geral.....	16
1.1.2. Objetivos específicos.....	16
1.2. Justificativa.....	17
1.3. Revisão bibliográfica	17
1.4. Materiais e Métodos.....	18
2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA ACÚSTICA	19
2.1. Som e ruído.....	19
2.2. Tempo de reverberação	22
2.3. Propagação de ondas sonoras com obstáculos.....	24
2.3.1. Som incidente	24
2.3.2. Som refletido.....	24
2.3.3. Som absorvido	25
2.3.4. Som transmitido	25
3. ACÚSTICA DE EDIFÍCIOS.....	26
3.1. Características acústicas das edificações.....	26
3.2. Características acústicas de materiais empregados nas paredes	26
4. REFERÊNCIAS NORMATIVAS.....	28
4.1. Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto acústico da comunidade (NBR 10151).....	28
4.1.1. Nível de critério de avaliação (NCA)	28
4.1.2. Ruídos com características especiais	28
4.1.3. Nível de critério de avaliação para ambientes externos.....	29
4.2. Níveis de ruído para conforto acústico (NBR 10152).....	30
4.3. Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho (15575)	32

4.3.1. Níveis de pressão sonora de impacto em laje para ensaio de campo (NBR 15575-3).....	33
4.3.2. Níveis de ruído aéreo de pisos entre unidades habitacionais (NBR 15575-3) 33	
4.3.3. Diferença padronizada de nível promovida pela vedação externa (NBR 15575-4).....	34
4.3.4. Diferença padronizada de nível promovida pela vedação interna (NBR 15575-4).....	35
4.3.5. Isolação acústica da cobertura devida sons aéreos (NBR 15575-5).....	36
4.3.6. Isolação de ruído de impactos em coberturas acessíveis de uso coletivo (NBR 15575-5)	36
4.3.7. Determinação do nível de ruído em áreas habitadas: método de ensaio (L11.032).....	37
5. PROCEDIMENTOS DE ENSAIO.....	38
5.1. Definições	38
5.2. Instrumentação	38
5.3. Calibração dos instrumentos	41
5.4. Condições gerais de ensaio.....	42
5.5. Medições	42
5.5.1. Medição do nível de ruído ambiente	42
5.5.2. Medições externas à edificação	42
5.5.3. Medições internas à edificação	43
5.6. Relatório	44
6. ESTUDOS DE CASO	45
6.1. Estudo de caso 1	45
6.1.1. Descrição do empreendimento	45
6.1.2. Ensaio e avaliação dos resultados	46
6.2. Estudo de caso 2	50

6.2.1. Descrição do empreendimento	50
6.2.2. Ensaio e avaliação dos resultados	51
6.3. Estudo de caso 3	55
6.3.1. Descrição do empreendimento	55
6.3.2. Ensaio e avaliação dos resultados	56
6.4. Análise dos estudos de caso	59
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	64
8. BIBLIOGRAFIA.....	65

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos tempos tem-se verificado um aumento bastante significativo em intensidade sonora em regiões urbanas (Leão, 1994). Esta ocorrência deve-se a diversas causas, entre elas destacam-se, por exemplo: o aumento populacional em centros e urbanos, uso generalizado de equipamentos, crescente quantidade de automóveis em circulação e a proximidade entre os aeroportos e os centros urbanos. O desconforto causado pelo aumento excessivo de ruído pode provocar alterações psicológicas como diminuição da capacidade de concentração e stress, além de outros problemas à saúde como alteração do ritmo cardíaco e respiratório (Almeida, 2006).

Em decorrência destes incômodos, começa-se a exigir que as edificações sejam construídas de forma a proporcionar maior conforto acústico a seus ocupantes. De forma que as vedações externas e internas devem proporcionar isolamento acústico adequado, garantindo que os ruídos que incidam sobre os ambientes sejam reduzidos a níveis de conforto aceitáveis aos seus usuários. Os níveis de conforto são estabelecidos nas normas técnicas brasileiras NBRs: 10151, 10152 e 15575.

Visando minimizar o desconforto causado por ruídos e perturbações sonoras indesejadas, a engenharia tem utilizado matérias, como: concreto, tijolo cerâmico, vidro, etc.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo geral

Estudar o desempenho acústico de habitações populares em atendimento as normas brasileiras.

1.1.2. Objetivos específicos

- Descrever sucintamente a física acústica;
- Apresentar conceitos básicos de desempenho acústico das edificações;
- Identificar e quantificar variáveis importantes para o desempenho acústico de alvenaria;

- Estudar requisitos normativos para desempenho acústico;
- Avaliar o desempenho acústico de habitações populares.

1.2. Justificativa

A maior parte das edificações e dos projetos desconsidera o desempenho acústico do empreendimento, de forma que a construção civil ainda executa imóveis acusticamente inadequados, pois não são disponibilizadas informações sobre o desempenho acústico das edificações e seus componentes (Freitas 2006).

A racionalização de materiais na construção civil, conferindo as construções uma menor espessura tem provocado uma redução no desempenho acústico das edificações.

Por outro lado é crescente o número de reclamações quanto às questões de ruído urbano (Carvalho, 2010), tendo em vista o aumento significativo de veículos circulando diariamente nos grandes centros urbanos.

Outra forma de ruído bastante incômoda, tem sido o impacto em lajes, esse tipo de ruído é produzido por impactos nos elementos da edificação, como a queda de objetos, podendo gerar incômodo aos usuários dos ambientes adjacentes (LONG, 2006).

Por todos estes motivos é justificável a análise acústica das edificações, a fim de garantir um maior conforto aos usuários.

1.3. Revisão bibliográfica

O estudo da acústica de edifícios no Brasil é uma matéria relativamente nova, a bibliografia disponível, em português, resume-se a poucos livros e tratados (Carvalho, 2010), no entanto, a busca do mercado imobiliário por imóveis cada dia mais confortáveis acusticamente tem ocasionado um maior estudo na área. Os trabalhos atuais tem buscado avaliar o comportamento acústico dos componentes da edificação, tais como: paredes, lajes e cobertas analisando os materiais (concreto, cerâmica, gesso e etc) e as dimensões empregadas.

Pretende-se, sobretudo que o conhecimento da acústica contribua para a preservação das condições de sossego necessárias a usufruir do espaço habitado,

com um nível de conforto compatível com o tipo de atividade desenvolvida (Manuela, 2006). Escolas, teatros e auditórios são locais onde o conforto acústico é imprescindível, Losso (2003) afirma que as edificações que abrigam escolas, devem propiciar condições adequadas ao desenvolvimento das atividades de seus usuários, garantindo a qualidade acústica e a proteção de ruídos intrusivos. Em unidades habitacionais de múltiplos pavimentos a preocupação é o incômodo provocado por ruídos de impacto em pisos devido à queda de objetos e pessoas caminhando (Rafaela, 2008).

1.4. Materiais e Métodos

Os ensaios na avaliação acústica estão voltados à análise da vedação externa (fachada), vedação entre cômodos, vedação de ruídos aéreos e ruídos de impacto em laje. Para realização de tais ensaios é utilizado medidor de nível sonoro (sonômetro) para medição da intensidade sonora, fonte emissora de ruído no caso da realização de simulações do ruído e para ensaio de impacto em laje é utilizado o martelo de impacto.

Os métodos de ensaio e os níveis de conforto são estabelecidos pelas normas brasileiras. Os procedimentos de ensaio para avaliação acústica do ruído em áreas habitadas são regidos pela NBR 10151 e os níveis aceitáveis de ruído são determinados pelas NBRs 10151, 10152 e o projeto de norma 15575.

2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA ACÚSTICA

2.1. Som e ruído

Pode-se definir em termos de conforto acústico o som como sendo toda e qualquer vibração ou onda mecânica que se propaga em um meio elástico por uma onda longitudinal dentro da faixa de audio-frequência (carvalho, 2010). Definido som, é possível a definição de ruído como sendo qualquer som indesejável ou desagradável (Gabas, 2004), isto posto, ruído e som são diferenciados pela situação, ou seja, uma mesma situação pode ser considerada som por um ouvinte e ruído por outro, o que torna a definição de ruído algo bastante subjetivo, como pode ser observado na Figura 1.

Figura 1 – Som X Ruído



A onda sonora transporta uma perturbação vibratória ao longo do espaço que pode ser caracterizada como uma variação de pressão, de acordo com a Equação 1.

$$P(t) = p(t) + p_0$$

Equação 1 – Variação de pressão

Onde:

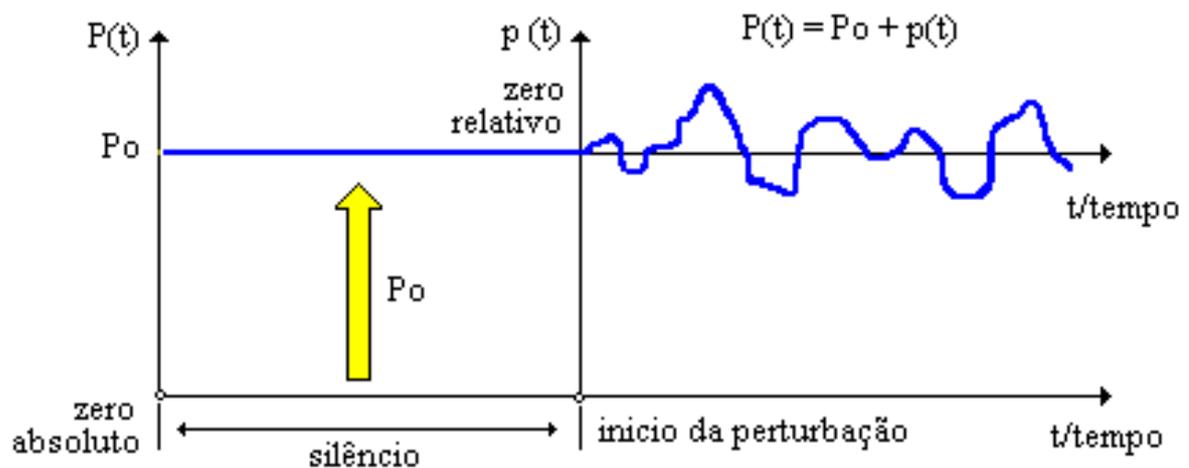
$P(t)$ – Pressão total

$p(t)$ – pressão sonora

p_0 – pressão atmosférica

Com a equação podemos elaborar um gráfico de variação de pressão ao longo do tempo (Figura 2) onde a pressão inicial (p_0) é a pressão atmosférica, neste momento estamos no silêncio, quando este silêncio é quebrado, ou seja, quando há uma variação de pressão, é iniciado então o que chamamos de perturbação.

Figura 2 – Pressão X Tempo



Em condições normais o ouvido humano percebe variações a partir de $20\mu\text{pa}$ e o limiar da dor está em torno de 200pa . Podemos transformar estes valores de pascal (pa) para decibel (dB) utilizando a Equação 2:

$$NPS (dB) = 20 \log\left(\frac{P}{P_0}\right)$$

Equação 2 – Nível de pressão sonora

Onde:

NPS – Nível de pressão sonora

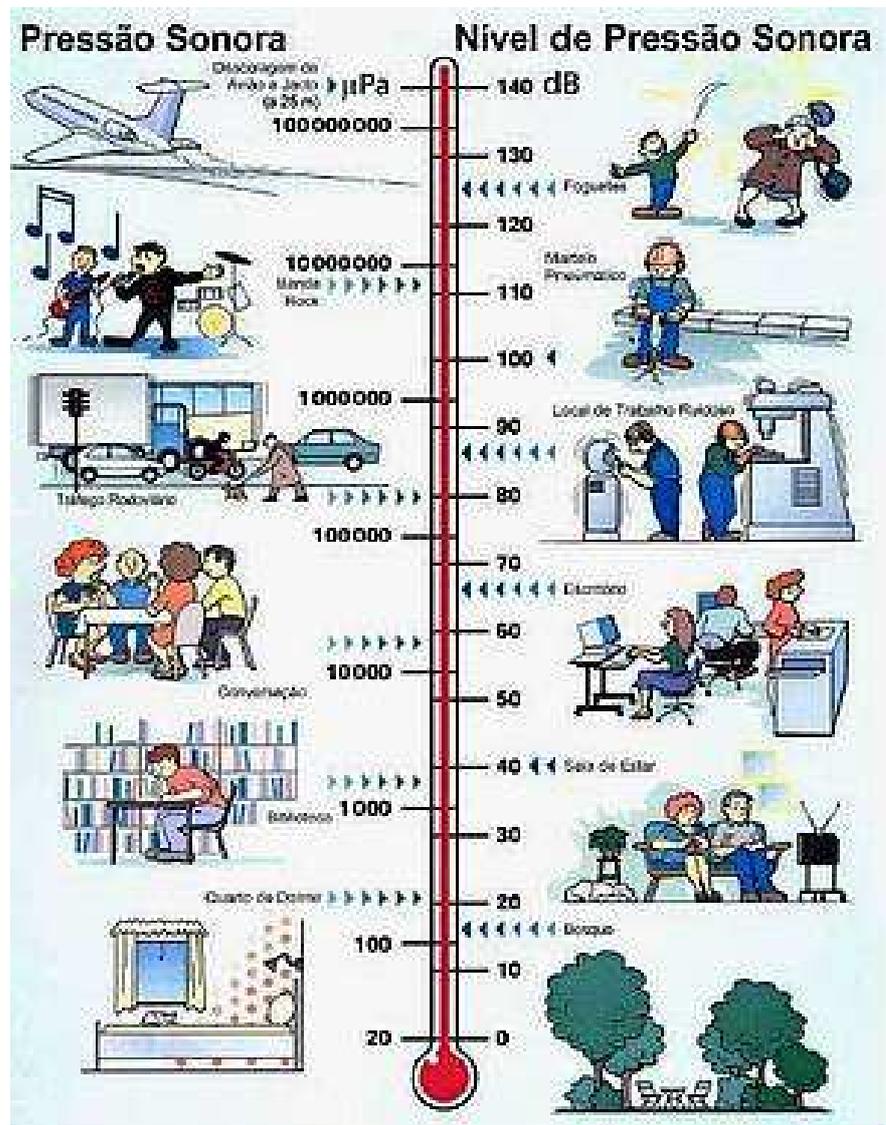
P – pressão sonora a ser medida

P_0 – pressão de referência = 2×10^{-5} pa

Podemos notar que o limiar da audição (correspondente a $20 \mu\text{pa}$) é igual a 0dB (por definição) e o limiar da dor (200pa) calculado é de 140dB.

É possível construir uma escala de intensidades sonoras provocadas por diferentes ambientes a partir do limiar da audição até o limiar da dor, conforme Figura 3.

Figura 3 – Escala de intensidade sonora

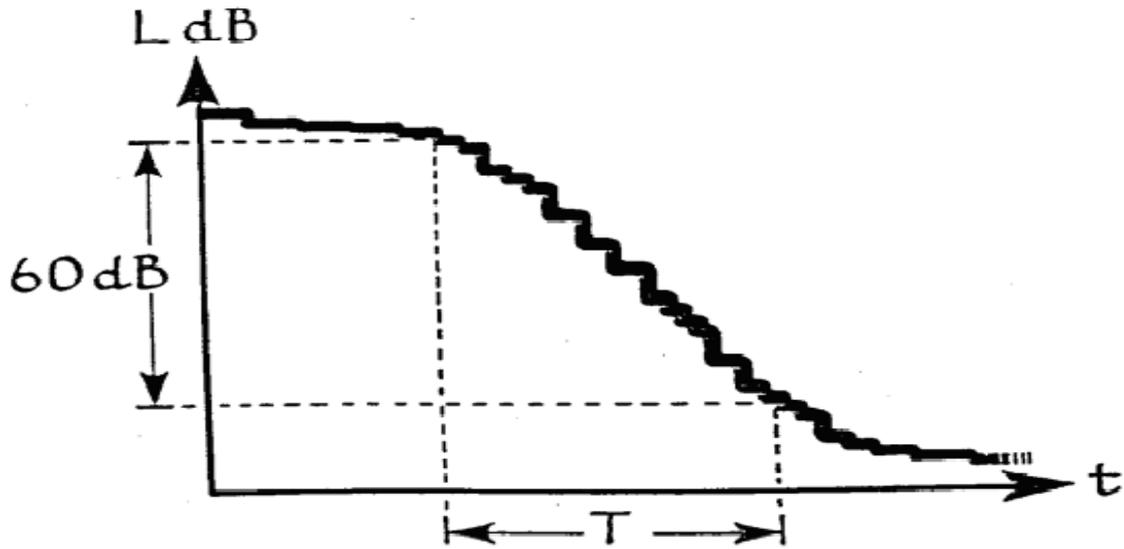


Fonte: Almeida, 2006

2.2. Tempo de reverberação

Um conceito de grande importância no estudo da acústica é o tempo de reverberação, definido como o intervalo de tempo (em segundos) necessário a um decaimento do nível de pressão sonora (L) de 60dB a partir do momento em que a fonte sonora interrompe a sua emissão, como pode ser observado na Figura 4. O tempo de reverberação é denominado normalmente por T_{60} .

Figura 4 – tempo de reverberação



Fonte: Almeida, 2006

O tempo de reverberação pode ser calculado através da fórmula de Sabine, considerado o pai da acústica moderna. O tempo de reverberação é função do volume do ambiente, da área das superfícies e o do coeficiente de absorção do material empregado em cada superfície, conforme Equação 3.

$$TR = \frac{(0,16 \times V)}{\sum S\alpha}$$

Equação 3 – Tempo de reverberação

Onde:

TR – Tempo de reverberação

V – volume do local

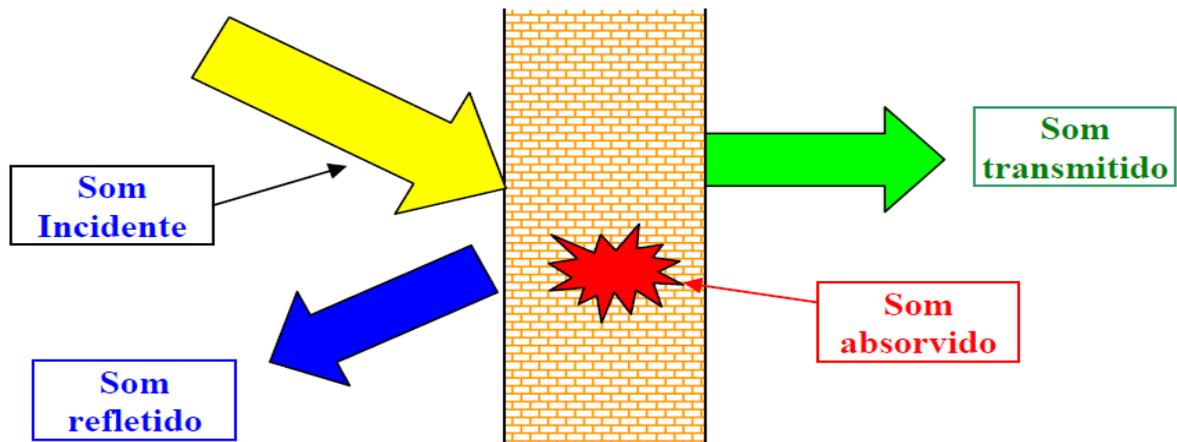
S – Área das superfícies

α – coeficiente de absorção dos materiais

2.3. Propagação de ondas sonoras com obstáculos

No estudo da acústica em edificações um conceito de grande relevância a ser analisado é o comportamento das ondas sonoras ao atingirem obstáculos, a onda sonora ao atingir uma superfície (som incidente) pode se comportar de 3 formas: o som pode ser refletido de volta para o ambiente de onde partiu a incidência, pode ser absorvido pelo material onde foi incidido o som e pode ser transmitido ao ambiente imediatamente posterior ao ambiente onde o som foi incidido, como pode ser observado na Figura 5.

Figura 5 – Comportamento das ondas sonoras em obstáculos



Fonte: Manual de acústica - Palazzo

2.3.1. Som incidente

Quando uma onda sonora atinge um obstáculo temos um som incidente, este som pode se dividir em três partes: som refletido, som absorvido e som transmitido.

2.3.2. Som refletido

O som é tido como refletido quando ao atingir uma superfície sólida é refletida segundo as leis da reflexão ótica.

2.3.3. Som absorvido

O som é considerado absorvido quando as ondas sonoras ao atingirem uma superfície são transformadas em energia térmica, dissipando assim parte da intensidade sonora incidente.

2.3.4. Som transmitido

Som transmitido é a característica sonora de permite que o som passe de um lado para outro de uma determinada superfície, continuando sua propagação. Este fenômeno possui a característica de ao atingir uma superfície fazer com que ela vibre, transformando-a em uma fonte sonora, portanto, quanto mais rígida e densa (pesada) à superfície, menor será a energia transmitida.

3. ACÚSTICA DE EDIFÍCIOS

3.1. Características acústicas das edificações

No interior de uma edificação o som pode ser refletido, absorvido ou transmitido. Neste trabalho será abordada a característica de transmissão, ou seja, analisaremos a quantidade de som que é transmitida de um ambiente para outro.

O conforto acústico da edificação depende de sua utilização. Um auditório, por exemplo, é construído de forma diferente de um estúdio, suas características devem maximizar a reflexão do som, enquanto que num estúdio a absorção é a característica mais importante.

O estudo do conforto acústico das edificações não pode ser caracterizado apenas pelo método construtivo, ou seja, não podemos afirmar que duas residências construídas com o mesmo método construtivo apresentarão o mesmo conforto acústico, visto que, cada residência apresenta uma característica de ocupação diferente e cada elemento interno da residência influencia no desempenho global da construção, ou seja, os sistemas apresentam comportamentos distintos.

3.2. Características acústicas de materiais empregados nas paredes

Podemos analisar cada material construtivo individualmente e estimar o conforto global da edificação, em tal análise deve-se considerar todos os componentes da edificação, desde os materiais de construção, até os objetos internos como móveis, pessoas e etc. Os diversos materiais e sistemas utilizados na construção civil apresentam diferentes características acústicas, a forma mais indicada de determinar se um material ou sistema é bom ou mau isolante acústico, ou seja, tem capacidade de absorver o som é através da aferição do nível de isolamento acústico (IA) obtido em laboratório. O índice de isolamento acústico IA (dB) para a frequência de 500Hz (o índice de isolamento acústico varia de acordo com a frequência) de alguns materiais são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Índice de isolamento acústico (adaptado de Carvalho 2010)

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

Como pode ser observada, a isolação sonora é maior quanto maior for à densidade do material, no entanto dobrar a densidade de um material não significa que o índice de isolamento acústico também será dobrado, pois o índice de isolamento acústico é determinado por uma função logarítmica, conforme Equação 4.

$$IA = 20 \log(\delta S)$$

Equação 4 – Índice de isolamento acústico

Onde:

IA – Índice de atenuação

δS – Densidade superficial

Podemos concluir desta equação que dobrando a densidade do material aumentamos o IA em apenas 6dB.

4. REFERÊNCIAS NORMATIVAS

As normas brasileiras que regem a avaliação de intensidade acústica são as NBRs 10151, 10152 e 15575 da ABNT.

4.1. Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto acústico da comunidade (NBR 10151)

A NBR 10151 (Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – procedimento) descreve os métodos de medição, ou seja, especifica o método de ensaio e as condições exigíveis nas diferentes áreas e horários e fixa o nível de critério de avaliação para ambientes externos e internos.

4.1.1. Nível de critério de avaliação (NCA)

O nível de critério de avaliação é o nível de pressão sonora diurno e noturno máximo admitido e varia de acordo com a área e período de incidência do ruído, ou seja, cada área de estudo apresenta um NCA diferente.

4.1.2. Ruídos com características especiais

Alguns ruídos possuem características especiais, tais como: ruídos de caráter impulsivo o de impacto estes ruídos devem ser corrigidos antes de uma análise final.

O nível de pressão sonora para ruídos de caráter impulsivo e sem componentes tonais é o próprio L_{Aeq} , caso o equipamento não apresente o nível de pressão sonora na ponderação A pode-se obtê-lo através da Equação 5.

$$L_{Aeq} = 10 \log \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}}$$

Equação 5 – Nível de pressão sonora equivalente

Onde:

L_i – Nível de pressão sonora, em dB(A), lido em resposta rápida (*fast*) a cada 5 segundos, durante o tempo de medição do ruído

n – número total de leituras

Caso o ruído apresente componentes tonais, o nível de pressão sonora (L_{Aeq}) deve ser acrescido de 5dB.

Os ruídos de caráter impulsivo ou de impacto são analisados através da medição do máximo valor do nível de pressão sonora no modo de resposta rápida (fast) e acrescido o valor de 5dB.

Ocorrendo simultaneamente as duas características acima descritas, devem-se realizar os dois procedimentos, tomando como resultado o maior destes.

4.1.3. Nível de critério de avaliação para ambientes externos

O nível de critério de avaliação (NCA) para ambientes externos é determinado de acordo com a Tabela 2, definido pelo tipo de área e período (diurno ou noturno) da medição.

Tabela 2 – Nível de critério de avaliação NCA para ambientes externos, em dB(A) (NBR 10151:2000)

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

O NCA de ambientes internos provocado por ruídos externos é determinado em duas condições de uso, com janela aberta e janela fechada. O NCA para ambientes internos será o NCA para ambientes externos decrescido de 10dB no caso de janela aberta e 15dB no caso de janela fechada. Sendo o nível de ruído ambiente superior ao NCA para ambientes externos (para área e período em questão) o NCA externo assume o valor do ruído ambiente.

4.2. Níveis de ruído para conforto acústico (NBR 10152)

A NBR 10152 (Níveis de ruído para conforto acústico) tem como objetivo fixar os níveis de ruído compatíveis com o conforto acústico nos diferentes ambientes de algumas construções.

Os níveis de conforto acústico são determinados pela Tabela 3 conforme NBR 10152. Especificando os locais da edificação e algumas de suas dependências. Os valores obtidos através de ensaio devem estar no intervalo para cada local indicado, de forma que o valor inferior representa o nível sonoro para conforto e o valor superior o nível máximo aceitável, não indicando necessariamente que valores acima do nível máximo proporcionem riscos à saúde. A avaliação das frequências de um ruído tem como principal objetivo a determinação das frequências mais críticas e assim a adoção de medidas corretivas.

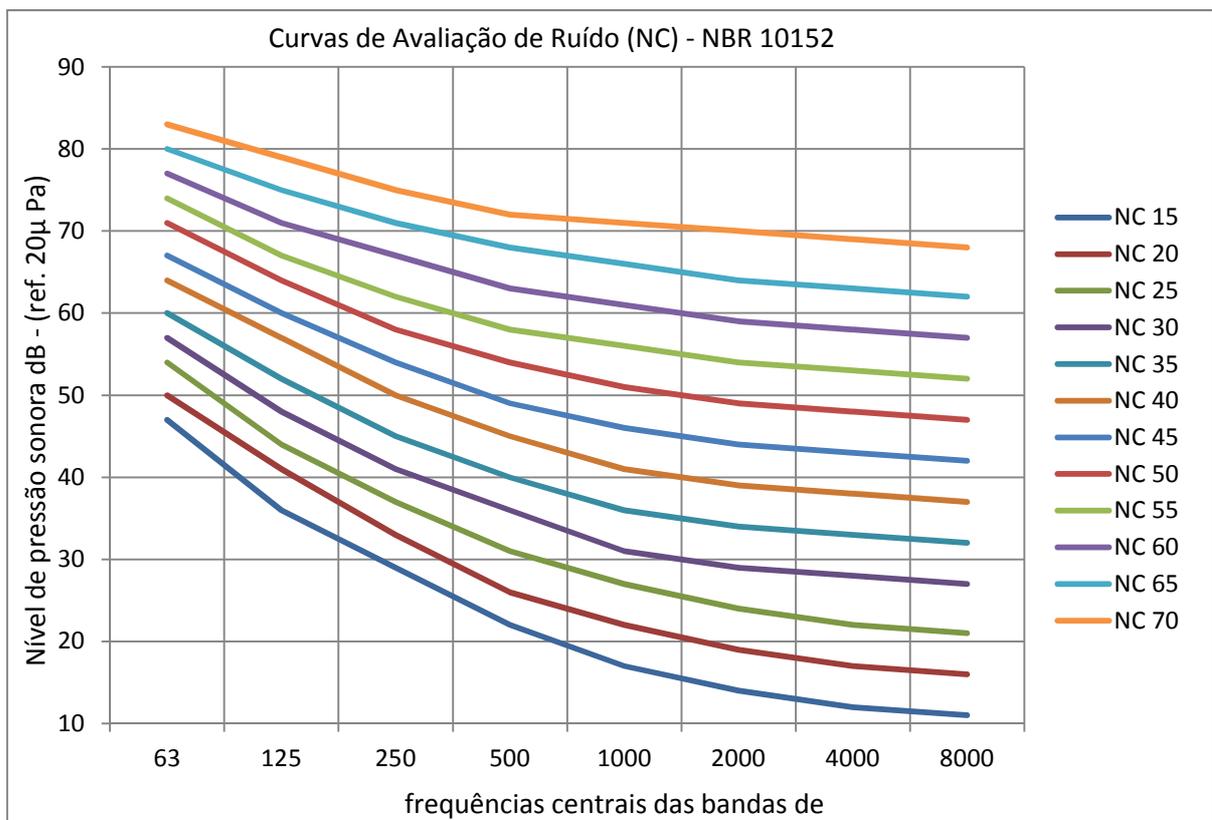
Tabela 3 – Valores de dB(A) e NC (NBR 10152:1987)

Locais	dB (A)	NC
Hospitais		
Apartamentos, Enfermarias, Berçários, Centros cirúrgicos	35 – 45	30 – 40
Laboratórios, Áreas para uso do público	40 – 50	35 – 45
Serviços	45 – 55	40 – 50
Escolas		
Bibliotecas, Salas de música, Salas de desenho	35 – 45	30 – 40
Salas de aula, Laboratórios	40 – 50	35 – 45
Circulação	45 – 55	40 – 50
Hotéis		

Apartamentos	35 – 45	30 – 40
Restaurantes, Salas de estar	40 – 50	35 – 45
Portaria, Recepção, Circulação	45 – 55	40 – 50
Residências		
Dormitórios	35 – 45	30 – 40
Salas de estar	40 – 50	35 – 45
Auditórios		
Salas de concertos, Teatros	30 – 40	25 – 30
Salas de conferências, Cinemas, Salas de uso múltiplo	35 – 45	30 – 35
Restaurantes	40 – 50	35 – 45
Escritórios		
Salas de reunião	30 – 40	25 – 35
Salas de gestão, Projetos e de administração	35 – 45	30 – 40
Salas de computadores	45 – 65	40 – 60
Salas de mecanografia	50 – 60	45 – 55
Igrejas e Templos (cultos meditativos)	40 – 50	35 – 45
Locais para esporte		
Pavilhões fechados para espetáculos e atividades esportivas	45 – 60	40 – 55

O Nível de Conforto (NC) é determinado graficamente. A Figura 6 apresenta as curvas de avaliação de ruído obtidas pela relação entre o nível de pressão sonora e as frequências centrais das bandas de oitava, isto posto a curva obtida no ensaio deve estar entre as duas curvas delimitadas pelo NC da Figura 6 para o local em análise.

Figura 6 – Curvas de avaliação de ruído - NC (NBR 10152:1987)



4.3. Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho (15575)

A NBR 15575 (Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - Desempenho) em suas subdivisões tem como objetivo estabelecer as condições de isolamento acústica necessárias ao conforto acústico. A NBR 15575-3 fixa o nível de pressão sonora de impacto em laje para ensaio de campo ($L'_{nT,w}$) e os níveis de ruído aéreo dos pisos entre unidades habitacionais em ensaio de campo ($D_{nT,w}$) e laboratório (R_w). A NBR 15575-4 fixa a diferença padronizada de nível promovida pela vedação externa (fachada) e o nível de pressão sonora entre ambientes internos da construção em ensaio de campo ($D_{2m,nT,w}$) e laboratório (R_w). A NBR 15575-5 fixa o nível de isolamento

acústica da cobertura devida sons aéreos para fontes de emissão externa em ensaio de campo ($D_{2m,nT,w}$) e laboratório (R_w) e isolamento de ruído devido impacto em coberturas acessíveis de uso coletivo ($L'_{nT,w}$). Os valores tabelados apresentados neste trabalho são referentes aos valores mínimos de conforto, a NBR 15575 apresenta ainda tabelas em seu anexo F.8 de níveis de conforto intermediários e superiores.

4.3.1. Níveis de pressão sonora de impacto em laje para ensaio de campo (NBR 15575-3)

A edificação ensaiada deve apresentar o nível de pressão sonora de impacto em laje proporcionado pelo entrepiso em ensaio de campo conforme Tabela 4.

Tabela 4 – Critério e nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado, $L'_{nT,w}$, para ensaios de campo (NBR 15575-3:2008)

Elemento	$L'_{nT,w}$ (dB)
Laje, ou outro elemento portante, com ou sem contrapiso, sem tratamento acústico	< 80

4.3.2. Níveis de ruído aéreo de pisos entre unidades habitacionais (NBR 15575-3)

A edificação ensaiada deve atenuar a passagem de som aéreo resultante de ruídos de uso normal (televisão, conversas, etc), obedecendo aos níveis mínimos de aceitação em ensaio de campo ou laboratório conforme a Tabela 5.

Tabela 5 – Critérios de diferença padronizada de nível ponderada, $D_{nT,w}$ para ensaios de campo e R_w para ensaios de laboratório (NBR 15575-3:2008)

Elemento	Campo $D_{nT,w}$ (dB)	Laboratório R_w (dB)
Piso de unidade habitacional, posicionado sobre áreas comuns, como corredores	35	40
Piso separando unidades habitacionais autônomas (piso separando unidades habitacionais posicionadas em pavimentos distintos)	40	45

4.3.3. Diferença padronizada de nível promovida pela vedação externa (NBR 15575-4)

A edificação em análise deve proporcionar isolamento acústico entre os meios externo e interno, bem como entre unidades condominiais distintas, de forma a garantir o conforto acústico no interior da edificação.

Os níveis mínimos recomendados de diferença padronizada para vedação externa (fachada) para ensaio de campo e laboratório estão indicados na Tabela 6. Considera-se um acréscimo de 5dB para habitações próximas a vias de tráfego intenso (rodoviário, ferroviário ou aéreo).

Tabela 6 – Diferença padronizada de nível promovido pela vedação externa em ensaio de campo $D_{2m,nT,w}$ e ensaios de laboratório R_w (NBR 15575-4:2008)

Elemento	Campo $D_{2m,nT,w}$ (dB)	Campo $D_{2m,nT,w}+5$ (dB)	Laboratório R_w (dB)	Laboratório R_w+5 (dB)
Vedação externa de dormitórios	25 a 29	30 a 34	30 a 34	35 a 39

4.3.4. Diferença padronizada de nível promovida pela vedação interna (NBR 15575-4)

A edificação deve ainda proporcionar isolamento acústico entre dependências de uma mesma unidade, quando destinadas ao repouso noturno, ao lazer doméstico e ao trabalho intelectual.

Os níveis mínimos recomendados de diferença padronizada entre ambientes internos para ensaio de campo e laboratório estão indicados na Tabela 7.

Tabela 7 – Diferença padronizada de nível promovido pela vedação interna em ensaio de campo $D_{nT,w}$ e ensaios de laboratório R_w (NBR 15575-4:2008)

Elemento	Campo	Laboratório
	$D_{nT,w}$ dB	R_w dB
Parede de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores, <i>halls</i> e escadaria nos pavimentos-tipo	30 a 34	35 a 39
Parede de dormitórios entre uma unidade habitacional e corredores, <i>halls</i> e escadaria nos pavimentos-tipo	40 a 44	45 a 49
Parede entre uma unidade habitacional e áreas comuns de permanência de pessoas, atividades de lazer e atividades esportivas, como <i>home theater</i> , sala de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas.	45 a 49	50 a 54
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação)	40 a 44	45 a 49

4.3.5. Isolação acústica da cobertura devida sons aéreos (NBR 15575-5)

A edificação deve promover o isolamento acústico necessário ao repouso noturno nos dormitórios, atividades intelectuais nas salas de estar e descanso e lazer doméstico nas salas de estar. Para garantir tais condições a edificação deve apresentar diferença padronizada de nível ponderado em ensaio de campo ($D_{2m,nT,w}$) conforme Tabela 8 ou índice de redução sonora ponderado em ensaio de laboratório (R_w) conforme Tabela 9. Considera-se um acréscimo de 5dB para habitações próximas a vias de tráfego intenso (rodoviário, ferroviário ou aéreo).

Tabela 8 – Diferença padronizada de nível da vedação externa de cobertura em ensaio de campo

$D_{2m,nT,w}$ (NBR 15575-5:2008)

Sistema	$D_{2m,nT,w}$ (dB)	$D_{2m,nT,w}+5$ (dB)
Vedação externa (fachada + cobertura)	30 a 34	35 a 39

Tabela 9 – Diferença padronizada de nível da vedação externa de cobertura em ensaio de laboratório

$D_{2m,nT,w}$ (NBR 15575-5:2008)

Sistema	R_w (dB)	R_w+5 (dB)
Cobertura	35 a 39	40 a 44

4.3.6. Isolação de ruído de impactos em coberturas acessíveis de uso coletivo (NBR 15575-5)

A edificação deve promover o isolamento acústico frente aos ruídos transmitidos por impactos promovidos pelo acesso coletivo à cobertura obedecendo aos níveis estabelecidos na Tabela 10.

Tabela 10 – nível de pressão sonora de impacto em ensaio de campo $L_{nT,w}$ (NBR 15575-5:2008)

Sistema	$L'_{nT,w}$ (dB)
Cobertura acessível de uso coletivo	56 a 65

4.3.7. Determinação do nível de ruído em áreas habitadas: método de ensaio (L11.032)

Em complemento às NBRs é utilizada a norma técnica do CETESB L11.032 (Determinação do nível de ruído em ambientes internos e externos de áreas habitadas: método de ensaio) na elaboração do método de ensaio de campo descrito neste trabalho. A norma apresenta cuidados e especificações necessárias nos ensaios de desempenho acústico.

5. PROCEDIMENTOS DE ENSAIO

Tomando como base as informações contidas na NBR 10151 e na L11.032 este trabalho descreve o procedimento de ensaio de campo de forma simples, clara e objetiva apresentando as definições iniciais, instrumentação utilizada e sua calibração, condições de ensaio e o procedimento propriamente dito.

5.1. Definições

L_{Aeq} - Nível de pressão sonora equivalente (em decibel) ponderados em "A", obtidos a partir do valor médio quadrático da pressão sonora referente a todo intervalo de medição.

Ponderação "A" – Curva de ponderação que melhor correlaciona os valores medidos com a incomodidade ou risco de trauma auditivo do sinal sonoro.

Ruído com caráter impulsivo – São picos de energia acústica, cuja duração é menor que 1 segundo e se repetem com intervalos maiores que 1 segundo, ou seja, são ruídos de impulso (exemplos: bate estaca, martetele, etc.).

5.2. Instrumentação

Medidor de nível de pressão sonora (Figura 7), conhecido também como sonômetro ou decibelímetro, como o próprio nome diz é o instrumento utilizado para medir os níveis de pressão sonora, ele deve atender as especificações da IEC 60651 para os tipos 0,1 ou 2. A IEC 60942 recomenda que o instrumento possibilite a obtenção dos resultados na ponderação "A". O instrumento deve apresentar mecanismo que impeça ação do vento sobre o microfone, provocando interferências nos resultados.

Figura 7 – Medido de nível de pressão sonora



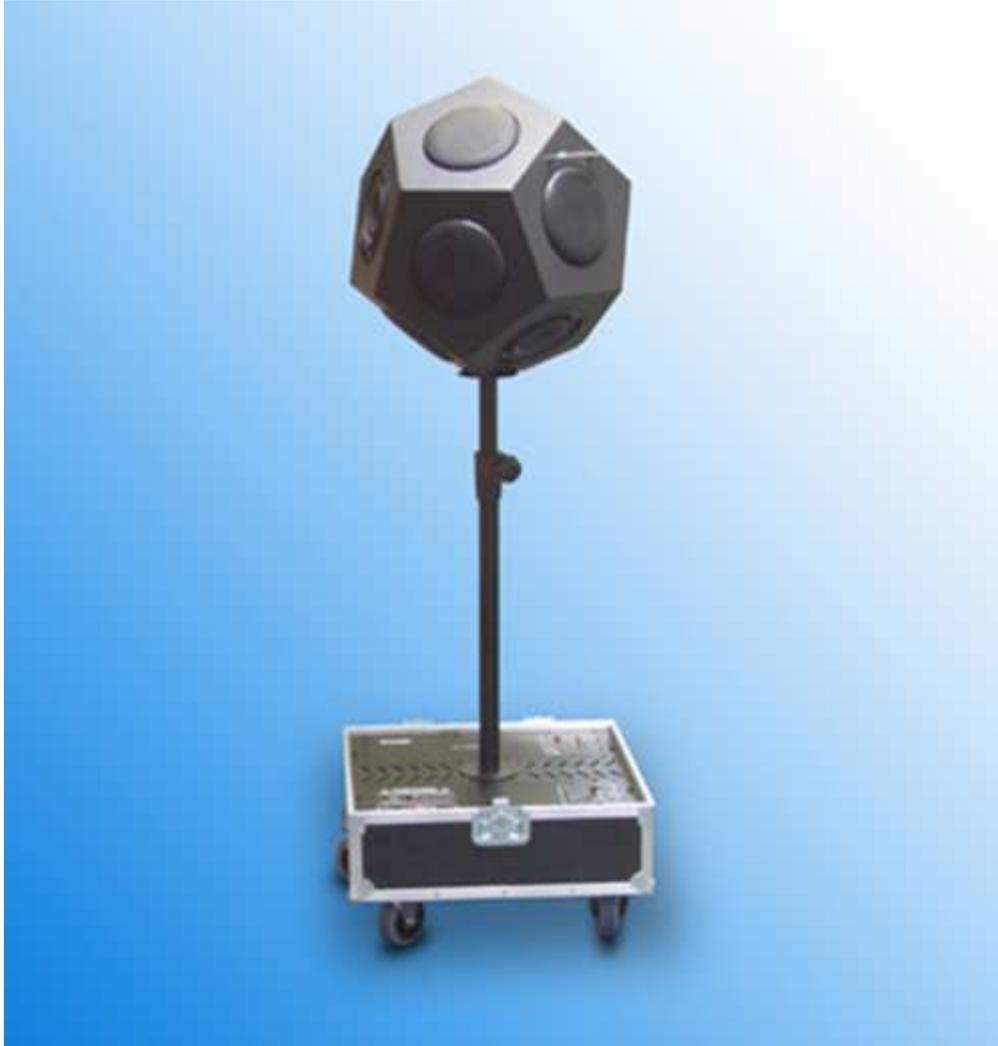
Calibrador acústico (Figura 8) é o instrumento utilizado para verificar a calibração do medidor de nível de pressão sonora, deve atender as especificações de calibração da IEC 60942, sendo classe 2, ou melhor.

Figura 8 – Calibrador do nível de pressão acústica



Fonte emissora de ruído (Figura 9) é um instrumento utilizado para reproduzir o ruído, ou seja, provocar um ruído com intensidade próximo do ruído a ser analisado, este instrumento apresenta um formato dodecaedro o que proporciona a emissão do ruído de forma esférica e por consequência a mesma intensidade em qualquer ponto com mesma distancia da fonte.

Figura 9 – Fonte emissora de ruído



5.3. Calibração dos instrumentos

O medidor de nível de pressão e o calibrador acústico devem ser certificados pela Rede Brasileira de Calibração (RBC) ou pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO), tendo sua renovação no mínimo a cada dois anos.

A verificação da calibração deve ser realizada antes e após cada medição, ou conjunto de medições do mesmo evento. O fabricante indicará um nível de precisão para a calibração, estando o medidor de nível de pressão sonora fora desta variação o instrumento deverá ser enviado para calibração em órgão competente.

A fonte emissora de ruído não possui calibração normatizada, nem há menção de sua calibração nas normas referentes a acústica, no entanto, sua calibração não é de grande relevância visto que tem funcionalidade apenas de reprodução do ruído.

5.4. Condições gerais de ensaio

Os valores do nível de pressão sonora medidos devem ser aproximados para o valor inteiro mais próximo.

As medições não devem ser realizadas havendo interferências de fenômenos da natureza tais como trovões, chuvas, etc. A duração dos períodos diurno e noturno podem ser definidos pelas autoridades de acordo com os hábitos e costumes da população local, no entanto as medições noturnas não devem ser iniciadas após as 22h e devem terminar antes das 7h em dias normais e 9h em dias de domingo ou feriado.

Para medições internas o equipamento de medição (sonômetro) deve estar a uma distância de pelo menos 1,0m de qualquer superfície refletora (paredes, teto, piso e moveis). Para medições externas temos duas situações, externa à edificação e externa à habitação em ambos os casos o sonômetro deve ficar afastado 1,2m do piso e no mínimo 2,0m de qualquer superfície refletora.

5.5. Medições

5.5.1. Medição do nível de ruído ambiente

A medição do ruído ambiente deve ser realizada na própria comunidade do empreendimento em análise, caso a localidade de implantação do empreendimento ainda não esteja habitada, como por exemplo, um conjunto residencial ainda em construção, deve-se medir o ruído ambiente da comunidade mais próxima, admitindo este ruído como o do empreendimento quando habitado.

5.5.2. Medições externas à edificação

A medição de ruídos externos é utilizada quando se deseja medir o ruído provocado por uma fonte no interior de uma determinada edificação, neste caso a intensidade

sonora a ser medida é o próprio ruído causado pela fonte emissora, não sendo necessária a medição do ruído de ambiente. Na realização deste ensaio a medição deve ser realizada em dois pontos, no exterior da edificação que contém a fonte e no exterior da edificação do reclamante, em ambos locais a medição deve ser realizada com o instrumento (sonômetro) a 1,2m de altura e no mínimo 2,0m do limite da edificação ou qualquer superfície refletora.

5.5.3. Medições internas à edificação

A medição no interior da habitação deve ser realizada a uma distancia mínima de 1,0m de qualquer superfície refletora (teto, parede, piso e moveis) e no mínimo em três pontos distintos, paralelos à superfície onde incidirá o ruído e afastados entre si por uma distância de 0,5m ou superior, não sendo possível a medição com este espaçamento (devido às dimensões da habitação) deve-se reduzir a distância entre os pontos de medição. Recomenda-se a realização de duas medições com duração mínima de 5 minutos em cada um dos três pontos em estudo, a média aritmética das duas medições será o nível de pressão sonora do ponto e o nível de pressão sonora do ambiente será a média aritmética dos 3 pontos. A medição deve ser realizada nas condições normais de uso, ou seja, com janelas abertas e fechadas.

Podem ocorrer duas situações de realização deste ensaio, no primeiro caso existe a reclamação pelo ruído causado externamente à residência do reclamante e no segundo caso a edificação ainda está sendo implantada.

No primeiro caso devem-se realizar as medições como indicado e em locais solicitados pelo reclamante, mesmo que divergindo das condições acima citadas, devendo constar no relatório todas as medições descrevendo o local de cada medição.

No segundo caso, como ainda não há habitabilidade no local, ou seja, o empreendimento ainda não esta habitado, deve-se utilizar o ruído de ambiente (ver item 5.5.1) emitido com o auxilio da fonte emissora de ruído, reproduzindo o provável ruído ambiente do empreendimento quando habitado, é recomendado à utilização da fonte emissora de ruído a 1,2m de altura (mesma altura do medidor de nível de pressão sonora) e 3,0m da parede a ser analisada. Antes do inicio do

ensaio deve-se calibrar a intensidade de emissão da fonte com o decibelímetro a 1,0m de distância. Em seguida realizar as medições como descrito.

5.6. Relatório

No relatório de ensaio acústico deve ser apresentada a marca, tipo ou classe, número de série, data e número do certificado de calibração de cada equipamento.

O desenho esquemático do local destacando cada ponto de medição também e/ou descrição detalhada também deve ser apresentadas no relatório, assim como data, hora de duração do ensaio.

Devem ser apresentados os resultados do nível de ruído ambiente. Havendo a necessidade de correção dos ruídos, estes devem constar no relatório assim como o tipo de correção utilizada.

O nível de critério de avaliação deve ser apresentado indicando o ambiente, a área e o período em cada situação analisada.

O relatório deve fazer referencia as normas utilizadas, dentre as quais a NBR 10151, norma que fixa as condições exigíveis e o método para ensaio de acústica.

6. ESTUDOS DE CASO

Abordaremos neste trabalho três estudos de caso. As edificações em análise são residências térreas unifamiliares e o sistema construtivo utiliza paredes de concreto armado leve (concreto com ar incorporado) moldado no local com função estrutural como vedação vertical, as paredes possuem espessura de 10cm e são armadas com telas metálicas.

Nestes estudos de caso não foram verificadas todas as especificações normativas, mas apenas o nível de critério de avaliação para ambientes externos (NBR 10151), os níveis de ruído para conforto acústico (NBR 10152) e a diferença padronizada de nível promovida pela vedação externa (NBR 15575-4).

Os equipamentos utilizados nestes estudos de caso com a descrição de seus respectivos fabricantes, N° de série e N° da calibração estão descritos na Tabela 11.

Tabela 11 – Descrição dos equipamentos utilizados nos ensaios de desempenho acústico

Equipamento	Fabricante	N° de série / versão	Certificado de Calibração
Medidor Integrador de Nível Sonoro – Classe 1	01dB	65024	RBC3-7700-645
Dodecaedro Omni-12	01dB	03/09-12/B206-012	-
Amplificador	01dB	03/09-12/B207-A12	-
Software dBBat e dBTrait para compilação e análise dos resultados obtidos	01dB	-	-

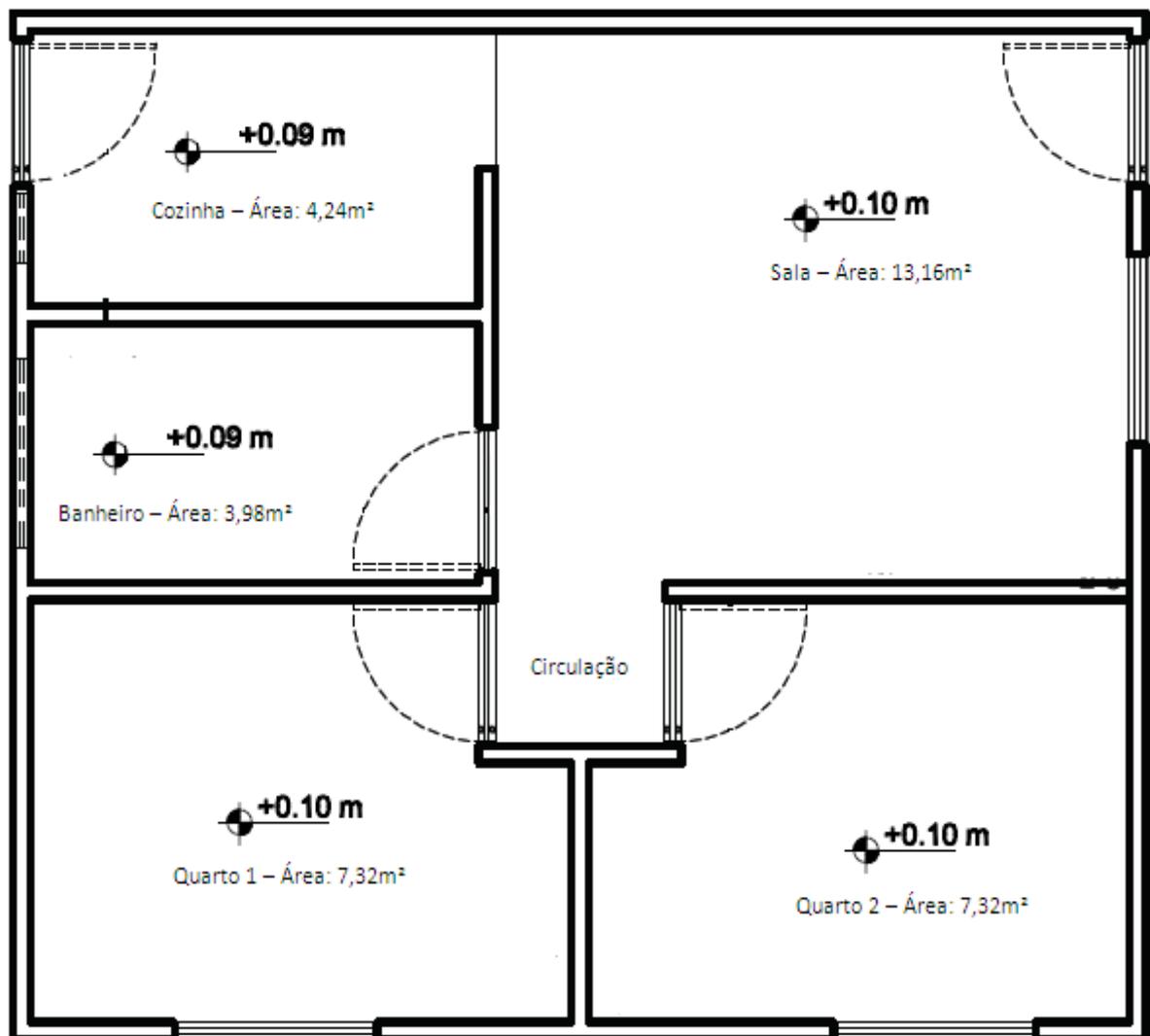
6.1. Estudo de caso 1

6.1.1. Descrição do empreendimento

O primeiro estudo de caso a ser analisado trata-se de uma residência unifamiliar. O sistema construtivo emprega concreto armado com ar incorporado com espessura de 10cm como vedação vertical com função estrutural, a fundação é do tipo radier e

na cobertura é utilizado um sistema auto portante composto por um núcleo de poliuretano revestido com aço galvanizado na sua parte superior e filme de alumínio na parte inferior. A unidade habitacional possui sala, cozinha, 2 Quartos, banheiro e uma área de circulação, como pode ser observado na Figura 10.

Figura 10 – Planta baixa da unidade habitacional ensaiada (caso 1)



6.1.2. Ensaio e avaliação dos resultados

A primeira avaliação é a determinação do nível de critério de avaliação para ambientes externos conforme NBR 10151.

Inicialmente foi realizada medição do ruído ambiente em comunidade próxima ao local de construção do empreendimento, visto que o conjunto residencial ainda não havia sido entregue não possuindo assim ruído ambiente real, ou seja, ruído ambiente quando o empreendimento for entregue. Os resultados obtidos em medições diurnas e noturnas foram comparados com os níveis de critério de avaliação para ambientes externos determinados na NBR 10151, conforme Tabela 12.

Tabela 12 – Caracterização do ruído ambiente (caso 1)

Classificação da Área pelos Tipos	Diurno (dB(A))			Noturno (dB(A))		
	Valor Referência NBR 10151	Valor Medido	Valor Adotado	Valor Referência NBR 10151	Valor Medido	Valor Adotado
Área estritamente residencial ou de hospitais ou de escolas	50	65	65	45	57	57

Obtidos os níveis de critério de avaliação para ambientes externos, foram realizados ensaios na fachada frontal (fachada da sala de estar) com janela e aberta e fachada, visto que está possui uma janela com boa localização (aproximadamente no centro da parede ensaiada), como pode ser observada na Figura 11.

Figura 11 – Fachada frontal da unidade habitacional ensaiada (caso 1)



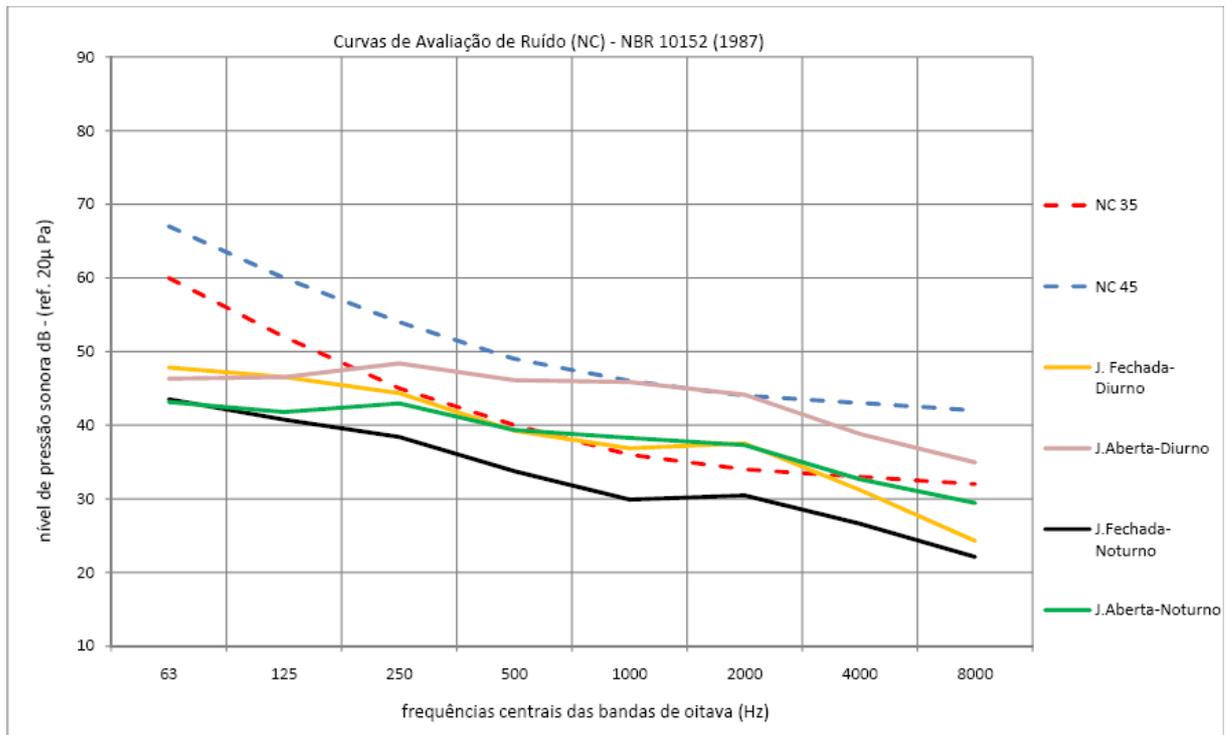
Os resultados obtidos foram analisados conforme NBR 10151 e apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 – Nível de critério de avaliação (caso 1)

Classificação	Diurno dB (A)				Noturno dB (A)			
	Janela Aberta		Janela Fechada		Janela Aberta		Janela Fechada	
Valores Ensaio P1	50,9	49,9	43,0	41,6	43,6	42,9	36,9	36,3
Valores Ensaio P2	50,1	50,0	45,5	44,5	45	43,2	41,1	38,4
Valores Ensaio P3	50,5	50,6	44,0	43,2	44,3		36,0	35,5
Média Global Ensaio	50		44		44		37	
Valores Limites	55		50		47		42	

A segunda avaliação determinou os níveis de ruído para conforto acústico conforme NBR 10152. O local de avaliação foi a sala de estar da residência, nas mesmas condições empregadas na determinação do nível de critério de avaliação, ou seja, com janela aberta e fechada nos períodos diurno e noturno. Os resultados são apresentados graficamente conforme Figura 12.

Figura 12– Nível de critério de avaliação (caso 1)



Foi realizado ainda ensaio para determinação da diferença padronizada de nível promovida pela vedação externa conforme NBR 15575-4, esta avaliação considerou o acréscimo de 5dB, pois a edificação está localizada as margens de rodovia, os resultados deste ensaio estão apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 – Diferença padronizada de nível promovida pela vedação externa (caso 1)

Vedação externa de dormitórios	$D_{2m,n,T,w} + 5dB(A)$
Valores normativos (mínimo: M)	30 a 34
Valor obtido	35

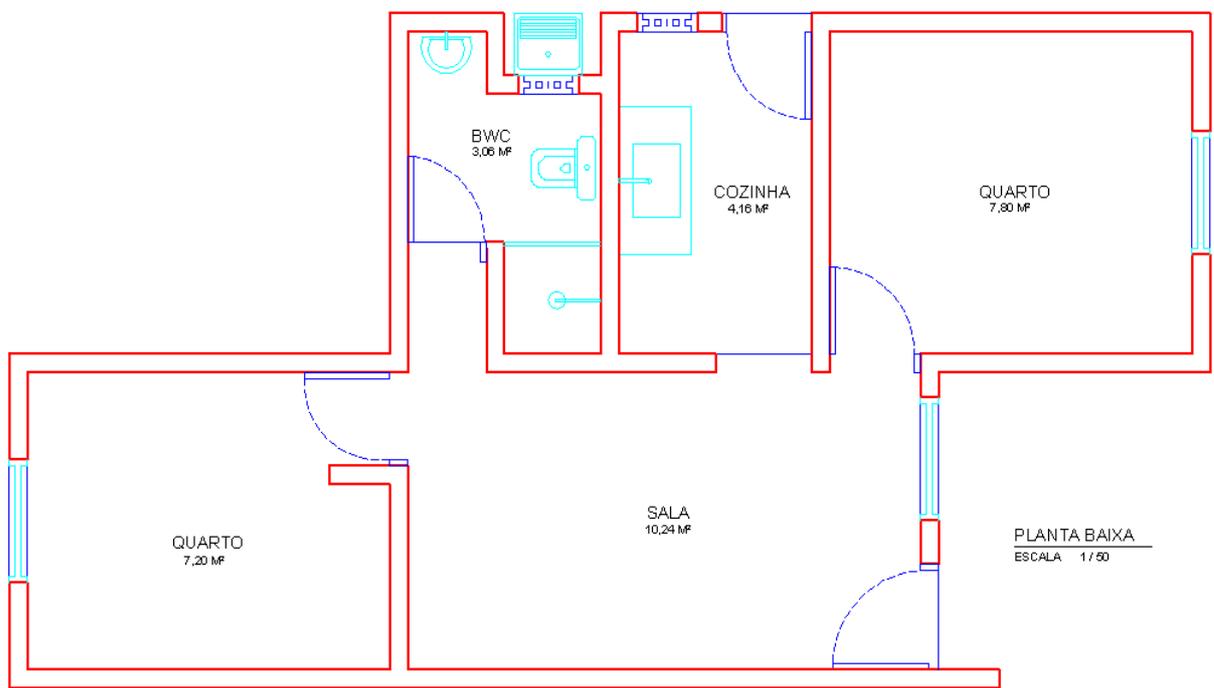
A avaliação global do empreendimento foi considerada satisfatória, visto que atendeu aos níveis estabelecidos em norma para todos os critérios.

6.2. Estudo de caso 2

6.2.1. Descrição do empreendimento

O segundo estudo de caso trata-se de uma residência unifamiliar. O sistema construtivo emprega concreto armado com ar incorporado com espessura de 10cm como vedação vertical com função estrutural, a fundação é do tipo radier e na cobertura é utilizada telha cerâmica sobre estrutura em madeira. A unidade habitacional possui sala, cozinha, 2 Quartos e banheiro, conforme Figura 13.

Figura 13 – Planta baixa da unidade habitacional ensaiada (caso 2)



6.2.2. Ensaios e avaliação dos resultados

A determinação do nível de critério de avaliação para ambientes externos conforme NBR 10151 é iniciada com a realização da medição do ruído ambiente em comunidade próxima ao local de construção do empreendimento, visto que o conjunto residencial ainda não havia sido entregue não possuindo assim ruído ambiente real, ou seja, ruído ambiente quando o empreendimento for entregue. Os resultados obtidos em medições diurnas e noturnas foram comparados com os níveis de critério de avaliação para ambientes externos determinados na NBR 10151, conforme Tabela 15.

Tabela 15 – Caracterização do ruído ambiente (caso 2)

Classificação da Área pelos Tipos	Diurno (dB(A))			Noturno (dB(A))		
	Valor Referência NBR 10151	Valor Medido	Valor Adotado	Valor Referência NBR 10151	Valor Medido	Valor Adotado
Área estritamente residencial ou de hospitais ou de escolas	50	59	59	45	48	48

Obtidos os níveis de critério de avaliação foram realizados ensaios da fachada do quarto com janela e aberta e fachada, visto que está possui uma janela com boa localização (aproximadamente no centro da parede ensaiada), como pode ser observada na Figura 14.

Figura 14 – Fachada da unidade habitacional ensaiada (caso 2)



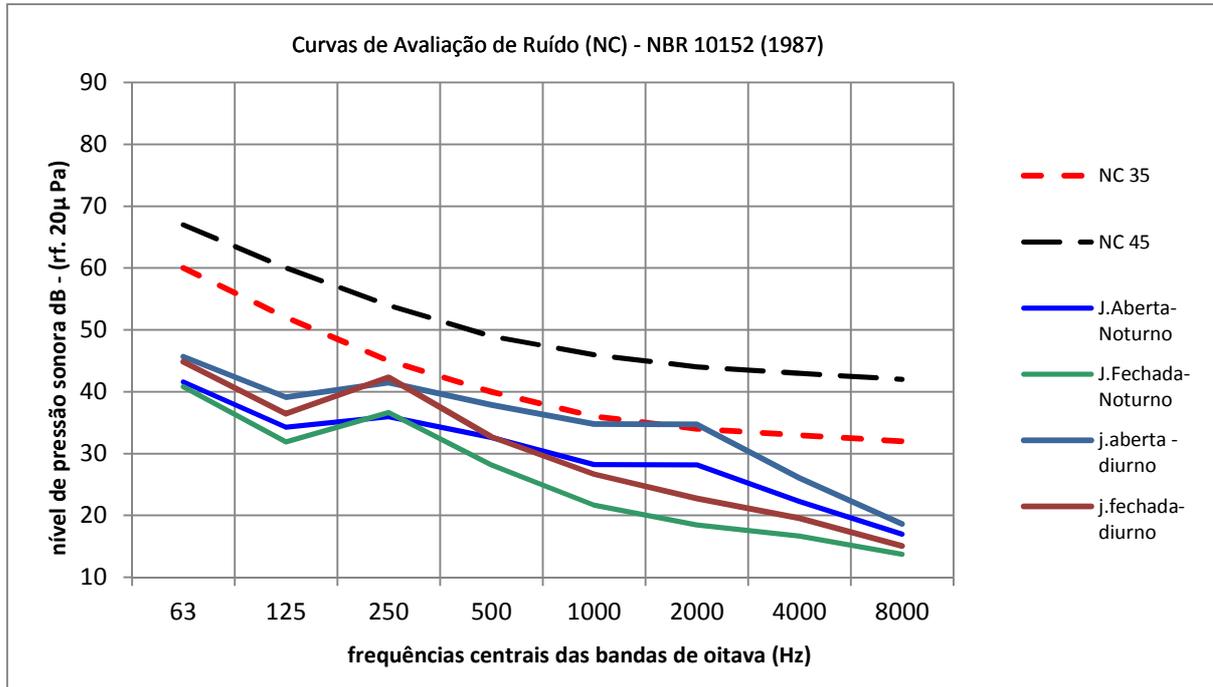
Os resultados obtidos foram analisados conforme NBR 10151 e apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 – Nível de critério de avaliação (caso 2)

Classificação	Diurno dB (A)				Noturno dB (A)			
	Janela Aberta		Janela Fechada		Janela Aberta		Janela Fechada	
Valores Ensaio P1	46,6	46,9	43,8	43,9	40,6	40,3	36,2	35,3
Valores Ensaio P2	45,7	46,3	43,2	43,4	38,5	38,7	35,9	35,6
Valores Ensaio P3	53,0	53,2	45,6	46,1	38,3	42,5	38,9	38,0
Média Global Ensaio	49		44		40		37	
Valores Limites	49		44		38		33	

A segunda avaliação determinou os níveis de ruído para conforto acústico conforme NBR 10152. O local de avaliação foi a sala de estar da residência, nas mesmas condições empregadas na determinação do nível de critério de avaliação, ou seja, com janela aberta e fechada nos períodos diurno e noturno. Os resultados são apresentados graficamente conforme Figura 15.

Figura 15 – Nível de critério de avaliação (caso 2)



Foi realizado ainda ensaio para determinação da diferença padronizada de nível promovida pela vedação externa conforme NBR 15575-4, esta avaliação não considerou o acréscimo de 5dB, pois a edificação não está localizada as margens de rodovia, os resultados deste ensaio estão apresentados na Tabela 17.

Tabela 17 – Diferença padronizada de nível promovida pela vedação externa (caso 2)

Vedação externa de dormitórios	$D_{2m,n,T,w}$ dB(A)
Valores normativos (mínimo: M)	25 a 29
Valor obtido	28

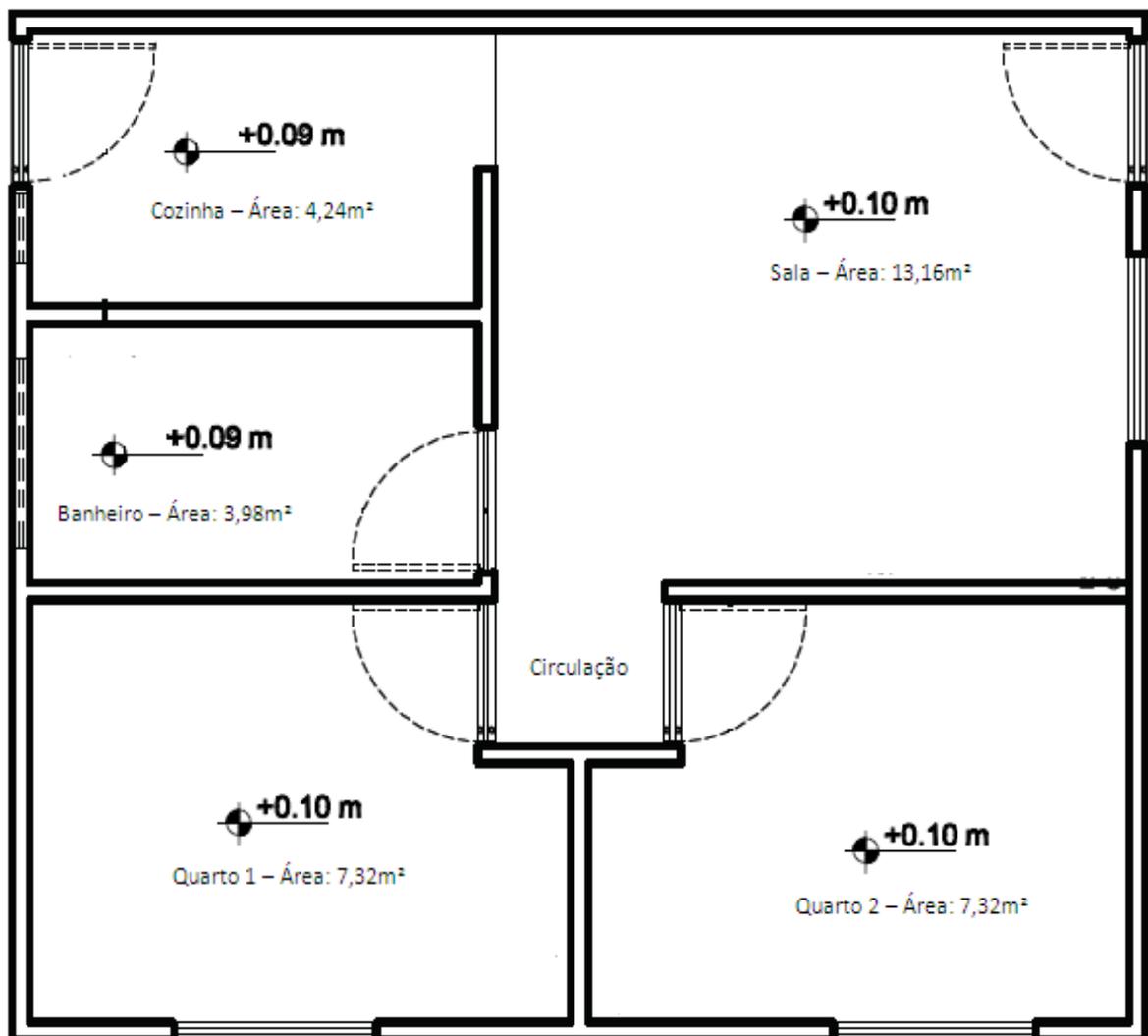
A avaliação global do empreendimento foi considerada satisfatória, mesmo tendo o nível de critério de avaliação noturna, apresentado valores superior aos recomendados pela NBR 10151, visto que o nível de conforto acústico (NBR 10152) e a diferença padronizada de nível promovida pela vedação externas apresentaram resultados satisfatórios.

6.3. Estudo de caso 3

6.3.1. Descrição do empreendimento

O terceiro estudo de caso trata-se de uma residência unifamiliar. O sistema construtivo emprega concreto armado com ar incorporado com espessura de 10cm como vedação vertical com função estrutural, a fundação é do tipo radier e na cobertura é utilizada telha cerâmica sobre estrutura em madeira. A unidade habitacional possui sala, cozinha, 2 Quartos, banheiro e uma área de circulação, como pode ser observado na Figura 16.

Figura 16 – Planta baixa da unidade habitacional ensaiada (caso 3)



6.3.2. Ensaio e avaliação dos resultados

A determinação do nível de critério de avaliação para ambientes externos conforme NBR 10151 é iniciada com a realização da medição do ruído ambiente em comunidade próxima ao local de construção do empreendimento, visto que o conjunto residencial ainda não havia sido entregue não possuindo assim ruído ambiente real, ou seja, ruído ambiente quando o empreendimento for entregue. Os resultados obtidos em medições diurnas e noturnas foram comparados com os níveis de critério de avaliação para ambientes externos determinados na NBR 10151, conforme Tabela 18.

Tabela 18 – Caracterização do ruído ambiente (caso 3)

Classificação da Área pelos Tipos	Diurno (dB(A))			Noturno (dB(A))		
	Valor Referência NBR 10151	Valor Medido	Valor Adotado	Valor Referência NBR 10151	Valor Medido	Valor Adotado
Área estritamente residencial ou de hospitais ou de escolas	50	61	61	45	57	57

Obtidos os níveis de critério de avaliação foram realizados ensaios da fachada da sala de estar com janela e aberta e fachada, visto que está possui uma janela com boa localização (aproximadamente no centro da parede ensaiada), como pode ser observada na Figura 17.

Figura 17 – Fachada da unidade habitacional ensaiada (caso 3)



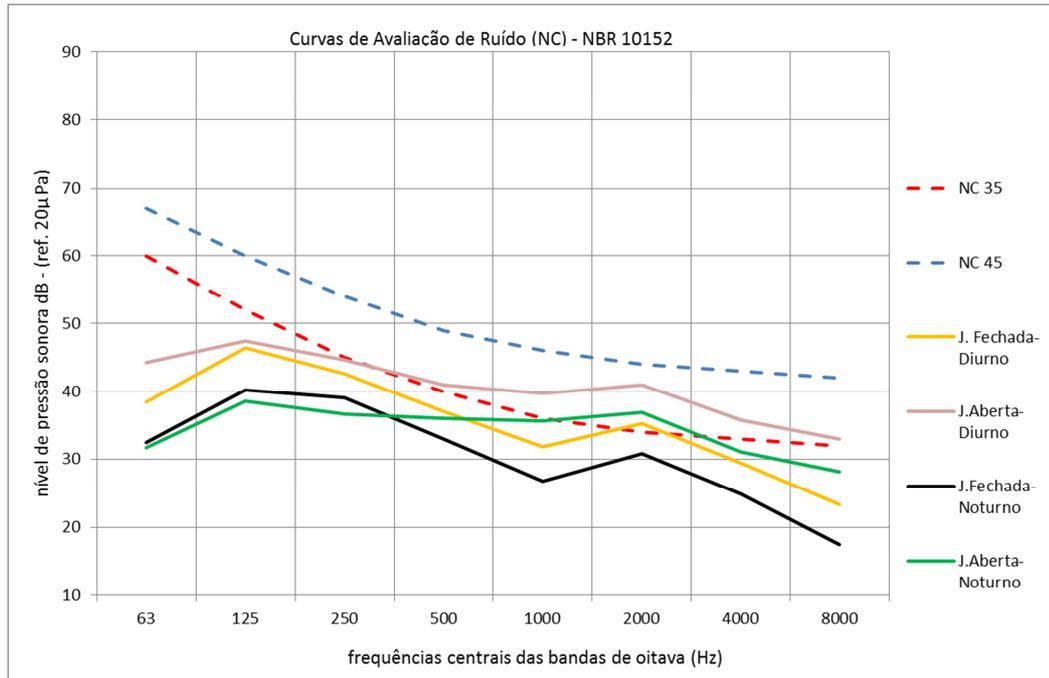
Os resultados obtidos foram analisados conforme NBR 10151 e apresentados na Tabela 19.

Tabela 19 – Nível de critério de avaliação (caso 3)

Classificação	Diurno dB (A)				Noturno dB (A)			
	Janela Aberta		Janela Fechada		Janela Aberta		Janela Fechada	
Valores Ensaio P1	47,1	47,1	43,2	44,9	45,3	45	41,2	40,9
Valores Ensaio P2	47	47,6	43,6	43,6	46,4	45,9	41,5	41,5
Valores Ensaio P3	46,2	46,5	42,4	42,8	45,3	46,5	41,5	40,6
Média Global Ensaio	47		43		46		41	
Valores Limites	51		46		47		42	

A segunda avaliação determinou os níveis de ruído para conforto acústico conforme NBR 10152. O local de avaliação foi a sala de estar da residência, nas mesmas condições empregadas na determinação do nível de critério de avaliação, ou seja, com janela aberta e fechada nos períodos diurno e noturno. Os resultados são apresentados graficamente conforme Figura 18.

Figura 18 – Nível de critério de avaliação (caso 3)



Foi realizado ainda ensaio para determinação da diferença padronizada de nível promovida pela vedação externa conforme NBR 15575-4, esta avaliação não considerou o acréscimo de 5dB, pois a edificação não está localizada as margens de rodovia, os resultados deste ensaio estão apresentados na Tabela 20.

Tabela 20 – Diferença padronizada de nível promovida pela vedação externa (caso 3)

Vedação externa de dormitórios	$D_{2m,n,T,w}$
Valores normativos (mínimo: M)	25 a 29
Valor obtido	25

A avaliação global do empreendimento foi considerada satisfatória, visto que atendeu aos níveis estabelecidos em norma para todos os critérios.

6.4. Análise dos estudos de caso

A análise deve considerar a edificação como um todo e não apenas as paredes de concreto leve armado empregadas nas edificações estudadas, por outro lado, o fato

dos estudos de caso empregar o mesmo tipo de paredes nos permite analisar as vedações empregadas em cada estudo de caso.

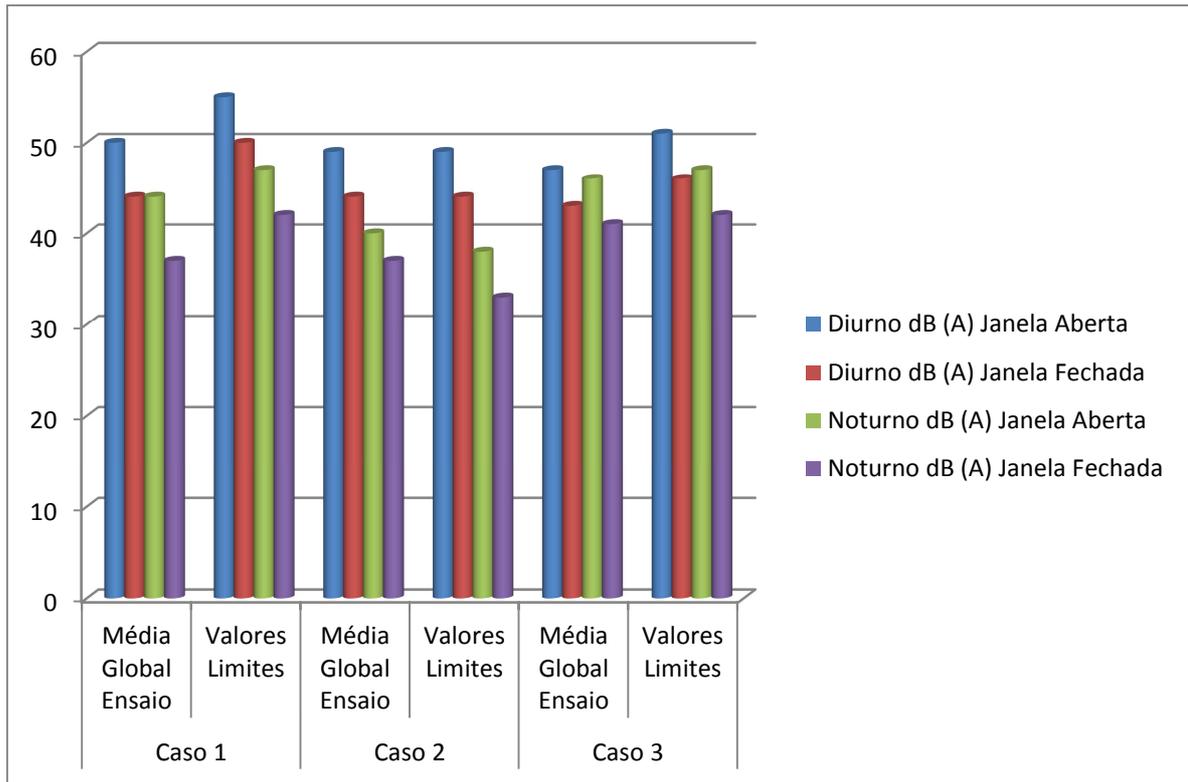
Os níveis de ruído ambiente em todos os casos apresentou-se superior ao mínimo estabelecido pela NBR 10151, como pode ser observado na Tabela 21

Tabela 21 – Níveis de ruído ambiente

Classificação da Área pelos Tipos	Diurno (dB(A))				Noturno (dB(A))			
	Valor Referência	Caso	Caso	Caso	Valor Referência	Caso	Caso	Caso
	NBR 10151	1	2	3	NBR 10151	1	2	3
Área estritamente residencial ou de hospitais ou de escolas	50	65	59	61	45	57	48	57

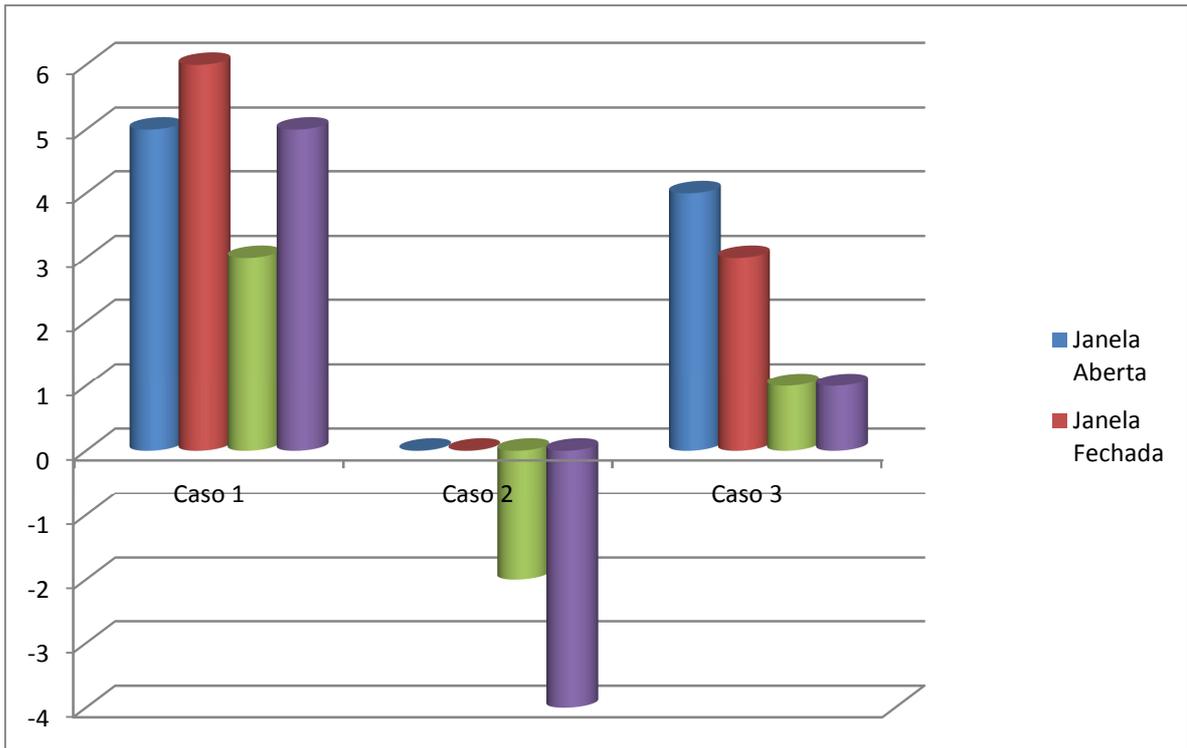
O tipo de cobertura do caso 1 permite uma maior vedação ao ruído externo, ou seja, um maior desempenho em relação ao nível de critério de avaliação NCA (NBR 10151) pelo fato de não haver espaços entre as paredes e a cobertura, diferente das cobertas dos casos 2 e 3 que permitem a passagem do som externo por entre a parede e a estrutura da cobertura. A Figura 19 apresenta graficamente os níveis de critério de avaliação obtidos em ensaio e de referência.

Figura 19 – Níveis de critério de avaliação em todos os estudos de caso



Os níveis de critério de avaliação não podem ser comparados entre os sistemas, no entanto, podemos analisar a diferença entre o NCA medido e de referência de cada sistema (caso). Como observado na Figura 20 o caso 1 apresentou uma maior diferença de NCA em relação aos demais casos, enquanto que o caso 2 apresentou o pior resultado, chegando a apresentar valores negativos, ou seja, os níveis de critério de avaliação estão abaixo dos valores de referência estabelecidos na NBR 10151.

Figura 20 – Diferença entre o NCA medido e de referência



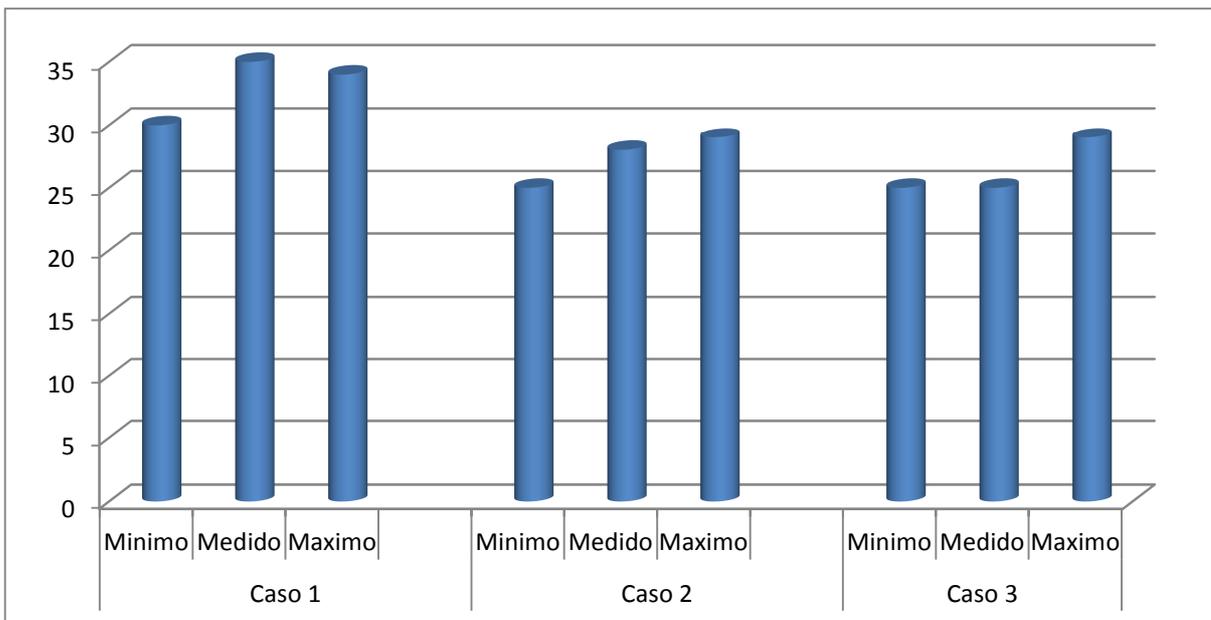
Os níveis de conforto (NC) foram analisados graficamente, apresentando em todos os casos e para todas as análises (janela aberta e fechada nos períodos diurno e noturno) NC satisfatório, pois não atingiram a curva que limita o nível máximo de conforto. É observado, no entanto, picos de intensidade nas frequências de 250 Hz e 2000 Hz nos três gráficos, sendo estas frequências as mais susceptíveis a extrapolar o limite máximo de NC estabelecido pela NBR 10152. Pode-se considerar como críticas as frequências no intervalo de 250 Hz e 4000 Hz sendo esse intervalo utilizado na adoção de medidas corretivas, caso os gráficos de NC ultrapassem o limite superior estabelecido em norma.

Tabela 22 – Resumo da diferença padronizada de nível da vedação externa nos estudos de caso

Vedação externa de dormitórios	$D_{2m,n,T,w} + 5dB(A)$	$D_{2m,n,T,w} dB(A)$	$D_{2m,n,T,w}dB(A)$
Valores normativos (mínimo: M)	30 a 34	25 a 29	25 a 29
Valor obtido	35	28	25

Como pode ser verificado na Tabela 22, em todos os casos avaliados a diferença padronizada de nível da vedação externa foi satisfatória, atingindo o nível mínimo recomendado nos casos 2 e 3, o caso 1 apresentou resultado acima do nível mínimo de conforto enquadrando-se no nível de desempenho intermediário conforme pode ser verificado na tabela F.8 anexa à NBR 15575-4. A análise da diferença padronizada de nível da vedação externa pode ser realizada graficamente, conforme Figura 21.

Figura 21 – Diferença padronizada de nível da vedação externa



7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo do comportamento acústico das edificações tem se apresentado cada dia mais necessário frente à busca do mercado imobiliária por imóveis que garantam o conforto de seus usuários.

A falta de bibliografia voltada especificamente para o conforto acústico das edificações, atrelado a complexidade teórica dos poucos trabalhos produzidos que tratam do assunto, tem dificultado uma avaliação acústica por profissionais da construção civil. A elaboração de trabalhos práticos e objetivos voltados diretamente para o conforto acústico das edificações é extremamente necessário, bibliografias que não apresentem grande complexidade teórica, mas sim, que caracterizem o comportamento acústico de diferentes sistemas.

A confiabilidade dos resultados é obtida com a uniformidade dos procedimentos de ensaio, ou seja, os procedimentos de ensaio devem garantir que os resultados de diversos ensaios em um mesmo sistema sejam iguais.

O presente trabalho buscou descrever de forma sucinta a teoria física da acústica, os conceitos básicos de desempenho acústico das edificações, a identificação e quantificação de variáveis importantes para o desempenho acústico da alvenaria, os requisitos normativos para desempenho acústico e estudou ainda o comportamento acústico de três habitações unifamiliares populares, de forma que os objetivos do trabalho foram alcançados.

Os conceitos de acústica voltados especificamente para as edificações necessitam de um maior amadurecimento, de forma que o comportamento acústico dos materiais e estudo de sistemas como um todo permita ao projetista uma análise acústica da edificação na fase de projeto, garantindo assim o bom desempenho acústico da edificação após executada, o que não tem sido observado na atual realidade da construção civil, onde a preocupação com o conforto acústico, ou melhor, desconforto acústico é observado apenas após a execução e entrega do empreendimento.

8. BIBLIOGRAFIA

- Almeida, M., Silva, S., & Ferreira, T. (2006/2007). FÍSICA DAS CONSTRUÇÕES: Acústica Ambiental e de Edifícios. Escola de engenharia , Departamento de engenharia civil. Universidade do Minho.
- Arantes, F. T. (Novembro de 2010). Modelo de diagnóstico da maturidade da construção enxuta e estudos de casos em empresas de construção civil. Trabalho de conclusão de curso para obtenção de título de engenheiro de produção mecânica. São Carlos, São Paulo.
- Carvalho, R.P.ACÚSTICA ARQUITETÔNICA. 2ª Ed.Brasília.2010.
- (s.d.). Conforto ambiental. In: Estudo Arquitetônico para Gestores Imobiliários (pp. 91-100).
- Ferraz, R. (29 de Agosto de 2008). ATENUAÇÃO DE RUÍDO DE IMPACTO EM PISOS DE EDIFICAÇÕES DE PAVIMENTOS MÚLTIPLOS. Dissertação para obtenção do título de mestre. Belo Horizonte, Minas Gerais.
- Freitas, A. P., & Freitas, S. M. (Novembro de 2006). ASPECTOS LEGAIS REFERENTES AO CONFORTO ACÚSTICO NAS EDIFICAÇÕES URBANAS. Revista Eletrônica do Curso de Direito Da UFSM, 1, pp. 3-16.
- Gabas, G. C. (2004). PROGRAMA DE CONSERVAÇÃO AUDITIVA: Guia Prático 3M. 3M SOLUÇÕES PARA SAÚDE OCUPACIONAL E SEGURANÇA AMBIENTAL.
- Leão, A. J. (Março de 1994). Acustica de edificios - recomendações técnicas-práticas para concepção de edificios escolares e de habitação. Dissertação para obtenção do grau de mestre em construção de edificios. Universidade do Porto.
- Losso, M. A. (Março de 2003). QUALIDADE ACÚSTICA DE EDIFICAÇÕES ESCOLARES EM SANTA CATARINA: AVALIAÇÃO E ELABORAÇÃO DE DIRETRIZES PARA PROJETO E IMPLANTAÇÃO. Dissertação submetida para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil. Florianópolis, Santa Catarina.

- Moraes, D. d. (Maio de 2007). Medição e previsão numérica do comportamento acústico de um teatro experimental para a UFPA. Dissertação para obtenção do grau de mestre. Belém, Pará.
- Moreira, A. (s.d.). Acústica nos edifícios. Instituto politécnico de Tomar: Escola superior de tecnologia de tomar.
- Neto, N. A. (2006). CARACTERIZAÇÃO DO ISOLAMENTO ACÚSTICO DE UMA PAREDE DE ALVENARIA ESTRUTURAL DE BLOCOS CERÂMICOS. Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil. Santa Maria, RS, Brasil.
- Vittorino, E. D., & Aquilino, F. M. (24 de Novembro de 2011). Isolamento Térmico e Acústico de edificações. Instituto de pesquisas tecnológicas.
- Wentz, M. (2006). AVALIAÇÃO DO CONFORTO ACÚSTICO EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS E NA VIA PÚBLICA DO MUNICÍPIO DE PANAMBI. Trabalho de conclusão de curso pra obtenção do grau de engenheiro civil. Ijuí, Rio Grande do Sul.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.151: Avaliação do nível do ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.152: Níveis de ruído para o conforto acústico. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15.575: Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho. Partes 1-5. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.
- NORMA TÉCNICA CETESB. L11.032: Determinação do nível de ruído em ambientes internos e externos de áreas habitadas: método de ensaio. São Paulo, 1992.