



RICARDO DA SILVA CORREIA JUNIOR

AVALIAÇÃO DE RUÍDO DE IMPACTO EM EDIFÍCIOS:
ESTUDO DE CASO EM LAJES DE CONCRETO MACIÇA E
NERVURADA

Recife
2013



RICARDO DA SILVA CORREIA JUNIOR

**AVALIAÇÃO DE RUÍDO DE IMPACTO EM EDIFICAÇÕES:
ESTUDO DE CASO EM LAJES DE CONCRETO MACIÇA E
NERVURADA**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Escola de Engenharia de
Pernambuco da Universidade Federal
de Pernambuco para obtenção do título
de Engenheiro Civil.

Recife
2013

Catálogo na fonte
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

C824a	Correia Junior, Ricardo da Silva. Avaliação de ruído de impacto em edificações: estudo de caso em lajes de concreto maciça e nervurada / Ricardo da Silva Correia Junior. – Recife: O Autor, 2013. xii, 31 folhas, il., gráfs., tabs. Orientadora: Prof. Dr. José Jeferson do Rego Silva. Coorientador: Otávio Joaquim da Silva Junior. TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Departamento de Engenharia Civil, 2013. Inclui Referências. 1. Engenharia Civil. 2. Acústica dos edifícios. 3. Ruídos de impacto em laje. 4. Desempenho acústico. I. Silva, José Jeferson do Rego (Orientador). II. Silva Junior, Otávio Joaquim da. (Coorientador). III. Título. UFPE 624 CDD (22. ed.) BCTG/2013-279
-------	---



RICARDO DA SILVA CORREIA JUNIOR

**AVALIAÇÃO DE RUÍDO DE IMPACTO EM EDIFICAÇÕES:
ESTUDO DE CASO EM LAJES DE CONCRETO MACIÇA E
NERVURADA**

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 Jefferson do
Rego Silva

Coorientador: Otávio Joaquim da Silva
Júnior

Comissão Examinadora:
Profº Dr. José Jefferson do Rego Silva
DECIVIL – UFPE- Orientador

Eng. Otávio Joaquim da Silva Júnior
Examinador externo / Coorientador

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

Recife
2013

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me acompanhar na alegria da vitória e ensinar grandes lições nos momentos difíceis, fundamentais para entender o que realmente importa nessa vida.

A minha família, Ricardo, Roseane, Raiane e Rebeca, por me dar todos os dias um motivo para ser feliz e buscar novas descobertas.

Aos meus avós, Zeca e Edite, pelo infinito amor e admiração que sempre tiveram por mim, me passando a autoconfiança necessária para esse desafio.

A minha namorada Érica, por alegrar meus dias desde que nos conhecemos e por ser minha companheira.

Ao Prof. Dr. José Jeferson do Rego Silva e ao Engenheiro Otavio Joaquim da Silva Junior, pelo apoio na orientação desse trabalho.

A Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, por provocar o desenvolvimento e capacitação de seus estudantes.

Dedico esse trabalho a vovô Zeca e vovó Edite.

RESUMO

O mercado imobiliário passa por um momento de adequação aos novos requisitos de desempenho exigidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), incluindo parâmetros de conforto acústico para ruídos de impacto, foco deste estudo. O consumidor possui, portanto, critérios de conforto acústico mensuráveis e não mais subjetivos, que devem ser cumpridos no produto final, com base na ABNT NBR 15575-3:2008 - Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho. Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos internos. Sabendo-se da importância de atingir tal desempenho, a informação acerca da contribuição de cada camada de revestimento constitui conhecimento valioso para definição de materiais e sistemas construtivos adotados. Objetiva-se expor critérios e requisitos normativos bem como apresentar estudos experimentais de ruído de impacto em lajes de edificações com múltiplos pavimentos, realizados em diferentes etapas de construção.

Palavras chave: Acústica dos edifícios. Ruídos de impacto em Laje. Desempenho Acústico.

Meu desejo é ressonar com todo mundo

Fazer a canção que vai nos tornar um só

Por um segundo cantando

ABSTRACT

The housing Market is going through a period of adaptation to the new requirements of performance demanded by the Brazilian Association of Technical Standards (ABNT), including parameters of acoustic comfort for impact noise, that is the focus of this research. The consumers have now measurable acoustic criteria which must be accepted in the terms of ABNT NBR 15575-3:2008 (residential buildings of up to five floors - Performance). Due to the importance of reaching that performance, the knowledge about the contribution of each revetment is a valuable knowledge for definitions of materials and constructive systems adopted. The objective of this project is to expose regulatory requirements as well as demonstrate experimental studies of impact noise on buildings with multiple floors, which were made in different building steps.

Keywords: Acoustic of buildings. Impact noise in floors. Acoustic Performance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tipos de Fonte de ruído de impacto (MEHTA, 1999).....	5
Figura 2 - Comportamento das ondas sonoras em obstáculos (Manual da Acústica-Palazzo).....	9
Figura 3 - Esquema de transmissão sonora direta e indireta (CORNACCHIA, 2009).....	10
Figura 4 - Exemplo genérico de um sistema de piso e seus elementos (NBR 15575, 2013).....	11
Figura 5 - Sistema de piso no CASO 1 (adaptado de NBR 15575).....	17
Figura 6 - Planta baixa do edifício ensaiado no caso 1 (Site da construtora).....	18
Figura 7 - Sistema de piso no CASO 2 (adaptado de NBR 15575).....	20
Figura 8 – Planta baixa do edifício ensaiado no caso 2 (Site da construtora).....	21
Figura 9 - Sistema de piso no caso 3.1 (adaptado de NBR 15575).....	23
Figura 10 - Sistema de piso no caso 3.2 (adaptado de NBR 15575).....	23
Figura 11 - Planta do edifício ensaiado no caso 3 (Site da construtora).....	23

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Velocidade do som em diferentes meios (adaptado de EVEREST, 2009).	4
Tabela 2 - Critério e nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado, $L'_{nT,w}$, para ensaios de campo (NBR 15575-3:2008).....	12
Tabela 3 - Nível de pressão sonora de impacto em ensaio de campo $L'_{nT,w}$ (NBR 15575-5:2008).....	12
Tabela 4 - Equipamentos utilizados em ensaios	15
Tabela 5 - Desempenho acústico do sistema de piso, quanto ao ruído de impacto, obtidos em ensaios de campo (CASO 1).....	18
Tabela 6 - Desempenho acústico do sistema de piso, quanto ao ruído de impacto, obtidos em ensaios de campo (Caso 2).	22
Tabela 7 - Desempenho acústico de sistema de paredes pré-moldadas de concreto (CASO 3.1).	24
Tabela 8 - Desempenho acústico de sistema de paredes pré-moldadas de concreto (Caso 3.2)	25

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Nível sonoro de impacto padronizado em faixa de frequência e a indicação do valor do nível ponderado, L'_{nTw} , de 86 dB, obtido de acordo com a ISO 717-2(1996). (CORNACCHIA, 2009)	7
Gráfico 2 - Tempo de reverberação (Almeida, 2006)	8
Gráfico 3- Força transmitida e o tempo de duração de uma batida em uma superfície rígida (concreto) e uma superfície com revestimento (adaptado de Patrício e Piedade, 2000)	11
Gráfico 4 -Curva Frequência x Ruído (Caso 1)	19
Gráfico 5 - Curva Frequência x Ruído (Caso 2)	22
Gráfico 6 - Curva Frequência x Ruído (Caso 3.1)	24
Gráfico 7 - Curva Frequência x Ruído (Caso 3.1)	26
Gráfico 8 - Gráfico da média de L'_{nTw} de acordo com estudo de caso	28

LISTA DE FOTOS

Foto 1 - Medidor de nível de pressão sonora	13
Foto 2 - Calibrador do nível de pressão acústica (Silva Júnior, 2012)	14
Foto 3 - Fonte emissora de ruído	14
Foto 4 - Tapping Machine.....	15
Foto 5 - Medição do tempo de reverberação em quarto	19
Foto 6 - Uso da Tapping Machine na Sala	20
Foto 7 - Tapping Machine posicionada em piso da sala	22
Foto 8 - Contrapiso com deformação por conta da Tapping Machine.....	25
Foto 9 - Verificação da espessura do contrapiso (aproximadamente 5 cm).....	26
Foto 10 - Tapping machine utilizada em unidade com revestimento cerâmico.	27

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Nível de Pressão Sonora	4
Equação 2 - Nível Sonoro de Impacto Normalizado em laboratório (L_n)	5
Equação 3 - Nível Sonoro de Impacto Normalizado in-situ (L'_n)	6
Equação 4 - Nível Sonoro de Impacto Padronizado in-situ (L'_nT)	6
Equação 5 - Tempo de reverberação	8

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. OBJETIVOS.....	2
1.1.1. Objetivo Geral	2
1.1.2. Objetivos Específicos	2
1.2. Justificativa	2
1.3. Contexto histórico	3
1.4 Metodologia.....	3
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	4
2.1. Som e ruído	4
2.2. Ruído de impacto.....	5
2.2.1. Nível Sonoro de Impacto Normalizado em laboratório (L_n).....	5
2.2.2. Nível Sonoro de Impacto Normalizado in-situ (L'_n).....	6
2.2.3. Nível Sonoro de Impacto Padronizado in-situ (L'_nT).....	6
2.2.4. Nível Sonoro de Impacto Padronizado Ponderado (L'_nTw).....	6
2.2.5. Nível Sonoro de Impacto Normalizado Ponderado (L'_{nw})	7
2.3. Tempo de Reverberação	7
2.4. Propagação de ondas sonoras com obstáculos.....	8
2.5. Som incidente.....	9
2.6. Som absorvido	9
2.7. Som refletido.....	9
2.8. Som transmitido	9
3. ACÚSTICA DOS EDIFÍCIOS.....	10
3.1. Características acústicas dos edifícios	10
3.2. Características dos materiais empregados nas lajes	10
4. REFERÊNCIAS NORMATIVAS.....	12
4.1. Edifícios Habitacionais até 5 pavimentos – Desempenho (NBR 15575).....	12
4.1.1. Níveis de Pressão Sonora de impacto em laje para ensaio	12
4.1.2. Isolação de ruído de impactos em coberturas acessíveis de uso coletivo (NBR 15575-5)	12
5. PROCEDIMENTOS DE ENSAIO.....	13
5.1. Definições	13
5.2. Instrumentação.....	13
5.3. Calibração dos instrumentos	15
5.4. Condições gerais de ensaio.....	15

5.4.1. Medição do nível de ruído ambiente.....	16
5.4.2. Medições de ruído de impacto e reverberação.....	16
5.5. Relatório	16
6. ESTUDO DE CASO	17
6.1. Estudo de caso 1	17
6.1.1. Descrição do Empreendimento.....	17
6.1.2. Ensaio e Resultados.....	18
6.2. Estudo de caso 2	20
6.2.1. Descrição do Empreendimento.....	20
6.2.2. Ensaio e Resultados.....	21
6.3. Estudo de caso 3	23
6.3.1. Descrição do empreendimento	23
6.3.2. Ensaio e resultados	24
6.4. Análise dos estudos de caso	27
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	29
BIBLIOGRAFIA	30

1. INTRODUÇÃO

O atual processo de urbanização vertical vem transformando os centros urbanos da Região Metropolitana do Recife em locais visivelmente mais povoados e com mais proximidades entre edificações e emissores de ruídos. O aumento de tecnologia tem aumentado também a viabilidade para a compra e uso de automóveis e máquinas, que são alguns dos emissores de ruídos que atingem os ocupantes.

A presença do código de defesa do consumidor reitera a responsabilização e garantias do construtor em fornecer produtos de acordo com as normas técnicas. Torna-se oneroso para o construtor e projetista fazer intervenções em um imóvel entregue e mobiliado pelo proprietário, por isso os cuidados devem ser tomados desde a concepção.

Para o ruído entre lajes no período anterior à norma ABNT NBR 15575, restava ao morador entrar em embates jurídicos contra vizinhos e construtora na busca de uma resolução nem sempre bem sucedida. Um exemplo trágico de desgaste por ruído de impacto ocorreu na Grande São Paulo, reportado pela *Folha de São Paulo em 25 de Maio de 2013*, onde um homem assassinou um casal de vizinhos e, em seguida, cometeu suicídio por conta do barulho constante de sapato emitido na laje pela vizinhança acima. É notória a insatisfação dos residentes com seus imóveis no Brasil. De acordo com o trabalho de Martins et al. (2004) realizado em 110 apartamentos na região de Goiânia, no tratante ao acústico das habitações, 73,40% enquadraram-se na classificação como péssimo, ruim ou regular, 26,60% foram considerados bons e nenhum foi considerado ótimo. Foi apresentado pelos autores que 47,68% dos incômodos estão relacionados aos ruídos do pavimento acima, 34,44% relacionam-se com barulhos externos e 12,58% são emitidos pelos vizinhos laterais. Segundo Almeida (2006) o ruído causa, por exemplo, estresse, diminuição da capacidade de concentração, alteração do ritmo cardíaco e respiratório.

Tais dados precisam ser estudados de acordo com o sistema adotado, para melhor visão do desempenho de cada sistema. O uso de paredes e lajes de concreto moldadas in loco, por exemplo, apresenta um comportamento distinto para o sistema em lajes nervuradas com paredes em alvenaria, pois na segunda a vibração também é dissipada pelos vazios nas juntas dos materiais.

Em termos de sistemas construtivos para lajes, algumas das variações são: nervuradas, maciças, treliçadas, painéis treliçados e lajes com vigotas. As lajes também recebem contribuições de isolamento acústico de esquadrias, portas e revestimentos. Vidro, madeira, argamassas, cerâmicas e gesso são amostras de materiais que comumente compõem o sistema construtivo e podem ser entregues ao ocupante.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

Estudar o desempenho acústico para ruído de impacto de três obras imobiliárias com sistemas construtivos geralmente utilizados na região, dois em fase de pronta-entrega e um em execução, comparando-os com os requisitos normativos.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Expor requisitos normativos atuais para o desempenho acústico;
- Avaliar o desempenho acústico de lajes em dois sistemas construtivos utilizados no Brasil.

1.2. Justificativa

A NBR 15575 entrou em vigor desde março de 2013 e é fator suficiente para que os projetistas e construtores façam análise dos sistemas adotados. Os onerosos custos e o prejuízo à imagem pode fazer com que as empresas fora do padrão percam competitividade.

Com a vigência da norma, não há como alegar desconhecimento dos requisitos a serem cumpridos. O construtor e o projetista dispõem de diferentes materiais, espessuras e métodos construtivos para utilização em sua obra.

O aumento de espessura e, em certos casos, a criação de novas camadas, são fatores que contribuem para melhoria do desempenho acústico, mas que vão à contramão do menor custo e produtividade.

O ruído de impacto, portanto, faz parte de um incômodo a ser evitado pelos construtores e projetistas, justificando o presente trabalho.

1.3. Contexto histórico

A acústica foi citada por Saveur em 1701, como a ciência do som, sendo o primeiro registro de tal citação. A história da acústica se mistura ao estudo da música e posteriormente ao estudo das ondas sonoras.

Desde a antiguidade existem relatos de trabalhos e até formulações na área da acústica. Na Grécia, por exemplo, a forma do teatro era aproveitada, sendo a plateia distribuída em semicírculos. Dessa forma a plateia fica próxima do palco e, com isso, proporciona maior captação sonora pelos ouvintes. As edificações eram situadas em locais inclinados, para o aproveitamento da topografia local (SOUZA, 2003). Outra ação de destaque dessa civilização era a colocação de vasos ressonantes embutidos nos degraus do auditório, situação verificada pelo romano Marcus Vitruvius Pollio. O aumento da tecnologia fez com que a preocupação da acústica do ambiente fosse substituída pela necessidade de fabricar emissores de som mais eficientes.

Montanari (1993), Rossing (2007) e o artigo A HISTÓRIA DA MÚSICA exemplificam resumidamente características musicais presentes em diversas civilizações como sumérios, assírios, hebreus, egípcios, chineses, indianos, gregos e romanos. Tais civilizações são responsáveis por instrumentos musicais, uso de escala pentatônica e até analogias entre música e matemática, sendo este último desenvolvido por Pitágoras na Grécia (CÂMARA, 2009).

1.4 Metodologia

O ensaio de impacto padrão em sistema de pisos abordado é feito nos ambientes de salas e dormitórios entre unidades autônomas. No tópico 5 (Procedimentos de ensaio) serão detalhados os procedimentos dos ensaios e equipamentos utilizados.

Os limites aceitáveis estão descritos na NBR 15575 e o método é descrito na norma ISO 140-7. Considerando-se que o ensaio foi realizado em várias etapas da obra, apenas o ensaio padrão, com todos os serviços previstos para a entrega finalizados, segue fielmente o roteiro exigido e define a aprovação do imóvel.

O trabalho não tem caráter estatístico, principalmente pela dificuldade nos ensaios em obras ainda em execução, pois os serviços estão em andamento constante e os ambientes sempre se encontravam em estágio distintos nas visitas. O universo de amostras foi selecionado de forma aleatória e de acordo com a disponibilidade, com a intenção de diagnosticar como se encontra o isolamento ao ruído de impacto de sistemas piso de edifícios residenciais.

Nem sempre foi possível levantar com detalhes as características físico-construtivas dos sistemas piso avaliados a seguir. Porém a pesquisa é uma investigação insitu, não sendo necessária, portanto, essa identificação para fins de classificação dos tipos de lajes consideradas.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Som e ruído

Caracteriza-se o som se como uma sensação auditiva causada pela vibração de partículas de ar transmitidas ao aparelho auditivo, sendo portando uma transmissão aérea. O nível de pressão sonora, que fornece a transformação da pressão sonora de pascal para (pa) para decibel (dB) é dado através da **equação 1**:

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

Equação 1 - Nível de Pressão Sonora

Sendo

NPS – Nível de Pressão sonora

P – pressão sonora a ser medida

P₀ – pressão de referência = 2x10⁻⁵ pa

O limiar da audição é a intensidade mínima do som percebido pelo ouvido humano. Um limite superior é quando a intensidade causa dor, chamada de limiar da dor. Consideramos, portanto, o limiar da audição (correspondente a 20μpa) igual a 0dB e o limiar da dor (200pa) tem o valor de 140dB.

Quanto menor for a distância entre as moléculas do meio, tem-se uma velocidade de transmissão maior. No ar a velocidade é de 340 m/s, aumentando nos líquidos e aumentando ainda mais nos sólidos. De acordo com tais princípios, o som não se propaga no vácuo (GREVEN, 2006).

Meio	Velocidade do som em m/s	Velocidade do som em km/h
Ar	344	1238
Água do Mar	150	540
Madeira	380	1368
Barra de Aço	505	1818
Placa de Gesso	680	2448

Tabela 1 - Velocidade do som em diferentes meios (adaptado de EVEREST, 2009)

Kinsler et al. (1982) diz que ruído é o som indesejado. A diferenciação entre som e ruído está mais ligada ao receptor que ao emissor, pois cabe ao receptor definir se o som é agradável ou não. Ou seja, mesmo mantendo as condições de emissão e captação, ouvintes podem ter opinião distinta sobre a geração do som.

Os ruídos podem ser classificados como aéreo ou de impacto. No ruído aéreo, o fenômeno está relacionado a propagação do som através do ar (instrumentos musicais, vozes, músicas). O ruído de impacto está associado ao choque com um elemento sólido, podendo ser causado por elevadores, pessoas andando, motores, ruído hidráulico etc.

2.2. Ruído de impacto

Rindel, (2007), diz que o isolamento sonoro de impacto é a mais importante propriedade acústica a ser considerada dentro de um projeto arquitetônico, pois os requisitos para atendimento ao ruído aéreo serão atendidos caso os requerimentos para ruído de impacto sejam conhecidos, pela maior complexidade da transmissão estrutural em relação à aérea.

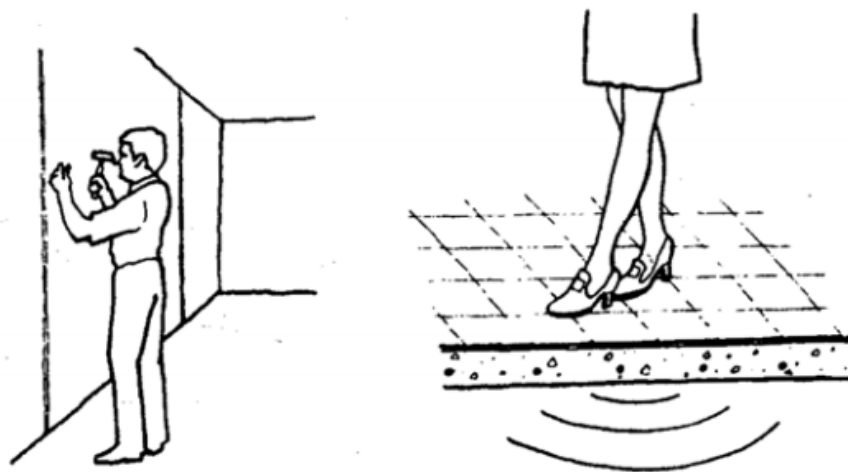


Figura 1 - Tipos de Fonte de ruído de impacto (MEHTA, 1999)

Para superfícies mais rígidas, mais ruído é gerado e, conseqüentemente, quanto mais macio e elástico for um dos elementos, menos ruído é produzido. O fato é facilmente imaginável quando comparamos os passos de uma pessoa em laje com piso de porcelanato, comparando-se a mesma situação com um carpete (material com resiliência). Segundo Whicher (2005), em termos de sonoridade, o ruído de impacto gerado pelos passos é de 4 a 8 vezes mais alto em um piso de madeira do que um piso em carpete sobre a mesma laje, relacionando, portanto, as informações citadas. CORNACCHIA (2009) relata que para o isolamento de ruído aéreo, quanto maior a massa, maior a eficiência do sistema, no entanto, para o isolamento estrutural o amortecimento do sistema piso-estrutura é propriedade mais efetiva.

2.2.1. Nível Sonoro de Impacto Normalizado em laboratório (L_n)

A capacidade da estrutura na transmissão de sonora ao ser excitada mecanicamente recebe o nome de nível sonoro de impacto normalizado (equação 2).

$$L_n = L_2 + 10 \log \left(\frac{A}{A_0} \right) (dB)$$

Equação 2 - Nível Sonoro de Impacto Normalizado em laboratório (L_n)

Sendo

L_2 - nível de pressão sonora de impacto, expresso em dB, definido pela média dos níveis sonoros de impacto, em bandas de 1/3 de oitava, medidos na sala de recepção quando o piso de cima é excitado por um aparato normalizado de impacto;
 A - Área das superfícies de absorção da sala receptora em m^2

Ao - Área de absorção de referência, igual a 10 m².

A parcela de ruído indireta não é considerada na situação em laboratório.

2.2.2. Nível Sonoro de Impacto Normalizado in-situ (L'n)

Para a situação in-situ, quando há transmissão pelos flancos, o nível sonoro de impacto normalizado é dado por:

$$L'n = L2 + 10 \log \left(\frac{A}{A0} \right) (dB)$$

Equação 3 - Nível Sonoro de Impacto Normalizado in-situ (L'n)

A - Área das superfícies de absorção da sala receptora em m²

Ao - Área de absorção de referência, igual a 10 m²

2.2.3. Nível Sonoro de Impacto Padronizado in-situ (L'nT)

O nível sonoro de impacto padronizado in-situ, L'nT, é dado por:

$$L'n = L2 - 10 \log \left(\frac{T}{T0} \right) (dB)$$

Equação 4 - Nível Sonoro de Impacto Padronizado in-situ (L'nT)

Sendo

T - tempo de reverberação na sala de recepção, em segundos.

To - tempo de reverberação de referência, igual a 0,5 s.

2.2.4. Nível Sonoro de Impacto Padronizado Ponderado (L'nTw)

O nível sonoro de impacto padronizado ponderado (L'nTw) é, em edificações, o único valor de isolamento de ruído de impacto, derivando de valores em 1/1 oitavas ou em 1/3 de oitavas, do nível sonoro normalizado de impacto in-situ (L'n), de acordo com os procedimentos descritos na norma ISO 717-2 (1996).

O gráfico 1 apresenta um exemplo de do nível sonoro de impacto padronizado ponderado a partir da curva final em frequência de uma medição realizada in-situ.

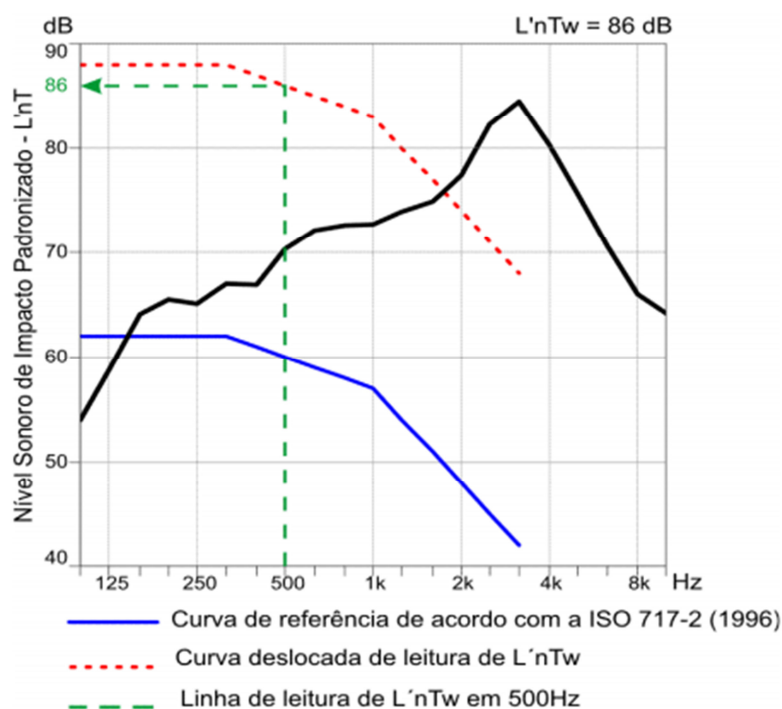


Gráfico 1 - Nível sonoro de impacto padronizado em função da frequência e a indicação do valor do nível ponderado, $L'nTw$, de 86 dB, obtido de acordo com a ISO 717-2(1996). (CORNACCHIA, 2009)

A reverberação e o ruído de fundo medidos insitu já fazem parte da curva final do comportamento do ruído de impacto. Aparecem também na figura as curvas de referência da norma ISO 717-2 (1996) - curva de referência em azul e a curva deslocada em vermelho. Com tais curvas é possível encontrar o nível sonoro de impacto padronizado ponderado ($L'nTw$), lido a 500 Hz encontrando a curva deslocada, de acordo com linha verde tracejada.

A norma também define o termo de Adaptação Espectral (C_i), e é um valor que deve ser adicionado ao número único ($L'nTw + C_{i,50-2500}$). Essa adaptação é utilizada para as baixas frequências, caracterizando de uma maneira mais real o espectro sonoro do caminhar sobre uma laje (CORNACCHIA, 2009).

2.2.5. Nível Sonoro de Impacto Normalizado Ponderado (L'_{nw})

O nível sonoro de impacto normalizado ponderado (L'_{nw}) é, assim como o $L'nTw$, um número único do isolamento de ruído de impacto em edificações, derivado dos valores em bandas de 1/1 oitava ou de 1/3 de oitava do nível sonoro normalizado de impacto ($L'n$), com o procedimento especificado na norma ISO 717-2 (1996). Além disso, o L'_{nw} apresenta o termo de correção também usado no $L'nTw$ para as baixas frequências dado por $L'nTw + C_{i,50-2500}$.

2.3. Tempo de Reverberação

É definido como o intervalo de tempo (em segundos) necessário para um decaimento do nível de pressão sonora (L) de 60dB a partir da suspensão da emissão da fonte sonora. O tempo de reverberação é denominado por T_{60} , o fenômeno pode ser visto de acordo com o gráfico 2:

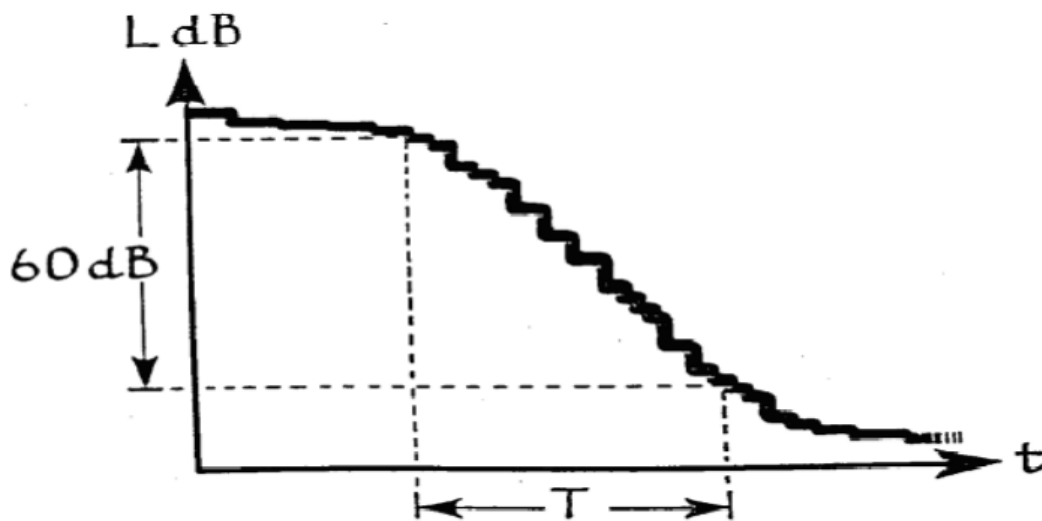


Gráfico 2 - Tempo de reverberação (Almeida, 2006)

O tempo de reverberação é função do ambiente, da área das superfícies e do coeficiente de absorção do material empregado nas superfícies. A fórmula (Equação 5) foi desenvolvida por Sabine, considerado o pai da acústica moderna.

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

Equação 5 - Tempo de reverberação

Sendo:

TR – Tempo de reverberação

V – volume do local

S – Área das superfícies

α – coeficiente de absorção dos materiais

2.4. Propagação de ondas sonoras com obstáculos

Parte importante para o entendimento do comportamento do som, o estudo de propagação da onda com obstáculos apresenta 3 formas de comportamento: A reflexão de volta para o ambiente, a absorção pelo material onde o som foi incidido e transmissão para o ambiente após o local onde foi aplicado. A figura 2 explicita tais comportamentos:

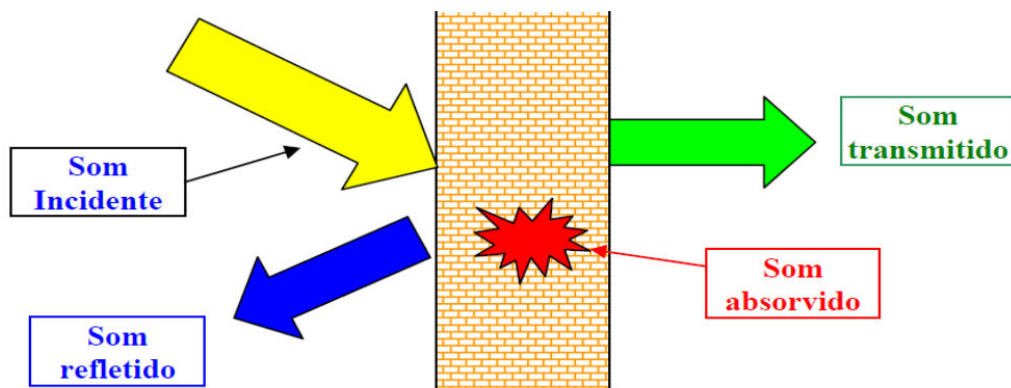


Figura 2 - Comportamento das ondas sonoras em obstáculos (Manual da Acústica- Palazzo)

2.5. Som incidente

É o som da emissão de onda sonora, com parcela de som refletido, absorvido e transmitido pelas superfícies receptoras.

2.6. Som absorvido

É o som absorvido cuja energia é dissipada em forma de calor.

2.7. Som refletido

É o som que segue as leis da reflexão ótica após atingir uma superfície.

2.8. Som transmitido

É o som que atravessa uma superfície, continuando a propagar. A passagem do som faz com que a superfície vibre para que aconteça o fenômeno. Quanto mais rígida e densa a superfície, menor será a energia transmitida.

3. ACÚSTICA DOS EDIFÍCIOS

3.1. Características acústicas dos edifícios

Cabe observar que a característica para o qual a edificação foi construída é fundamental para definição de níveis de aceitação. Uma escola e uma residência podem ser iguais em isolamento do ruído e ter desempenho diferente em relação ao conforto dos usuários.

Para a transmissão de ruído entrepisos, há elementos secundários como lajes e paredes adjacentes, que são capazes de transmitir o som da fonte para a sala de recepção (KIHLMAN, 1994). Portanto, há dois meios de transmissão sonora, sendo uma parcela da transmissão diretamente através do elemento da partição e outra que acontece de modo indireto através das partições secundárias, como pisos, tetos e paredes adjacentes, os chamados flancos. Na língua inglesa essa transmissão recebe o nome de flanking transmissions.

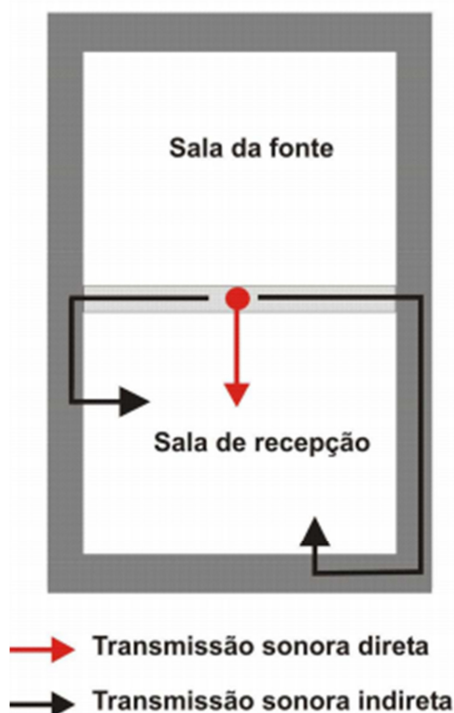


Figura 3 - Esquema de transmissão sonora direta e indireta (CORNACCHIA, 2009)

3.2. Características dos materiais empregados nas lajes

As lajes são revestidas por diferentes camadas horizontais ou inclinadas, formando um sistema de piso com outros possíveis componentes citados na NBR 15575: Camada estrutural, de contrapiso, de fixação e camada de acabamento. Tais componentes podem ser utilizados de forma parcial ou total para a composição do sistema de piso.

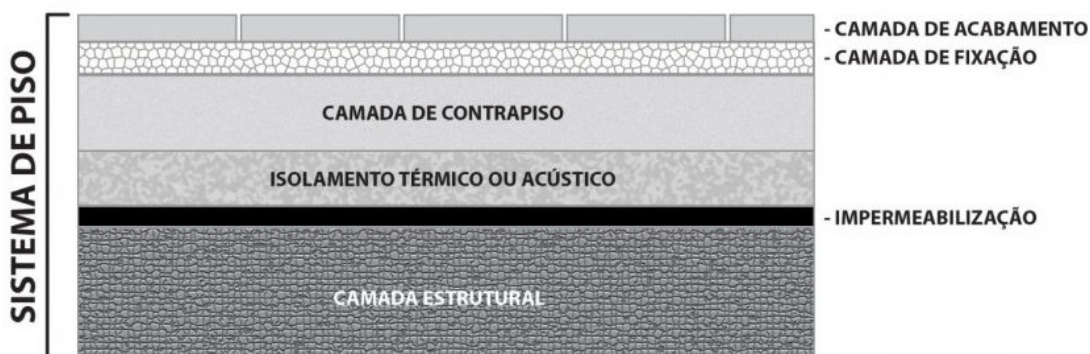


Figura 4 - Exemplo genérico de um sistema de piso e seus elementos (NBR 15575, 2013)

Em termos de isolamento acústico, a propriedade elástica dos materiais é fundamental. Ela faz aumentar a duração do impacto e diminuição da força transmitida (PATRÍCIO e PIEDADE, 2000), por isso a grande importância de materiais bem escolhidos na execução dos revestimentos. O gráfico 3 demonstra o comportamento do tempo de impacto para o concreto e revestimento de piso.

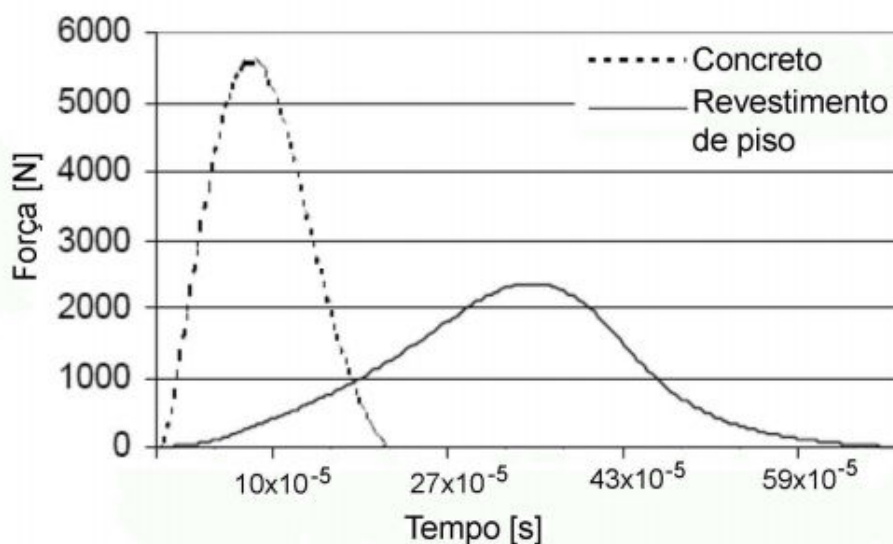


Gráfico 3- Força transmitida e o tempo de duração de uma batida em uma superfície rígida (concreto) e uma superfície com revestimento (adaptado de Patrício e Piedade, 2000)

4. REFERÊNCIAS NORMATIVAS

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

4.1. Edifícios Habitacionais até 5 pavimentos – Desempenho (NBR 15575)

A NBR 15575-3 é uma subdivisão da NBR 15575 (Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - Desempenho) que estabelece, entre outros dados, o nível de pressão sonora de impacto em laje para ensaio de campo ($L'_{nT,w}$).

4.1.1. Níveis de Pressão Sonora de impacto em laje para ensaio

A edificação deve fornecer isolamento sonoro necessário para que o nível de pressão sonora de impacto entrepisso, em campo, seja conforme a Tabela 2.

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

Tabela 2 - Critério e nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado, $L'_{nT,w}$, para ensaios de campo (NBR 15575-3:2008)

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

No caso de áreas de uso coletivo (como salão de festas, quadras etc.) os níveis devem estar de acordo com a Tabela 3.

Elemento	$L'_{nT,w}$ (dB)
Sistema de piso de áreas de uso coletivo (atividades de lazer e esportivas, como home theater, salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas) sobre unidades habitacionais autônomas.	56 a 65

Tabela 3 - Nível de pressão sonora de impacto em ensaio de campo $L'_{nT,w}$ (NBR 15575-5:2008)

5. PROCEDIMENTOS DE ENSAIO

Os procedimentos adotados nos ensaios de campo seguem as informações da NBR 10151. Serão abordadas as definições, instrumentação, calibração, condições de ensaio e procedimento.

5.1. Definições

$L'_{nT,w}$ - Nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado

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 – 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

Para medição de nível de pressão sonora, utiliza-se o sonômetro (Foto 1). O equipamento deve atender as especificações do IEC 60651 para os tipos 0,1 ou 2. A IEC 60942 recomenda que o instrumento possibilite obter resultados na ponderação “A”. A ação dos ventos sobre o microfone deve ser combatida por mecanismos do equipamento, evitando interferências no resultado.



Foto 1 - Medidor de nível de pressão sonora

Para a calibração, utiliza-se o calibrador acústico (Foto 2), que é usado para verificar o medidor de nível de pressão sonora e deve atender as especificações de calibração da IEC 60942, sendo classe 2 ou superior.



Foto 2 - Calibrador do nível de pressão acústica (Silva Júnior, 2012)

O ruído nos ensaios utilizados para medir o tempo de reverberação é emitido pela Fonte emissora de ruído (Foto 3), o instrumento tem um formato dodecaedro, proporcionando o som com a mesma intensidade em qualquer ponto com a mesma distância da fonte.



Foto 3 - Fonte emissora de ruído

O instrumento utilizado para medição de ruído de impacto é a Tapping Machine (Foto 4). O equipamento golpeia a laje com 6 martelos padronizados.



Foto 4 - Tapping Machine

A especificação dos instrumentos de acordo com fabricante está descrita na tabela 4.

Equipamento	Fabricante
Medidor Integrador de Nível Sonoro (Sonômetro)	Brüel & Kjær
Dodecaedro Omni 12	01 dB
Amplificador	01 dB
Tapping Machine	Brüel & Kjær
Software BZ5503 Measurement Partner Suite	Brüel & Kjær

Tabela 4 - Equipamentos utilizados em ensaios

5.3. Calibração dos instrumentos

Através da Rede Brasileira de Calibração (RBC) ou pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO), o medidor de nível de pressão e o calibrador acústico devem ser certificados. O tempo de renovação mínimo é de dois anos.

O fabricante indica um nível de precisão para a calibração. Se o medidor de nível de pressão sonora estiver fora desta variação o instrumento deverá ser enviado para calibração em órgão competente. A verificação da calibração deve ser feita antes e após cada medição, ou conjunto de medições do mesmo evento (Silva Junior, 2012).

5.4. Condições gerais de ensaio

Os valores do nível de pressão sonora são números inteiros e devem ser obtidos arredondando-se valores até o inteiro mais próximo. Para a realização de medições, ruídos externos como chuva, trovões e outros fenômenos da natureza devem ser evitados caso possam interferir no resultado.

Para medições internas, neste caso o tempo de reverberação, o sonômetro deve estar a uma distancia de pelo menos 1,0m de qualquer superfície refletora (paredes, teto, piso e moveis).

5.4.1. Medição do nível de ruído ambiente

A medição do ruído ambiente inicialmente deve ser realizada no empreendimento. Caso a região ainda não represente as condições próximas do estado de entrega (por exemplo, um local onde será construído um condomínio e ainda não há construções no ato dos ensaios), o ensaio pode ser feito na comunidade mais próxima.

5.4.2. Medições de ruído de impacto e reverberação

Para tais medições, é necessário fazer uma quantidade de ensaios de acordo com a área do ambiente, a uma distancia mínima de 1,0m de qualquer superfície refletora (teto, parede, piso e móveis). Serão no mínimo em três pontos distintos, paralelos à superfície onde incidirá o ruído com afastamento de 0,5m ou mais, caso a habitação não permita tais dimensões, deve-se reduzir a distância entre os pontos de medição. A Tapping Machine deve ser posicionada com suas extremidades apontando para os pontos de piso mais distantes do ambiente, visando uma propagação de ondas maiores. Por exemplo, em ambientes quadrados a máquina deve ser posicionada em diagonal, apontando para a quina das paredes.

Foram realizadas medições com duração de 1 minuto em cada ponto em estudo, a média aritmética das medições será o nível de pressão sonora do ponto e o nível de pressão sonora do ambiente será a média aritmética dos pontos. A medição deve ser realizada nas condições normais de uso, utilizando fechadas.

5.5. Relatório

No relatório de ensaio acústico deve os equipamentos devem ser especificados, com informações como fabricante, tipo (ou classe), número de série, data e número do certificado de calibração de cada equipamento. A descrição detalhada deve ser apresentada no relatório, assim como data e hora de duração do ensaio.

Caso seja necessário corrigir os ruídos, deve-se indicar no relatório juntamente com a correção utilizada. O nível de critério de avaliação deve indicar o ambiente, a área e o período em cada situação.

Deve ser feita a referência de acordo com as normas vigentes, principalmente a NBR 15575.

6. ESTUDO DE CASO

Neste trabalho foram avaliadas 3 obras e todas são edificações residenciais. Os três casos serão especificados em 6.1.

Em todos os casos foi avaliado apenas o desempenho de acordo com o nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado ($L'_{nT,w}$).

6.1. Estudo de caso 1

6.1.1. Descrição do Empreendimento

A edificação avaliada possui 15 pavimentos tipo, sendo dois apartamentos por andar com aproximadamente 132m² cada. Os apartamentos possuem 1 sala para dois ambientes, 4 quartos (2 suítes), cozinha, WC social, área de serviço, depósito, dispensa e WC de serviço.

A laje é nervurada, com revestimento cerâmico e contrapiso, tendo ainda a presença do forro entre as lajes com afastamento de 20 cm (esquema na figura 5).

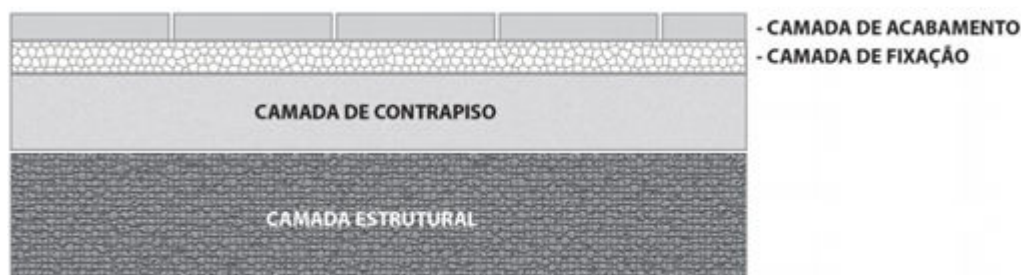


Figura 5 - Sistema de piso no CASO 1 (adaptado de NBR 15575)

A vedação vertical externa de dormitórios da edificação avaliada é constituída por parede em tijolo cerâmico de 8 furos com dimensões de 9X19X19cm e revestimento externo com argamassa de cimento. No revestimento interno foi utilizada uma pasta de gesso. Além da parede, a vedação externa possui uma janela de correr com dimensões de 1,2X1,2m.

As vedações verticais internas entre ambientes são constituídas pelos mesmos tijolos cerâmicos utilizados nas vedações verticais externas, e possui em ambos os lados, revestimento em pasta de gesso com aproximadamente 2,0cm.

As portas utilizadas são do tipo porta pronta semi-oca.

Todas as especificações descritas neste tópico foram fornecidas pela Construtora. A seguir, a planta baixa do apartamento em que foi realizado o ensaio (Figura 6).

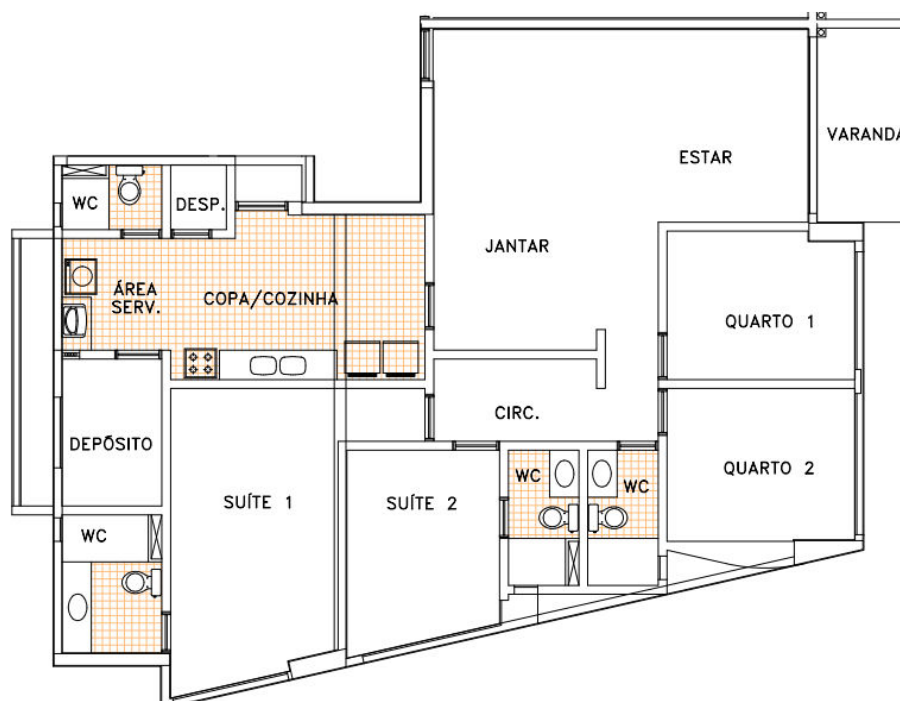


Figura 6 - Planta baixa do edifício ensaiado no caso 1 (Site da construtora)

6.1.2. Ensaios e Resultados

Para este caso, o empreendimento foi ensaiado apenas em seu estado de pronta-entrega (com todos os serviços previstos concluídos). Os resultados são explicitados a seguir:

Tabela 5 - Desempenho acústico do sistema de piso, quanto ao ruído de impacto, obtidos em ensaios de

Avaliação	Desempenho acústico – vedação horizontal da sala L _{nT,W}						
	NBR 15575-4		Sistema de piso (pavimentos)	Ambiente avaliado	Resultado obtido (dB)	Nível de desempenho	
	Nível de desemp.	Critério de avaliação (dB)					
Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas posicionadas em pavimentos distintos	Mínimo	66 a 80	102/202	Sala	74	Mínimo	
				Quarto 1	78	Mínimo	
				Quarto 2	77	Mínimo	
				Suíte 2	78	Mínimo	
	Intermediário	56 a 65	202/302	Suíte 3	76	Mínimo	
				Sala	75	Mínimo	
				Quarto 1	81	Não atende	
				Quarto 2	79	Mínimo	
	Superior	≤ 55	1201/1301	Suíte 2	81	Não atende	
				Suíte 3	80	Mínimo	
				1301/1401	Sala	77	Mínimo
				1301/1401	Sala	75	Mínimo

campo (CASO 1)

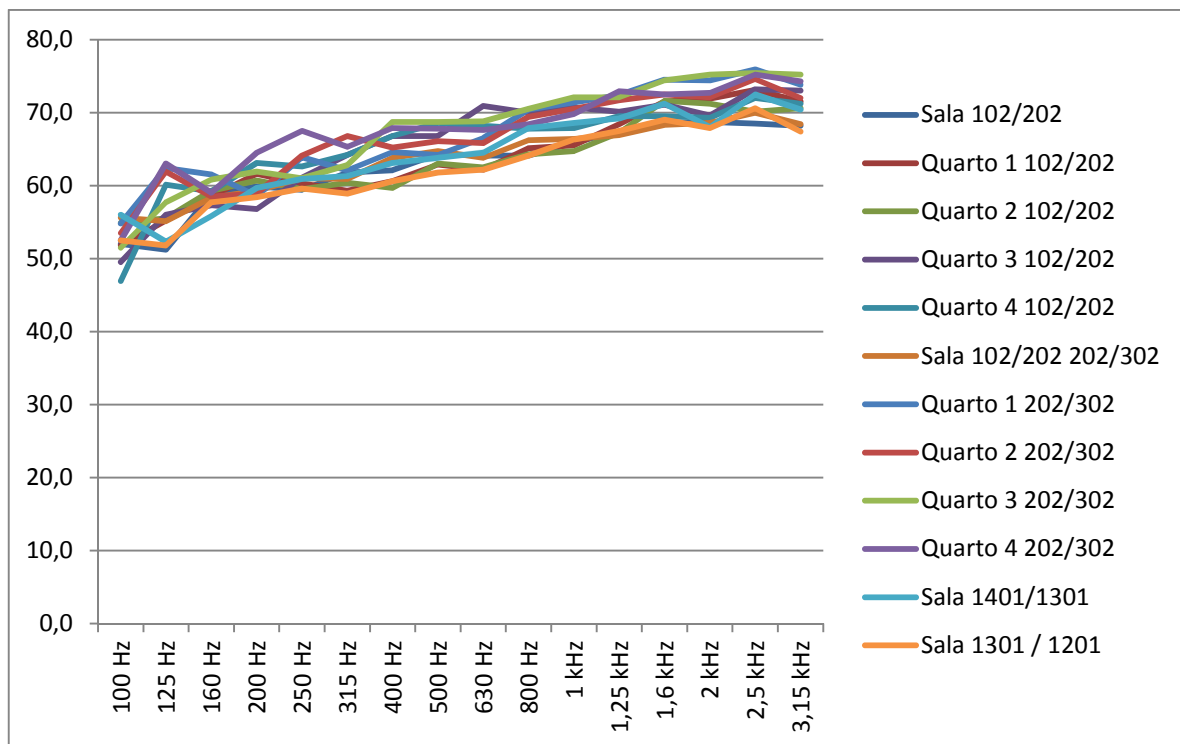


Gráfico 4 - Curva Frequência x Ruído (Caso 1)



Foto 5 - Medição do tempo de reverberação em quarto



Foto 6 - Uso da Tapping Machine na Sala

6.2. Estudo de caso 2

6.2.1. Descrição do Empreendimento

A edificação avaliada possui 9 pavimentos, sendo 8 pavimentos tipo. Os apartamentos possuem 110 m², sendo 4 apartamentos por andar. Os apartamentos possuem varanda, sala para 2 ambientes, 3 quartos (1 suíte e 2 canadenses), cozinha, lavabo, área de serviço, depósito, dispensa e WC de serviço.

A laje é nervurada, com revestimento cerâmico e contrapiso, tendo ainda a presença do forro entre as lajes. O estágio ensaiado, porém, continha apenas laje nervurada e contrapiso (figura 7).



Figura 7 - Sistema de piso no CASO 2 (adaptado de NBR 15575)

As vedações verticais da edificação avaliada são constituídas por paredes em tijolo cerâmico de 8 furos com dimensões de 9X19X19cm e revestimento externo com argamassa de cimento. As esquadrias e portas ainda não estavam colocadas durante o ensaio.

8). A seguir, a planta baixa do apartamento em que foi realizado o ensaio (Figura 8).



Figura 8 – Planta baixa do edifício ensaiado no caso 2 (Site da construtora)

6.2.2. Ensaios e Resultados

Para este caso, o empreendimento foi ensaiado apenas com laje de concreto, contrapiso e paredes em alvenaria com argamassa de cimento (espessura média de 2,5 cm). As esquadrias e portas ainda não tinham sido colocadas.

Desempenho acústico – vedação horizontal da sala					
$L_{nT,W}$					
NBR 15575-4		Sistema de piso (pavimentos)	Ambiente avaliado	Resultado obtido (dB)	Nível de desempenho
Nível de desemp.	Critério de avaliação (dB)				
Mínimo	66 a 80	302 N/202 N	Quarto 3	77	Mínimo
			Quarto 2	76	Mínimo
			Quarto 1	74	Mínimo
Médio	56 a 65		Sala	78	Mínimo
Superior	≤ 55	301 N / 202 N	Quarto 3	76	Mínimo
			Quarto 2	75	Mínimo

		301 S / 302 S	Quarto 1	75	Mínimo
			Sala	77	Mínimo
			Quarto 3	80	Mínimo
			Quarto 2	77	Mínimo
			Sala	75	Mínimo

Tabela 6 - Desempenho acústico do sistema de piso, quanto ao ruído de impacto, obtidos em ensaios de campo (Caso 2).

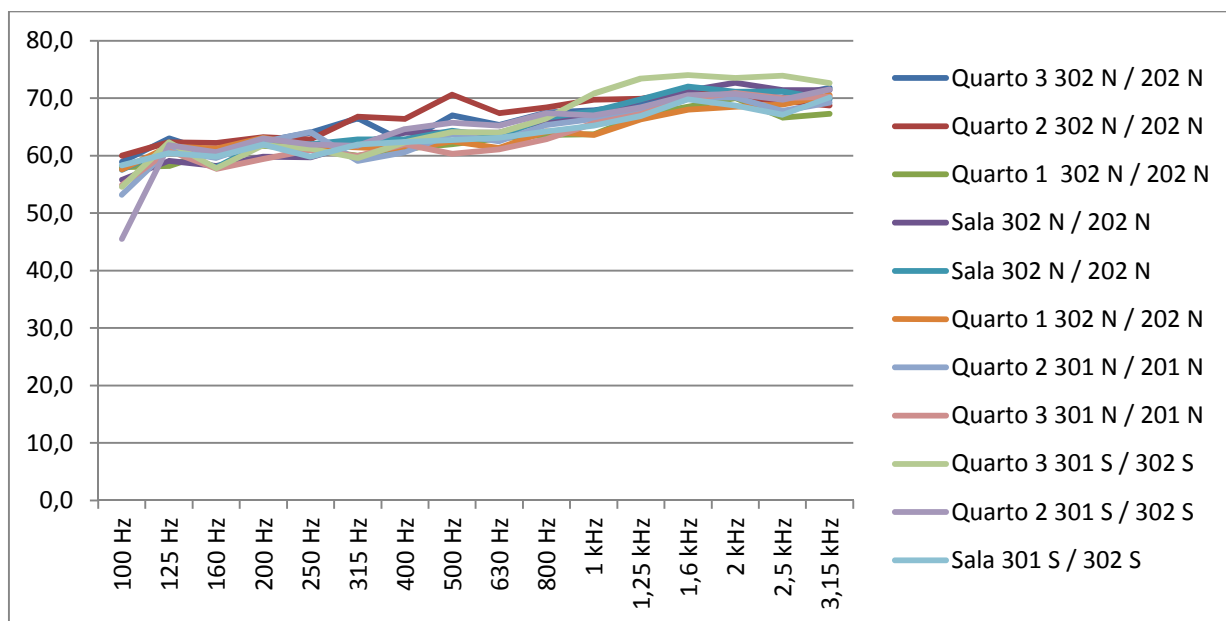


Gráfico 5 - Curva Frequência x Ruído (Caso 2)



Foto 7 - Tapping Machine posicionada em piso da sala

6.3. Estudo de caso 3

6.3.1. Descrição do empreendimento

O terceiro caso ensaiado é um conjunto formado por edifícios residenciais com paredes de concreto moldadas in loco e lajes de concreto maciças com 10 cm de espessura. Foram ensaiados dois edifícios do condomínio, sendo um em pronta-entrega (caso 3.1) e outro apenas com contrapiso (caso 3.2), de acordo com figuras 9 e 10.

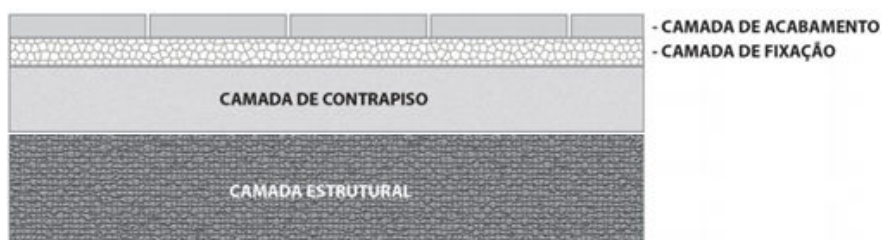


Figura 9 - Sistema de piso no caso 3.1 (adaptado de NBR 15575)



Figura 10 - Sistema de piso no caso 3.2 (adaptado de NBR 15575)

O edifício não possui forro de gesso e o revestimento das paredes é feito com tinta. Em todos os ensaios, as unidades possuíam portas (tipo semi-oca) e esquadrias de correr.



Figura 11 - Planta do edifício ensaiado no caso 3 (Site da construtora)

6.3.2. Ensaios e resultados

Os ensaios foram realizados de duas formas. Uma das formas foi com o apartamento em fase de pronta-entrega, com contrapiso, cerâmica, pintura, portas e esquadrias.

Avaliação	Desempenho acústico – vedação horizontal da sala					
	$L_{nT,W}$					
	NBR 15575-4		Sistema de piso (pavimentos)	Ambiente avaliado	Resultado obtido (dB)	Nível de desempenho
	Nível de desemp.	Critério de avaliação (dB)				
Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas posicionadas em pavimentos distintos	Mínimo	66 a 80	401/301	Sala	79	Mínimo
				Quarto 2	81	Não atende
				Quarto 1	81	Não atende
	Médio	56 a 65	402/302	Sala	69	Mínimo
				Quarto 2	72	Mínimo
				Quarto 2	72	Mínimo
	Superior	≤ 55	403/303	Sala	80	Mínimo
				Quarto 2	82	Não atende
				Quarto 2	82	Não atende

Tabela 7 - Desempenho acústico de sistema de paredes pré-moldadas de concreto (CASO 3.1).

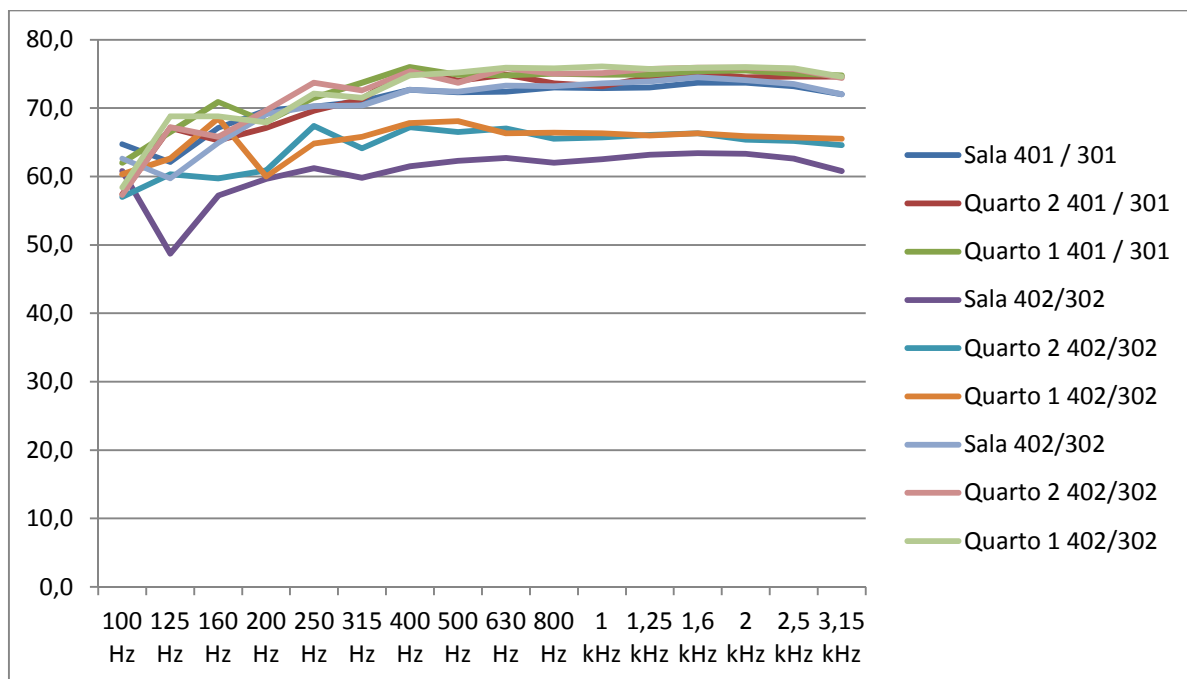


Gráfico 6 - Curva Frequência x Ruído (Caso 3.1)

A segunda forma ensaiada foi o sistema de pisos apenas com o contrapiso e esquadrias, sem portas. No segundo caso a Tapping Machine provocou inclusive afundamento do piso nos pontos em que o golpeou.



Foto 8 - Contrapiso com deformação por conta da Tapping Machine

Avaliação	Desempenho acústico – vedação horizontal da sala					
	$L'_{nT,W}$					
	NBR 15575-4		Sistema de piso (pavimentos)	Ambiente avaliado	Resultado obtido (dB)	Nível de desempenho
	Nível de desemp.	Critério de avaliação (dB)				
Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas posicionadas em pavimentos distintos	Mínimo	66 a 80	401/301	Quarto 1	70	Mínimo
				Quarto 2	71	Mínimo
				Sala	68	Mínimo
	Médio	56 a 65	402/302	Quarto 1	68	Mínimo
				Quarto 2	69	Mínimo
				Sala	68	Mínimo
	Superior	≤ 55	403/303	Quarto 1	67	Mínimo
				Quarto 2	68	Mínimo
				Sala	65	Intermediário

Tabela 8 - Desempenho acústico de sistema de paredes pré-moldadas de concreto (Caso 3.2)

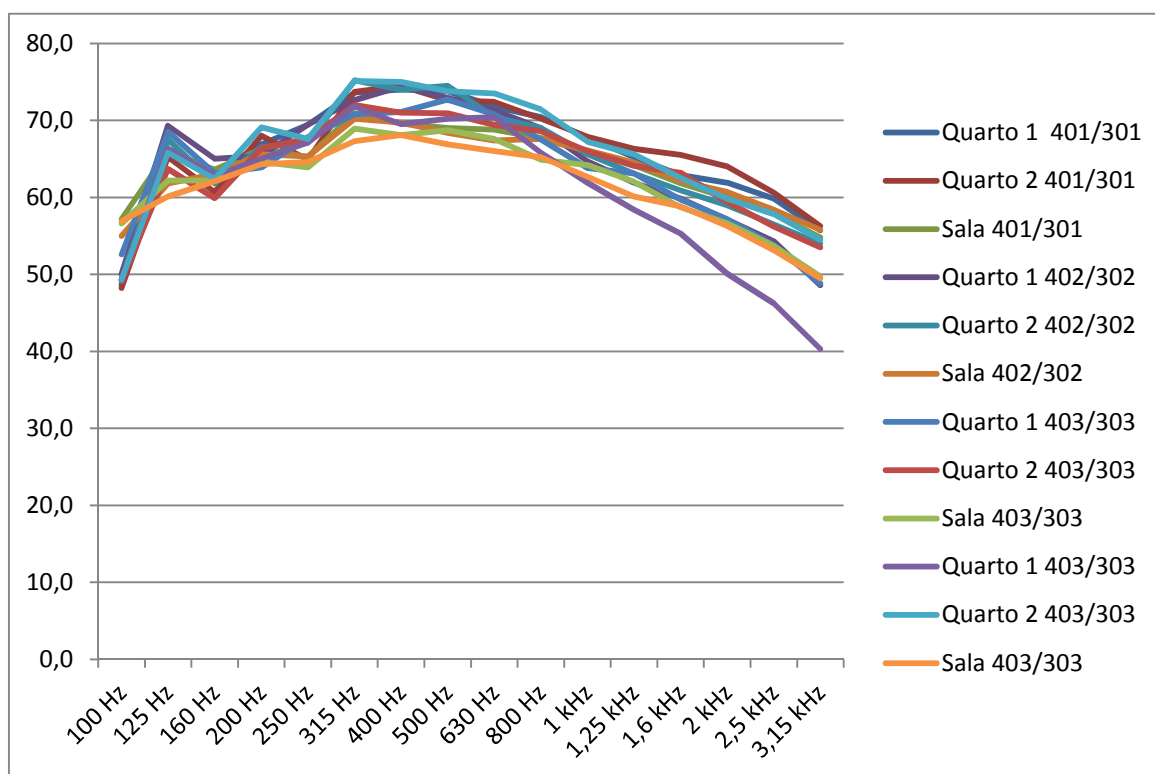


Gráfico 7 - Curva Frequência x Ruído (Caso 3.1)



Foto 9 - Verificação da espessura do contrapiso (aproximadamente 5 cm)



Foto 10 - Tapping machine utilizada em unidade com revestimento cerâmico.

6.4. Análise dos estudos de caso

Para o **CASO 1**, verificou-se que os resultados estão muito próximos do limite normativo permitido, inclusive com dois resultados acima. Considerando-se que o sistema construtivo é bastante utilizado na região e que o edifício está pronto para entrega, verifica-se que o método construtivo necessita de melhorias.

A curva de frequência por nível de ruído demonstra crescimento da intensidade sonora para frequências mais longas. O L'_{nTw} para os ambientes de sala se mostrou menor que os seus respectivos ambientes de quarto. Tal explicação pode ser dada considerando-se que os ambientes dos quartos são menores, proporcionando menor distância entre a aplicação do ruído e as paredes, potencializando a transmissão sonora indireta mencionada neste trabalho.

No **CASO 2**, quatro valores ficaram acima do permitido. A ausência de forro de gesso e janelas podem ser consideradas parcelas que amplificam o som, sendo necessários mais ensaios para a comprovação. Para avaliação de desempenho da obra no ato da entrega, os ensaios devem ser feitos com todos os serviços executados.

A curva de frequência por nível de ruído apresentou crescimento das baixas frequências até o valor aproximado de 500 KHz, quando há estabilização das curvas. O valor ensaiado na sala do apartamento 402/302 apresentou comportamento distinto de todos os resultados do caso, com desempenho superior. Tal explicação pode ser dada pela presença de uma camada de contrapiso de maior espessura ou mesmo presença de material com menor rigidez no trecho. A retirada de corpos de prova para avaliar a espessura da laje

seria uma informação valiosa, porém, pela ausência do ensaio e complexidade da avaliação, o tema é recomendado para avaliação em futuras pesquisas.

Por fim, o **CASO 3.1** e o **CASO 3.2** apesar de não terem sido ensaiados no mesmo edifício (apenas no mesmo condomínio), mostram a importância de uma camada de amortecimento para o impacto e que a evolução do desempenho não segue, obrigatoriamente, um crescimento proporcional ao número de camadas. A curva de frequência por nível de ruído mostra valores baixos nas baixas e altas frequências, o que justifica um desempenho altamente superior a todos os outros dados ensaiados.

Após comparar os casos em questão, foi verificado que o desempenho nos **CASOS 1 e 2** foi similar. Com exceção do **CASO 3.2** sem revestimento cerâmico, verifica-se que os sistemas construtivos em estágio final estão no limite de sua aceitação com a norma em maioria, com alguns ambientes abaixo do permitido.

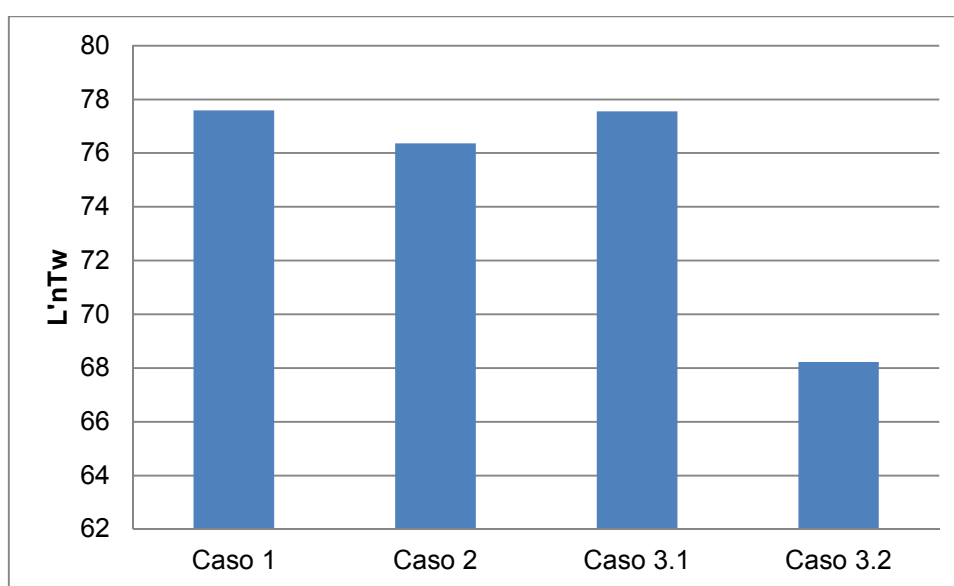


Gráfico 8 - Gráfico da média de L'nTw de acordo com estudo de caso

Verifica-se, portanto que os **CASOS 1 e 3** apresentam pior desempenho em sua média de resultados.

A diferenciação no **CASO 3.2** pode ser explicada através da análise visual in-loco, onde apenas o piso no **CASO 3.2** sofreu grande deformação e por isso foi mais efetivo na dissipação de energia e consequente isolamento do ruído. A importância da superfície receptora do impacto ou camada com maior elasticidade então apresentou-se como item fundamental e com melhor resultado para ter bons resultados no ruído de impacto.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo do conforto acústico, por ter a interferência de vários elementos, mostrou-se complexo.

A presença de trabalhadores muitas vezes inviabiliza os ensaios. Pois as atividades geralmente envolvem equipamentos como serra-mármore, martelos e martelos. Também há falta de instalações elétricas adequadas e instalações provisórias devem ser montadas antes da execução dos ensaios.

De acordo com os ensaios a presença de camada com menor rigidez e maior elasticidade auxilia o desempenho do ruído de impacto no ato da queda do martelo padrão. No caso em que a camada esteve diretamente em contato com o martelo, o resultado foi superior, sendo necessário aumentar a amostragem nos próximos trabalhos para comprovar fenômeno.

As duas obras ensaiadas em fase de entrega apresentaram alguns resultados insatisfatórios e outros muito próximos do limite aceitável. Um projeto de isolamento sonoro com previsão de desempenho é a ferramenta inicial para combater futuros problemas. O mercado de estúdios musicais conta com diversos métodos construtivos que podem auxiliar e dar segurança para os construtores de imóveis.

Para tratar os ambientes que não estão conformes, algumas alternativas possíveis e viáveis seriam: Execução de piso sobre piso, que é processo recente aplicado na região, tratamento no forro de gesso (colocação de material com capacidade de isolamento entre o forro e a laje) e colocação de carpete sobre piso cerâmico. Para o último, provavelmente haverá resistência do cliente para a aceitação pois significará a mudança na customização oferecida pela construtora.

A dificuldade em ensaiar obras em execução deve ser levada em consideração, sendo preferível em alguns casos o ensaio em laboratório. Também devem ser testados novos materiais e influência do aumento de espessura e camadas. Em trabalhos futuros, seria de grande valia aumentar a quantidade de ensaios para gerar análises estatísticas.

É altamente recomendável a mudança (seja aumento de espessura de camada ou criação de outras) no sistema construtivo de lajes, visando atender os requisitos de desempenho para o ruído de impacto.

BIBLIOGRAFIA

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.

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).

Câmara, Dásio Neto. Análise do Isolamento Acústico utilizando sistema Drywall: Estudo de caso em dois ambientes de um hospital público da cidade de Feira de Santana. Monografia apresentada à disciplina TEC 174 PROJETO FINAL II, como parte dos requisitos necessários para a obtenção de seus créditos.

EVEREST,F. ALton & POHLMANN, Ken C., The Master Handbook of Acoustics,5ª ed.,New York,2009.

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, MinasGerais.

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 técnicaspráticas para concepção de edificios escolares e de habitação. Dissertação para obtenção do grau de mestre em construção de edificios. Universidade do Porto.

GREVEN, Hélio A.. ABC do Conforto Acústico. 2ª Ed, São Paulo, Allen A. Dupré (MTb 9057), 2006.

GRIMWOOD, C. Complaints about poor sound insulation between dwellings in England and Wales. *Applied Acoustics*, v. 52, n. 3/4, p. 211-233, 1997.

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.

MARTINS, L.A.C; SAHB, C.A.S.; NETO, M.F.F. Confortoacústico de apartamentos residenciais quanto ao ruído de impacto. In: *Anais da Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável*, 1., Encontro Nacional do Ambiente Construído, 10. São Paulo, 2004.

MEHTA, M.; JOHNSON, J.; ROCAFORT, J. *Architectural Acoustics: principles and design*. New Jersey: Prentice Hall, 1999. 445p.

MONTANARI, Valdir. *Historia da musica: da idade da pedra a idade do rock*. 2. ed São Paulo: Atica, 1993.

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.

NEPOMUCENO, LAURO XAVIER, *Acústica* [por] L. X. Nepomuceno, São Paulo, Edgard Blucher, 1977.

NEPOMUCENO, LUÍZA DE ARRUDA, *Elementos de Acústica Física e Psicoacústica*, São Paulo, Edgard Blucher, 1994.

NORMA TÉCNICA CETESB. L11.032: Determinação do nível de ruído em ambientes internos e externos de áreas habitadas: método de ensaio. São Paulo, 1992.

ROSSING, Thomas D., *Springer Handbook of Acoustics*, Springer, New York, 2007.
SOUZA, Lea Cristina L.de. *Bê-a-bá da acústica arquitetônica: ouvindo a arquitetura*. 1.ed. Bauru, SP: [s.n.], 2003.

SILVA JUNIOR, Otávio Joaquim da. *Avaliação de intensidade sonora em edificações*, Recife, PE: 2012. Trabalho de conclusão de curso para obtenção de título de engenheiro civil.

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.