



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO SEMIÁRIDO
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

ALAN MARQUES DA SILVA MINERVINO

**AVALIAÇÃO DO RUÍDO DE IMPACTO EM SISTEMA DE
PISOS DE EDIFICAÇÕES COM LAJES PRÉ-MOLDADAS EM
JOÃO PESSOA – PB.**

SUMÉ - PB

2018

ALAN MARQUES DA SILVA MINERVINO

**AVALIAÇÃO DO RUÍDO DE IMPACTO EM SISTEMA DE
PISOS DE EDIFICAÇÕES COM LAJES PRÉ-MOLDADAS EM
JOÃO PESSOA – PB.**

Monografia apresentada ao Curso Superior de Engenharia de Produção do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador: Professor Dr. Daniel Augusto de Moura Pereira.

SUMÉ - PB

2018

M664a Minervino, Alan Marques da Silva.

Avaliação do ruído de impacto em sistema de pisos de edificações com lajes pré-moldadas em João Pessoa - PB. / Alan Marques da Silva Minervino. - Sumé - PB: [s.n], 2018.

61 f. : il. Collor.

Orientador: Professor Dr. Daniel Augusto de Moura Pereira.

Monografia - Universidade Federal de Campina Grande; Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido; Curso de Engenharia de Produção.

1. Conforto acústico. 2. Desempenho acústico. 3. Ruídos em edificações. 4. Sistema de pisos. 5. Lajes pré-moldadas. I. Título.

CDU: 699.844(043.1)

Elaboração da Ficha Catalográfica:

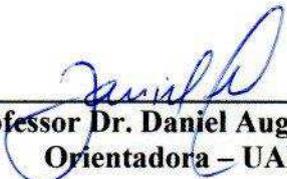
Johnny Rodrigues Barbosa
Bibliotecário-Documentalista
CRB-15/626

ALAN MARQUES DA SILVA MINERVINO

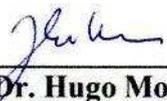
**AVALIAÇÃO DO RUÍDO DE IMPACTO EM SISTEMA DE
PISOS DE EDIFICAÇÕES COM LAJES PRÉ-MOLDADAS EM
JOÃO PESSOA – PB.**

Monografia apresentada ao Curso Superior de Engenharia de Produção do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

BANCA EXAMINADORA:



Professor Dr. Daniel Augusto de Moura Pereira.
Orientadora – UAEP/CDSA/UFCG



Professor Dr. Hugo Morais de Alcântara.
Examinador I – UATEC/CDSA/UFCG



Professor Dr. John Elton de Brito Leite Cunha
Examinador II – UAEP/CDSA/UFCG

Trabalho aprovado em: 11 de dezembro de 2018.

SUMÉ - PB

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me conceder discernimento e força nos momentos mais difíceis desta jornada.

Agradeço a minha família, minha mãe Marinês Marques da Silva e minha irmã Aline Marques da Silva Minervino onde tiveram paciência e propuseram uma caminhada tranquila ao longo desses 5 anos. Eu acredito que de tudo que podemos sentir, a sensação de ter o apoio incondicional da sua família é um dos melhores sentimentos. E agradecer por todos os ensinamentos que minha mãe me passou, ensinamentos esses que moldou meu caráter e a pessoa que sou hoje. Tudo isso eu irei levar para minha vida inteira.

Meus agradecimentos se estendem a todos meus amigos, aqueles que sempre estiveram comigo durante essa jornada, em especial Bruno, Murilo, Anadyne, Antônio, Phâmella e Dani Joicy, onde compartilhamos as alegrias e as tristezas da vida acadêmica.

Ao meu professor, Dr. Daniel Augusto de Moura Pereira, meu orientador que sempre me mostrou os caminhos do aprendizado profissional durante o curso, sempre prestativo e atencioso e além de professor e orientador, um amigo que sempre pude contar.

E aos professores que compõe a banca examinadora, Prof. Dr. Hugo Morais de Alcântara e Prof. Dr. John Elton de Brito Leite Cunha por participar dessa avaliação.

RESUMO

O objetivo desse estudo foi indicar qualitativamente os fatores e características construtivas que influenciam o ruído de impacto nas edificações, de acordo com a legislação vigente atual. Portanto, esse estudo foi desenvolvido em dois edifícios com laje pré-moldada em construção na cidade de João Pessoa-PB e trata da avaliação de ruído de impacto naqueles sistemas de pisos. Para realização desse estudo utiliza-se como referência a norma de desempenho de edificações habitacionais, NBR 15575/2013. Sendo assim, o resultado alcançado indica que se um edifício for construído nos padrões estabelecidos nesse trabalho, esperasse que o desempenho do sistema de pisos desse edifício seja classificado entre 78 dB e 80 dB, portanto, dentro do limite mínimo estabelecido pela norma de desempenho de edificações habitacionais.

Palavra-Chave: Desempenho Acústico. Conforto Acústico. Norma de Desempenho. Edificações Habitacionais

ABSTRACT

The objective of this study is to indicate qualitatively the factors and constructive characteristics that influence the impact noise in the buildings, according to the current legislation. Therefore, this study was developed in two buildings with precast slab under construction in the city of João Pessoa-PB and deals with the rating of impact noise in those floor systems. To carry out this study, reference is made to NBR 15575/2013. Thus, the result achieved indicates that if a building is built in the standards established in this work, it is expected that the performance of the floor system of this building will be classified between 78 dB and 80 dB, therefore, within the minimum limit established by the performance standard of buildings.

Keywords: Acoustic Performance. Acoustic Comfort. Performance Standard. Housing Constructions

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores mínimos de desempenho de sistema de piso.....	28
Tabela 2 - Características construtivas do edifício 1	48
Tabela 3 - Características construtivas do edifício 2	52
Tabela 4 - Características técnico-construtivo dos ambientes estudados	56

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fontes de ruído de impacto.....	17
Figura 2 - Dissipação de ruído em ambientes construído.....	19
Figura 3 - Esquema de transmissão direta e indireta de ruído.....	20
Figura 4 - Esquema de piso flutuante	23
Figura 5 - Junção entre placas	30
Figura 6 - Formas de tubulações para passagem de fios – 1- Sobre os painéis; 2- Dentro dos alvéolos; 3- Sob os painéis	31
Figura 7 - Esquema metodológico utilizado para desenvolvimento da pesquisa	32
Figura 8 - Máquina de impactos padronizada B&K modelo 3207.....	34
Figura 9 - Analisador de ruído B&K modelo 2270.....	35
Figura 10 - Fonte de ruído dodecaédrica B&K (Fonte omnidirecional)	35
Figura 11 – Exemplo de câmara de recepção	36
Figura 12 – Exemplo de câmara de emissão	37
Figura 13 - Tela de inserção dos dados do ensaio de reverberação.....	38
Figura 14 - Tela de médias do ensaio de reverberação	39
Figura 15 - Segunda tela de médias do ensaio de reverberação	39
Figura 16 - Resultado das médias calculadas	40
Figura 17 - Representação da tela de inserção dos dados de ruído de fundo	41
Figura 18 - Telas de inserção dos dados de ruído de impacto (Posição 1 e Posição2)	41
Figura 19 - Telas de inserção dos dados de ruído de impacto (Posição 3 e Posição 4)	42
Figura 20 - Médias referentes aos dados de ruído de impacto (Posição 1 e Posição 2).....	42
Figura 21 - Médias referentes aos dados de ruído de impacto (Posição 3 e Posição 4).....	43
Figura 22 - Tabela que representa as médias finais.....	44
Figura 23 - Tela dos níveis de impacto padronizado ponderado (L_{nTw})	45
Figura 24 - Croqui da câmara de recepção do edifício 1.....	49
Figura 25 - Croqui da câmara de emissão do edifício 1	50
Figura 26 - Croqui do ambiente de recepção do edifício 2	53
Figura 27 - Croqui do ambiente de missão do edifício 2	54

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
ISO	International Organization for Standardization
L_{nTw}	Nível de Ruído de Impacto Padronizado Ponderado
LAeq	Nível de Ruído de Fundo
NBR	Normas Brasileiras Regulamentadoras

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Comparação entre Brasil e alguns países quanto aos valores de nível de pressão sonora de impacto padronizado	29
Gráfico 2 - Representação do gráfico da curva padrão.....	46
Gráfico 3 - Valores de ruído de impacto padronizado ponderado em relação a frequência (Hz) para o edifício 1	51
Gráfico 4 - Valores de ruído de impacto padronizado em relação a frequência (Hz) para o edifício 2.....	55

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Objetivo Geral	13
1.2 Objetivos Específicos	13
1.3 Justificativa	13
2 REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 Ruído	15
2.1.1 Ruído de Impacto.....	16
2.2 Transmissão de Ruído	18
2.2.1 Tipos de Transmissão de Ruído.....	19
2.3 Como Evitar Transmissão de Ruído	21
2.3.1 Isolamento Acústico	22
2.3.2 ISO 140-7: 1998 - Medições de Campo para Isolamento de Ruído De Impacto em Pisos	24
2.4 Conforto Acústico	25
2.5 NBR 15575/2013	27
2.6 Lajes Pré-Moldadas	29
2.6.1 Características Construtivas	30
2.6.2 Produção de uma Laje Pré-Moldada	31
3 METODOLOGIA	32
3.1 Pesquisa Bibliográfica	33
3.2 Coleta de Dados	33
3.3 Instrumentos	33
3.4. Ensaios em Campo	36
3.5 Sistematização os Dados	38
3.5.1 Telas de Tabulação do Ensaio de Reverberação	38
3.5.2 Telas de Tabulação do Ensaio de Ruído de Fundo.....	40
3.5.3 Telas de Tabulação de Ensaio de Ruído de Impacto	41
3.5.4 Telas do Nível de Impacto Padronizado Ponderado (L'_{ntw}) e os Gráficos.....	45
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
4.1 Descrição dos Edifícios	47
4.1.1 Edifício 1	47

4.1.2 Edifício 2	51
4.2 Enquadramento do Resultado em Relação a Norma 15575/2013	56
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	57
REFERÊNCIAS.....	58

1 INTRODUÇÃO

Queiroz e Viveiros (2008) argumentam que os grandes centros urbanos passaram por diversas e significativas mudanças em sua arquitetura, com destaque para o melhor aproveitamento de espaços verticalizando as edificações habitacionais. Eles ainda falam que, em conjunto com essa evolução, a redução dos custos na produção e desenvolvimentos está sendo de grande importância nos dias atuais no setor produtivo, que se entende como consequência diminuição das espessuras e que culmina com a diminuição das estruturas entre partições de ambientes. Os mesmos autores definem que as paredes, fachadas, divisórias e lajes menos espessas e/ou constituídas de materiais menos densos, acarretam maior transmissão sonora entre os ambientes. Esse processo é observado pelo ponto de vista da qualidade acústica das habitações, indo em oposição ao bem-estar da população (QUEIROZ e VIVEIROS, 2008).

Por outro lado, a percepção das empresas em relação à qualidade dos serviços prestados no setor da construção civil é de que havia a necessidade de aprimoramento, sobretudo no que diz respeito a qualidade do ambiente construído, assim mudando o entendimento em relação ao conforto ambiental e segurança a cerca das edificações. Neste sentido, a Norma Brasileira Regulamentadora (NBR) 15575/2013 - Edificações Habitacionais, determina critérios de segurança, de habitabilidade, de sustentabilidade e desempenho em edificações residenciais, determinando requisitos específicos para cada sistema que compõe uma edificação habitacional, tais como de estrutura, pisos, vedações, coberturas e hidráulicos, portanto, permitindo ao morador identificar a responsabilidade em caso de problemas, representando uma verdadeira revolução na construção civil. Portanto, o isolamento do ruído de impacto em pisos de edificações é de grande interesse para garantir condições de habitabilidade e salubridade acústica em ambientes residenciais, também sendo um fator econômico determinante na aquisição de habitações.

Jones (2008) destaca que as características do comportamento acústico em relação ao ruído de impacto apresentam algumas diferenças e as soluções construtivas nem sempre atendem simultaneamente aos dois requisitos cadeiras. O mesmo autor indica que o ruído consiste em ondas de pressão ou vibrações que são geradas por uma fonte de ruído e que são transmitidas pelo ar. Ele ainda fala que no geral, a transmissão de vibrações acústicas é dificultada quando há um aumento da massa dos fechamentos, assim reduzindo a transmissão sonora para superfície oposta. Jones (2008) define que ruído de impacto é causado pelo atrito

entre dois ou mais sólidos e, os exemplos mais comuns em edifícios residenciais incluem queda de objetos, caminhar de pessoas, arrastar de cadeiras. A partir do piso as vibrações se espalham até os outros elementos conectados, tendo o piso como fonte (JONES, 2008).

1.1 Objetivo Geral

Analisar os fatores que influenciam a transmissão de ruído de lajes pré-moldadas, utilizando como objeto de estudo dois edifícios na cidade de João Pessoa-PB.

1.2 Objetivos Específicos

- Analisar os aspectos construtivos dos edifícios;
- Indicar qualitativamente os fatores que influenciam os níveis de ruído de impacto nos edifícios construídos em lajes pré-moldadas.

1.1 Justificativa

De acordo com Machado (2003), as análises de ruído de impacto em pisos no Brasil ainda são pouco exploradas. Mas há alguns pesquisadores e empresas que vem estudando esse tema relacionado ao ambiente construtivo. Em outros países, o ruído de impacto vem sendo bastante estudo e abordado por diversos trabalhos científicos (TADEU et al, 2007), ressaltando também que os sistemas construtivos dos pisos no Brasil têm suas particularidades, sendo que os dados obtidos no âmbito internacional não se aplicam aqui. Sendo assim, esse trabalho procurou buscar parâmetros construtivos nos sistemas de lajes pré-moldadas, afim de definir requisitos mínimos para construção que se enquadrem na norma vigente.

Vale ressaltar que os objetivos desse trabalho vão de encontro com a NBR 15575/2013, norma de desempenho. A parte 3 dessa norma fica responsável por regulamentar os critérios de construção dos sistemas de pisos, sendo estabelecido as categorias em que a edificação se enquadra.

Apesar da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) não se tratar de normas jurídicas e não possuir poder vinculante, ela é reconhecida pela justiça, conforme a Lei 4.150, de 21 de novembro de 1962. Em determinados artigos do código de defesa do consumidor também reforçam o cumprimento dessa norma, como:

Art. 39. É vedado ao fornecedor de produtos ou serviços:

VIII - colocar, no mercado de consumo, qualquer produto ou serviço em desacordo com as normas expedidas pelos órgãos oficiais competentes ou, se normas específicas não existirem, pela Associação Brasileira de Normas Técnicas ou outra entidade credenciada pelo Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Conmetro); (BRASIL, 1990).

Portanto, mesmo a NBR 15575/2013 não sendo uma norma jurídica, ela é de suma importância e tem valor judicial. Sendo assim, o não cumprimento dos parâmetros estabelecidos nessa norma pode ocasionar problemas judiciais, como processos e multas as empresas responsáveis pelas edificações caso não sejam cumpridos o que está estabelecido.

Dito isto, percebe-se a importância das análises de ruído de impacto no campo da construção civil, pois ela permite que as empresas se enquadrem à NBR 15575/2013 e fiquem livres das contrariedades da justiça, evitando assim os altos custos com multas e tendo uma boa imagem no mercado consumidor.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Ruído

O ruído em ambientes fechados ou abertos pode afetar as pessoas tanto psicologicamente como fisiologicamente. O ruído é definido por Almeida (1982) como uma expressão de uma sensação subjetiva auditiva, sendo originada por vibrações e propagada através de meios sólidos, líquidos ou gasosos, com velocidades que são diferentes, segundo o meio empregado em sua propagação; psicologicamente, entendemos por ruído uma sensação auditiva desagradável.

Ou seja, quando se trata do ambiente doméstico, lazer ou de trabalho, o ruído é interpretado de diferentes formas, dependendo de alguns fatores como bem-estar ou desconforto. Esses fatores subjetivos mostram de modo geral o que é apenas um som e o que se define como ruído.

Há casos em que o som é confundido com ruído, alguns autores definem o som como algo agradável. Santos, Matos e Azevedo (1994) definem som e ruído como termos geralmente utilizados de diferentes formas, porém, normalmente, som é usado para as sensações agradáveis, como fala ou música e ruído, para descrever um som indesejável como buzina, barulho de trânsito e máquinas. Para um som ser captado, é preciso que ele esteja dentro da faixa de frequência captável pelo ouvido humano, essa faixa varia em média de 16 a 20.000 Hz.

O som é definido como algo agradável para o ser humano na literatura, quando esse som passa a incomodar de alguma forma, esse som passa a ter característica de ruído. Algumas características do ruído que podemos identificar no dia-a-dia é, como: Buzina de carro, som de motor automotivo, som de pessoas caminhando no andar de cima, entre outras.

É fato que o ruído é o motivo de alguns efeitos ao corpo humano, esses efeitos podem ser observados de várias maneiras, como: Perda de audição e aumento da pressão sanguínea. A exposição a longo prazo ao ruído pode afetar o sistema nervoso e causar sobrecarga ao coração. Alguns estudos e pesquisas do *Institute of Environment and Health* apontam que essas alterações podem ocasionar algumas consequências, como: Nervosismo, fadiga mental, frustração e prejuízo na produtividade. Existem queixas no que diz respeito a dificuldades mentais e emocionais que se manifestam como irritabilidade, fadiga, mau ajustamento em situações diferentes e conflitos sociais entre operários expostos ao ruído. Essa situação causa preocupação, tendo em vista a agressão direta e cumulativa que possa afetar à

saúde das futuras gerações, considerando a degradação dos ambientes residenciais, sociais e de aprendizagem (NARDI et al., 2008).

Algumas doenças são causadas pela a alta intensidade de ruído no ambiente, seja ela no trabalho, no ambiente doméstico, escola ou caminhando pela cidade. O fato é que o ruído pode afetar o ser humano de várias formas, como estresse, algumas doenças do trabalho e pode afetar também a parte cognitiva das crianças na escola, dificultando seu aprendizado.

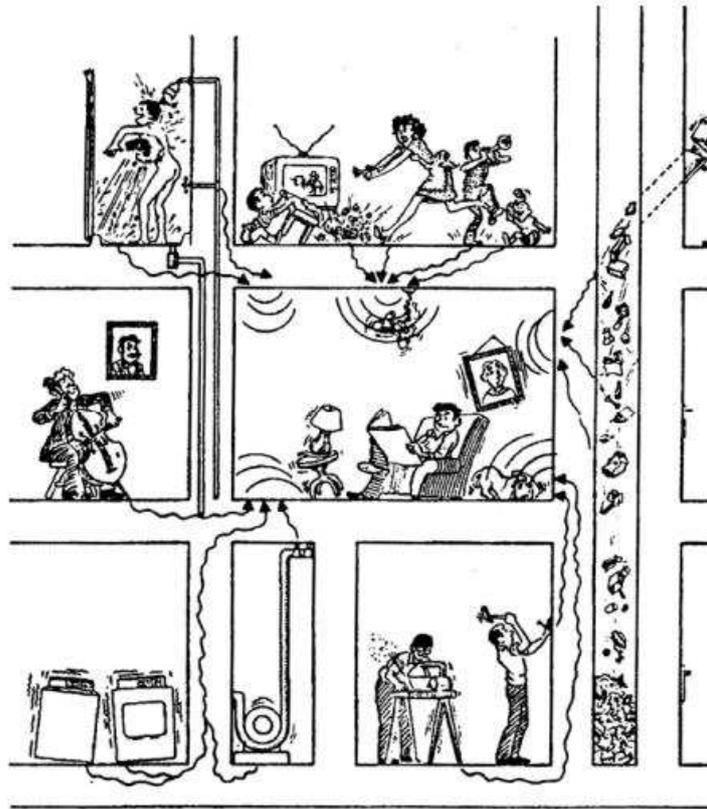
De toda forma, o ruído é um conceito subjetivo, tendo em vista que para uns pode ser uma sensação auditiva agradável, ou ao menos uma sensação suportável, para outros pode-se ser interpretado como uma sensação desagradável. Ou seja, tudo que não puder ser interpretado como informação pode ser caracterizado como ruído.

2.1.1 Ruído de Impacto

O ruído estrutural é originado a partir vibrações oriundos de impactos dinâmicos de várias naturezas, em algum componente que formam as edificações. As superfícies das edificações trabalham como amplificadores dos sons gerados por vibração, o impacto pode não gerar ruídos ele somente, entretanto caso a fonte estiver diretamente conectada a uma parede, por exemplo, o ruído será amplificado devido à vibração ou impacto produzido na parede (MEHTA et al, 1999).

A característica do ruído de impacto é o atrito de uma fonte com uma parede ou superfície, esse atrito gera onda sonoras a partir de vibrações. O ruído pode ser amplificado, caso a fonte esteja em contato direto com a parede.

O ruído de impacto é resultado de atritos em curta duração e repetitivo. Pessoas caminhando, batendo um prego com um martelo, dançando ou pulando são exemplos de alguns tipos ruídos de impacto. Na Figura 1 é observado mais algumas características de ruídos causados por impactos.

Figura 1 - Fontes de ruído de impacto

Fonte: Fahy (1987)

Nos projetos construtivos, as propriedades e o isolamento acústicos tem uma alta importância a ser considerada, tendo em vista que, segundo Rindel (2007), os requisitos para o isolamento sonoro aéreo serão suficientes se os requerimentos para ruído de impacto forem conhecidos, já que a transmissão estrutural é mais complexa que a transmissão via ar. O autor ainda destaca que a especificação das características construtiva dos sistemas estruturais de lajes é geralmente mais complicada do que os componentes de vedação vertical, e os vários tipos de revestimento de piso existentes fazem com que seja cada vez mais difícil desenvolver modelos preditivos confiáveis.

É importante observar que, quando mais duro o material ou a superfície, mais ruído será gerado e quanto mais flexível o material ou superfície, menor será o ruído. Para ilustrar essa situação, imagine o vizinho no andar de cima do apartamento andando sobre um tapete emborrachado, e sobre um piso cerâmico. Whicker (2005) descreve que em relação aos termos de sonoridades, o ruído de impacto gerado a partir do caminhar deve ser de 4 a 8 vezes mais alto em um piso de madeira do que um piso de carpete sob uma mesma laje, fazendo assim a correlação entre o ruído gerado a partir de superfícies mais rígidas e mais elásticas.

Através de um componente estrutural, como uma laje ou um piso de um edifício acontece a sua propagação. Quando uma superfície com flexibilidade as vibrações são atingidas, a exemplo de um piso em um ambiente construtivo, a vibração pode forçar a partição a oscilar e, dessa forma, o ruído é gerado. A eficiência na radiação dependerá da razão entre alguns fatores, entre eles: as dimensões da partição, do amortecimento e da frequência de excitação e, segundo Knudsen (1988), a grandeza da potência instantânea de vibração envolvida é muitas vezes maior que aquelas produzidas por fontes comuns de ruído aéreo. Por isso, é correto afirmar que as vibrações percorrem por estruturas contínuas e que tenham pouca flexibilidade, assim atingindo maiores distancias em relação a propagação do ruído.

O isolamento sonoro nas edificações construídas é considerado, de modo geral, um importante item nos projetos arquitetônicos, tanto que Gerretsen (1976) comenta que a quantidade de pessoas que escutam seus vizinhos caminhando é muito maior que a quantidade de quem se diz ser incomodado. Todavia, o mesmo autor afirma que não existe nenhuma relação a uma resposta direta para esse questionamento, ou seja, se o incômodo é baseado na pura detecção do ruído ou pela intensidade com que ele é percebido, mas é certo que o julgamento é mais negativo quando se percebe o ruído como alto.

As fontes de ruído que mais incomodam as pessoas no Brasil são de objetos que caem no piso, pessoas andando e arrastar de móveis, esse último se classificando como o que mais causa irritação entre todos (MARTINS et al., 2004).

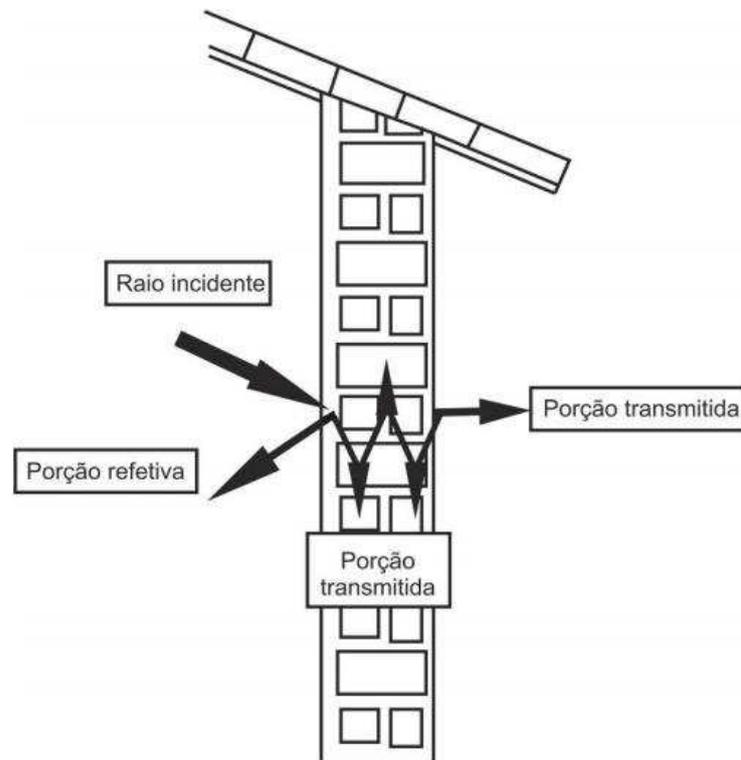
2.2 Transmissão de Ruído

O controle do ruído pode ser feito pelo isolamento acústico nas edificações. Segundo Silva (1997), existem três maneiras para que a transmissão de ruído se propague em um ambiente, essas três maneiras se caracterizam em:

- Pela passagem direta via parede ou painel;
- Pela passagem indireta, sendo flanqueado;
- e pelas frestas próximas a pilares, lajes e/ou paredes confluentes; por janelas, aberturas, portas, dutos de ar, tubos de água, eletrodutos, ou por entre forros e entrepisos.

A ocorrência do som em alguma determinada superfície, uma parte é refletida e outra parte é absorvida, essa energia absorvida é desvanecida em forma de vibração mecânica. Na Figura 2 é observado de uma forma mais didática os mecanismos de dissipação do som em uma estrutura construída.

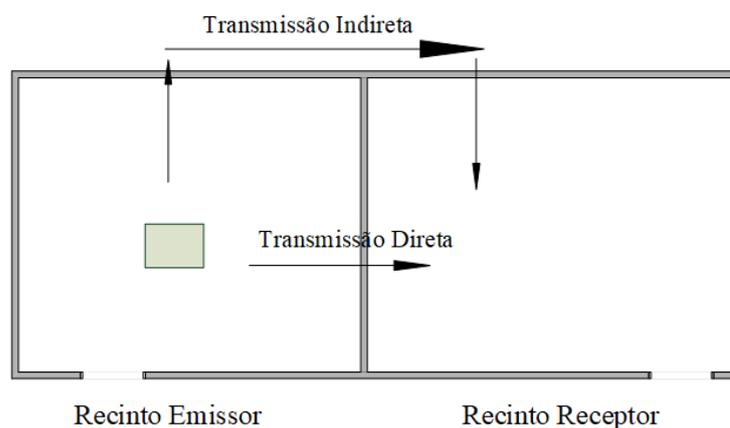
Figura 2 - Dissipação de ruído em ambientes construído



Fonte: Souza (2006)

2.2.1 Tipos de Transmissão de Ruído

É fato que o isolamento acústico tem uma grande importância nos projetos e construções residenciais. Algumas fontes de ruído podem causar incômodos nos ambientes adjacentes à fonte do ruído. Na Figura 3, é possível observar que há duas formas de transmissão de ruído, transmissão direta e a transmissão indireta.

Figura 3 - Esquema de transmissão direta e indireta de ruído

Fonte: O Autor (2018)

O que caracteriza o isolamento sonoro não são apenas partições que dividem os ambientes, porém, por outros elementos como paredes adjacentes, lajes e tetos, que transmitem o som da sala da fonte para a sala de recepção (KIHLMAN, 1994). Sendo assim, a maior parte do que é transmitido do ruído de impacto acontece de uma forma direta sobre a estrutura e outra parte acontece por tijolos, paredes adjacentes, tetos. Esse tipo de transmissão é determinado na língua inglesa como *flanking transmissions*.

Avaliar a contribuição da parte do ruído de propagação indireta é determinante para a realização dos ensaios em laboratórios em comparação com as realizadas *in-situ*. Na primeira mencionada, somente a parcela de ruído de propagação direta é avaliada, ou seja, quando se refere aos ensaios feitos em laboratório é avaliado apenas a partição em questão sem a contribuição das transmissões laterais, enquanto que na medição *in-situ*, ou seja, no local real do ensaio, é avaliado o somatório das partes envolvidas nas características direta e indiretas ao mesmo tempo. Quando se fala em edifícios com sistemas construtivos tradicionais, construídos com estrutura em concreto, a transmissão indireta pelos flancos é aproximadamente 50% da transmissão sonora total entre dois ambientes quaisquer (RINDEL, 2007).

2.2 Como Evitar Transmissão de Ruído

Sharland (1979) define isolamento, seja em qualquer aspecto, térmico, elétrico ou sonoro, como uma forma de prover uma barreira para um fluxo de energia que, sendo assim, é a energia sonora. A barreira, então, impõe determinada atenuação à transmissão da energia ao longo do caminho de propagação que, de uma forma geral, denomina-se isolamento sonoro.

Segundo Rindel (2007) para o conforto acústico ser alcançado em um edifício, alguns requisitos devem ser levados em conta e seguidos para a correta obtenção dos níveis de isolamento sonoro, sendo aéreo ou impacto, provenientes do ruído de tráfego ou de outras atividades internas do edifício. O mesmo autor considera que um isolamento sonoro de baixa qualidade entre as unidades residenciais construtivas pode causar restrições nas atividades do dia-a-dia, ainda pode ser o motivo de muitos conflitos sociais. Grimwood (1997) e Rasmussen (2004) comentam e exaltam a importância no que se refere ao fato de que o isolamento sonoro é um fator determinante nas relações diárias entre os usuários de ambientes construídos.

A compreensão do ruído pelos vizinhos é um significativo indício quando se trata da qualidade acústica dos edifícios, em todos os âmbitos da sociedade, seja habitacional ou comercial. É sabido que as demandas quanto à sua qualidade são basicamente os mesmos há 50 anos, todavia, a situação em relação a sonoridade ao redor dos edifícios tem apresentado aumento circunstancial. Hoje em dia, a indústria de produção da construção civil está se deslocando cada vez mais em direção dos conceitos da construção sustentável e, assim sendo, a utilização de materiais e metodologias construtivas tem se modificado cada vez mais de uma forma rápida (GERRETSEN, 2003).

Gerretsen (2003) também mostra de modo geral um panorama atual sobre as questões da cidade moderna, tendo como foco os edifícios propriamente dito, na qual é destacado a tendência de se concentrar em várias funções da vida contemporânea ao redor das residências. A cidade compacta abriga hoje, na mesma localidade as várias funções, como:

- Morar;
- Trabalhar;
- Lazer;
- Comprar,
- locomover

E continuando o mesmo autor, todas essas funções são próximas entre si. O grande acúmulo de várias funções próximas umas das outras tem como consequência várias fontes de ruído, essas implicações somam-se em todo contexto urbano. Quando se fala nos edifícios construídos em si, existe uma adição relevante no número de instalações técnicas no que diz respeito às questões de conservação de energia, condicionamento interno e conforto ambiental para os habitantes, surgindo assim os chamados prédios inteligentes e como resultado, gerando um complemento das fontes de ruído interno. A proposta por edifícios mais sustentáveis ainda influencia os métodos construtivos e os materiais utilizados. É de grande importância o aumento no emprego de estruturas cada vez mais leves, onde é destacado os elementos pré-moldados para os edifícios construídos. Alguns critérios que são levados em conta como a montagem com mais rapidez, a limpeza em obra e o baixo custo na construção acabam tendo maior influência de decisão e, conseqüentemente, as premissas para uma boa qualidade acústica no ambiente são ignoradas, esse método intitulado por Gerretsen (2003) de “*trial-and-error*” traduzindo-se, tentativa e erro.

2.3.1 Isolamento Acústico

Os ruídos estruturais ou ruídos de impacto, são aqueles produzidos a parti de atritos entre materiais sólidos ou materiais líquidos e que são transmitidos também por materiais líquidos ou sólidos. Podemos ver também a transmissão de ruído pelo ar por meio de vibrações que são percebidos pelo ser humano.

O som pode se propagar através de duas vias, tanto por via estrutural como por via aérea. Assim podemos classificar o som de duas formas:

- Os que são oriundos de uma superfície estrutural;
- Os que são oriundas do ar.

Esse trabalho é voltado para ruídos que se propagam através de estruturas construídas.

Patrício (2008) salienta que ruído de impacto se propaga por toda a edificação construída devido a sua rigidez nas ligações ao longo de todo o edifício, por esse motivo, a propagação é facilitada ao longo de toda malha definidora dos espaços de utilização, gerando

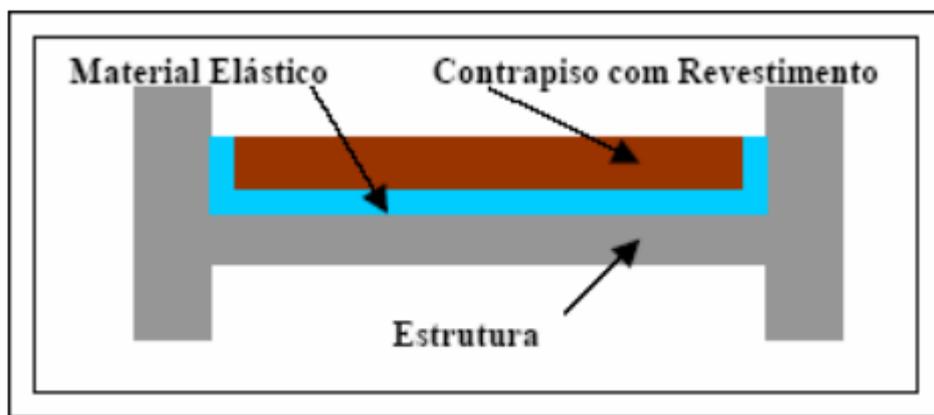
campos sonoros, ocasionalmente intensos em compartimentos razoavelmente distantes do local de origem da excitação.

A redução de ruído de impacto nos diferentes componentes dos ambientes construtivos requer mecanismos distintos. O isolamento em paredes de vedação difere por completo quando falamos em isolamento acústico de lajes. Em relação ao ruído aéreo, quando maior a massa da estrutura, melhor será a vedação, no que diz respeito ao ruído de impacto, o amortecimento da estrutura tem maior importância em relação a diminuição do ruído.

Há alguns mecanismos que são usados para amortecimentos do ruído, um desses mecanismos é a utilização de materiais plásticos no piso. Desse modo, o ruído de impacto depende, de modo geral, de uma fonte geradora e do sistema de piso que está recebendo o impacto. Se a fonte do ruído e o piso apresentarem uma alta rigidez, a consequência será significativo, com uma curta duração, com altas frequências, porém, se o piso estiver com proteção de uma manta de material resiliente, o ruído de impacto será reduzido, entretanto sua duração será mais prolongada.

De acordo com Brondani (1999), os materiais plásticos recomendados para pisos flutuantes são: espuma de polietileno; lã de vidro; borracha com baixa densidade; poliéster e poliestireno expandido elastizado. Além do mais, esse tipo de material resiliente tem que apresentar uma boa resistência mecânica, ter boa resistência química, ser incombustível e ser elástico, ou seja, ter baixa rigidez dinâmica (MÉNDEZ et al., 1995). Na Figura 4 é observado que esquema da disposição da manta elástica, entre o contra piso e a laje, caracterizando o piso flutuante.

Figura 4 - Esquema de piso flutuante



Fonte: Hax (2002)

A redução do ruído entre uma câmara e outra adjacentes pode de ser avaliado por medições sonoras da câmara inferior fazendo as leituras sonoras da câmara superior. Essas medições são feitas com auxílio de equipamentos descritos e devidamente mencionado na ISO 140-7:1998, a qual gera ruído de impacto através da queda sequencial de uma série de pequenos pesos sobre o piso de ensaio. Os procedimentos de medição sonora também são realizados em conformidade com a norma ISO 140-7:1998.

2.3.2 ISO 140-7: 1998 - Medições de Campo para Isolamento de Ruído de Impacto em Pisos

A *International Organization for Standardization* (ISO) descreve no anexo A que, o método de medição de isolamento de ruído de impacto é usando a máquina de ruído de impacto padrão.

De acordo com a ISO 140-7, o ruído de impacto deve ser provocado em 4 diferentes posições aleatoriamente distribuídas no piso no ambiente do ensaio. A distância da máquina de ruído em relação às paredes do recinto deve ser de pelo menos 0,5m. As posições do analisador de ruído (microfone) na câmara inferior devem ser no mínimo de 0,7m entre si, 0,5m entre qualquer posição do analisador de ruído e os envoltórios da câmara e 1,0m entre qualquer posição do analisador de ruído e o piso superior que está sendo excitado pela máquina de ruído de impacto. Um mínimo de 4 posições deve ser utilizado pelo analisador acústico, distribuídas uniformemente dentro do espaço permitido para medição da câmara. O número mínimo de medições usando posições fixas do analisador de ruído são seis, e uma combinação de pelo menos quatro posições do analisador com pelo menos quatro posições da máquina de ruído de impacto devem ser utilizadas. O nível de pressão sonora das diferentes posições de microfone deve ser a média logarítmica da energia para todas as posições da máquina de ruído.

$$L = 10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n 10^{L_j/10} \right) \text{ [dB]} \quad \text{Eq. 1}$$

A norma caracteriza o isolamento dos ambientes construtivos horizontais, esses devem ser expressos nos termos de nível de pressão sonora de impacto, L_i (Nível de Ruído de Impacto). Este é definido como o nível de pressão sonora médio para uma determinada frequência, medido no local do ensaio, sendo receptor quando o elemento horizontal é

excitado com uma fonte padrão. Define-se o Nível de Ruído de Impacto Normalizado, L_n , como:

$$L_n = L_i + 10 \log \frac{A}{A_0} \quad [\text{dB}] \quad \text{Eq. 2}$$

Onde:

L_n – Nível de Ruído de Impacto Normalizado [dB];

L_i – Nível de Ruído de Impacto Normalizado [dB];

A – Absorção Acústica da Sala Receptora [m^2];

A_0 – Absorção Acústica de referência cujo valor é 10 m^2 .

Pode também utilizar o Nível de Ruído de Impacto Padronizado, L_{nT} , como:

$$L_{nT} = L_i + 10 \log \frac{T}{T_0} \quad [\text{dB}] \quad \text{Eq. 3}$$

Onde:

L_{nT} – Nível de Ruído de Impacto Padronizado [dB];

L_i – Nível de Ruído de Impacto [dB];

T – Tempo de reverberação do ambiente receptor [s];

T_0 – Tempo de reverberação de referência = 0,5 s.

2.4 Conforto Acústico

A compreensão de conforto acústico é sugerida como um sentimento de bem-estar, de tranquilidade emocional e de satisfação. É interessante salientar que a sensação de conforto, na maioria das vezes, não é percebida pelos usuários, mas o incômodo causado pela sua falta logo gera insatisfação (ORAL et al., 2004).

O conforto acústico também é conceituado como aquilo que pode ser caracterizado pela inexistência de som que não é desejado e por atividades acústicas que não causam incômodo aos usuários. A autora estabelece a possibilidade de desagrado por está exposto ao ruído dos vizinhos como também da mesma forma incomoda saber que a sua atividade pode ser ouvida por outras pessoas, causando nelas uma sensação de desconforto (RASMUSSEN 2004).

No que diz respeito aos grandes centros urbanos, uma parte importante das pessoas buscam os apartamentos com amplo espaço interno, varandas, churrasqueiras, playgrounds, quase um verdadeiro centro de lazer em seus condomínios. Entretanto, antes de qualquer coisa, a atenção do consumidor ou usuário se concentram nos vários itens de lazer e

comodidade que as construtoras irão oferecer. De uma forma lamentável, algumas vezes, o conforto acústico só é lembrado quando o usuário já está morando no local, eles passam a escutar a conversação dos vizinhos do lado ou o caminhar no andar de cima por exemplo, isto é, quando o ruído começa a atrapalhar o sossego (NETO e BERTOLI, 2008). Alguns estudos como a medição de ruído de impacto identificam alguns problemas em relação ao conforto acústico, esse tipo de estudo evita alguns incômodos e também menos prejuízos cognitivos e financeiros.

Na região de Goiânia foram estudados 110 estabelecimentos e Martins et al. (2004) alcançaram os resultados seguintes em relação ao conforto acústico das habitações: 73,40% enquadraram-se na classificação como péssimo, ruim ou regular, 26,60% foram considerados bons e nenhum foi considerado ótimo. Os autores verificaram que 47,68% dos incômodos estão relacionados aos ruídos do pavimento superior, ou seja, os que ficam logo acima, 34,44% relacionam-se com barulhos externos e 12,58% são provenientes dos vizinhos laterais. A conclusão foi que há uma insatisfação generalizada em relação ao conforto acústico. Sheridan e Maluski (2000) salientam que várias das pessoas usuárias se dizem insatisfeitas com a qualidade acústica de suas residências, mesmo quando expostos aos níveis sonoros permitidos pela legislação.

Em pesquisa na cidade de Porto Alegre, identificou as preferências dos compradores de imóveis residenciais de três dormitórios, com peças que variavam entre 75 e 250 mil reais. Dentro de uma lista de 12 itens, o atributo mais procurado pelos clientes foi a orientação solar, com 76,1% de frequência de ocorrência, seguida pela localização, com 75,0% e pela presença de elevador no edifício, com 72,7%. Os atributos menos procurados foram a presença de gás central, com 50% de ocorrência, seguido pela vaga de estacionamento, com 54,3%. O isolamento acústico apareceu na pesquisa como o 9º atributo mais procurado, com 56,6% de preferência (GONZAGA 2003 apud POLLI 2007).

Polli (2007) ainda conclui que existe sim uma grande procura dos consumidores por alguns itens, como: espaços amplos, orientação solar e localização, porém, é visível que o isolamento acústico está entre os itens mencionados, embora seu posicionamento não permita percebê-lo como necessário, mas já revela uma preocupação dos usuários com esse assunto.

2.5 NBR 15575/2013

A sucessão de normas ABNT NBR 15575 – Edificações Habitacionais — Desempenho, de acordo com sua última versão, essa que entrou em vigor em julho de 2013, estabeleceu as condições e os parâmetros de desempenho para edificações habitacionais, livre da forma do edifício e dos seus sistemas que fora construído e seus materiais que os constituem, baseando-se nas necessidades principais dos usuários. (CBIC, 2013)

As normas, ABNT NBR 15575:2013 foram publicadas como um grupo normativo que assimila seis partes descritas, tendo a primeira como relacionado a requisitos gerais e as outros referentes aos sistemas estruturais, aos sistemas de pisos, aos sistemas de vedações verticais internas e externas, aos sistemas de coberturas e sistemas hidros sanitários, respectivamente. Vários outros elementos e sistemas construtivos não estiveram relacionada diretamente, considerados no atual estágio da norma. (CBIC, 2013)

A ABNT NBR 15575:2013 determina os seguintes pontos que os usuários exigem em edifícios habitacionais:

- Segurança estrutural;
- Segurança contra o fogo;
- Segurança no uso e na operação;
- Estanqueidade;
- Desempenho térmico;
- Desempenho acústico;
- Desempenho a luminosidade;
- Saúde;
- Higiene e qualidade do ar;
- Funcionalidade e acessibilidade;
- Conforto tátil e antropodinâmico;
- Durabilidade;
- Manutenibilidade;
- Impacto ambiental.

O auxílio as exigências e aos critérios relativos a tais pontos pode ser interpelado por consumidores a qualquer instante, caso venha a ter alguma dúvida ou discussão sobre a

qualidade construtiva do edifício e o cumprimento de obrigações pelos agentes participantes, a comprovação pode ser indispensável. (CBIC, 2013)

A avaliação do desempenho de edificações de acordo com o descrito na ABNT NBR 15575:2013 requer o controle de toda a base de conhecimentos científicos sobre cada aspecto utilitário da obra, sobre materiais e técnicas de métodos construtivos, bem como sobre as diferentes condições de usuários em condições mais diversas de uso. Os métodos de avaliação acordados são considerados em detrimento a realização de ensaios em laboratórios e ensaios em campo, averiguações em protótipos ou em campo, simulações e análise de projetos. (ABNT, 2013)

De acordo com Pereira (2018), o anexo E da NBR 15575/2013-3 indica os valores para classificar o desempenho acústico de ruído de impacto oferecido pelos pisos, sabendo que: (M) mínimo; (I) Intermediário e (S) Superior, sendo que o valor mínimo (M) é o valor exigido. Os valores mínimos de desempenho do sistema de piso avaliado são indicados na Tabela 1.

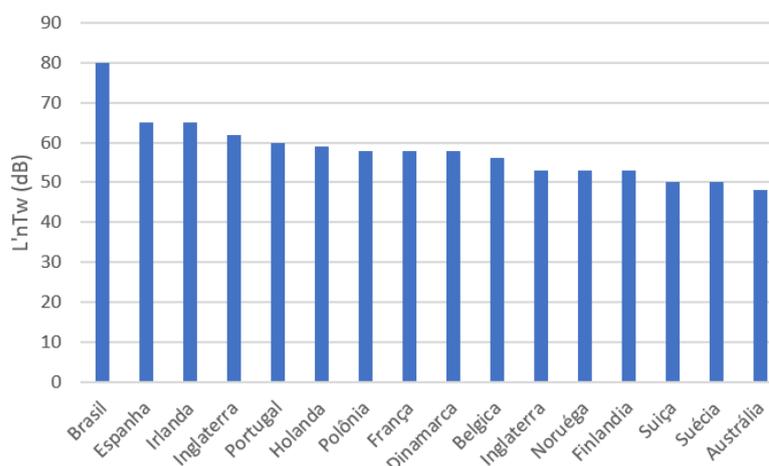
Tabela 1 - Valores mínimos de desempenho de sistema de piso

Elemento	L'_{nTw} (dB)	Nível de desempenho
Sistemas de pisos separando unidades habitacionais autônomas posicionadas em pavimentos distintos	66 a 80	M
	56 a 65	I
	≤ 55	S
Sistema de piso de áreas de uso coletivo (atividades de lazer e esportivas, <i>como home theater</i> , salas de ginásticas, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestuários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas) sobre unidades habitacionais autônomas	51 a 55	M
	46 a 50	I
	≤ 45	S

Fonte: Adaptado de NBR 15575-3 (2013)

Pereira (2018) ainda destaca que limite de tolerância para ruído de impacto visto na NBR 15575/2013, que é de 80 dB, não é o mesmo exigido em países que tem o agente de ruído, e comparado ao Brasil, alguns países europeus tem o seu limite de tolerância de ruído de impacto muito menor de acordo com a Figura 5.

Gráfico 1- Comparação entre Brasil e alguns países quanto aos valores de nível de pressão sonora de impacto padronizado



Fonte: Borges (2015) apud (RASMUSSEN, 2010)

2.6 Lajes Pré-Moldadas

As lajes pré-moldadas inicialmente surgiram para facilitar o desenvolvimento da obra das edificações, pois agiliza o processo e torna a estrutura mais leve. Outro fator beneficiado com esse tipo de processo construtivo foi o custo, por levar menos material e menos tempo de produção, os custos de produção são diminuídos.

As lajes pré-moldadas protendidas surgiram da necessidade de se reduzir o peso próprio do elemento e, dessa forma, reduzir o custo de fabricação e o preço de venda, permitindo seu uso em grandes vãos. Por sua composição ser mais leve, sua estrutura ser menos densa, mas ter quase a mesma eficiência dos outros tipos de lajes, as empresas buscam nesse modelo construtivo um baixo custo no desenvolvimento dos projetos (COSTA, 2009, p. 1, 19).

Dito isso, as lajes pré-fabricadas vão sendo utilizadas em diferentes tipos de edifícios construtivos. “Ainda não existe no Brasil uma normalização específica que oriente a padronização do projeto ou mesmo estabeleça os critérios necessários de desempenho para a realização de ensaios de controle de qualidade, visando a certificação desses produtos” (COSTA 2009, p. 1-2).

“O controle da fissuração é importante para vários aspectos, dentre eles, a segurança da estrutura, as condições da funcionalidade, estética, desempenho, durabilidade e impermeabilidade” (SILVA, 2003, p. 80).

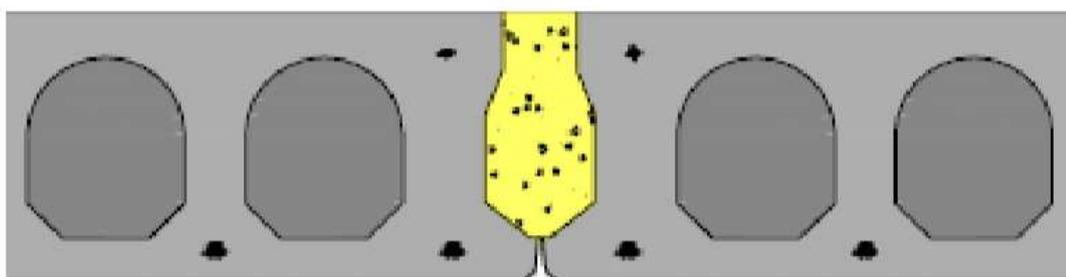
2.6.1 Características Construtivas

A laje pré-fabricada tem como característica a junção de placas pelos lados laterais, fazendo assim sua conexão por meio de acabamento que venha selar essa conexão, esse tipo de laje apresentam perfurações.

Na laje alveolar ocorre a união de duas placas, na qual apenas as faces inferiores entram em contato, resultando no surgimento de um chanfro entre as peças, o qual necessita de um acabamento da face inferior. As faces superiores das placas, por sua vez, ficam afastadas entre si, permitindo a passagem do concreto para uma melhor transferência de tensões (TATU PRÉ-MOLDADOS 2008, p. 5).

Na Figura 6 é observado o detalhe da junção em seu aspecto construtivo.

Figura 5 - Junção entre placas



Fonte: Tatu Pré-Moldados (2018)

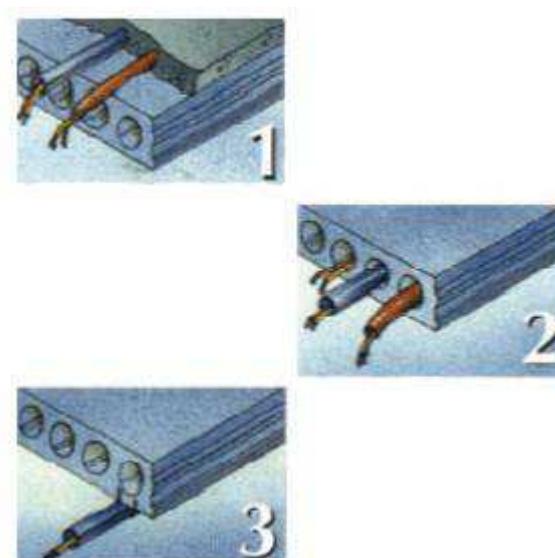
Bastos (2005, p. 43) explica que “as lajes alveolares protendidas pré-fabricadas como sendo um conjunto de painéis protendidos pré-fabricado, que possuem alvéolos e são montados por justaposição lateral”. E segundo Tatu Pré-moldados (2008, p. 1), “esse tipo de laje tem uma seção transversal com altura constante e alvéolos longitudinais, responsável pela redução do peso da peça”.

Para Petrucelli (2009, p. 19), “os esforços são suportados pela armação em aço protendido no sentido longitudinal e pela resistência à tração de concreto no sentido transversal, já que não há armadura nessa direção”.

A alternativa de execução de furos nas lajes pré-moldadas, é permitido a passagem de alguns equipamentos, sendo eles as instalações hidráulicas e elétricas, passando pelos furos, sem que implique na danificação da estrutura. Na Figura 7 é demonstrado uma fiação em diferentes métodos de posição em uma laje pré-moldada. “O tamanho dos alvéolos difere de

acordo com a espessura e a geometria dos painéis, ou seja, quanto menor for a espessura da laje, maior será a quantidade de alvéolos e, conseqüentemente, menor será o seu diâmetro” (PETRUCELLI, 2009, p. 32).

Figura 6 - Formas de tubulações para passagem de fios – 1- Sobre os painéis; 2- Dentro dos alvéolos; 3- Sob os painéis



Fonte: Villar (2002)

2.6.2 Produção de uma Laje Pré-Moldada

Segundo Petrucelli (2009, p. 20), “o sistema de produção de lajes alveolares pré-fabricados pode ser definido como um processo linear, em que o produto é fabricado de uma forma contínua”. O autor continua acrescentando que, o ciclo da produção tem-se fim na estocagem das lajes em fábrica, que adiante são deslocadas para a obra.

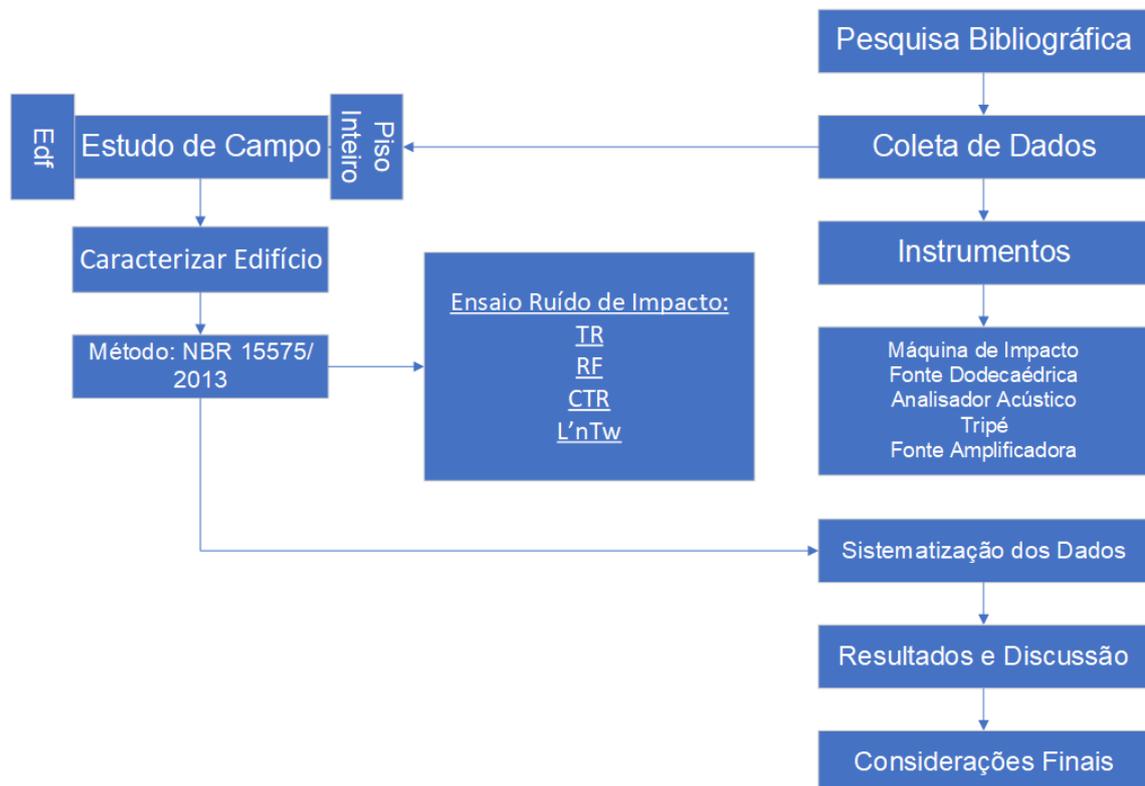
Mesmo com um custo inicial desses sistemas que utilizam as lajes pré-fabricadas ser maior, esse tipo de laje proporciona uma vantajosa economia no custo final das obras, com um rápido retorno de investimentos e agilizando a obra, pois a forma de produção é mais rápida e limpa (EL DEBS, 2000).

3 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento desse trabalho foi utilizado como base uma pesquisa na literatura referente ao tema abordado, coleta de dados nos locais onde foram realizados os experimentos, os ensaios para obtenção do L'_{nTw} , a sistematização dos dados a partir do software Excel. A partir do indicador de desempenho (L'_{nTw}) foram feitas relações com os padrões construtivos obtidos na coleta de dados.

Dito isto, a metodologia desenvolvida neste trabalho segue as ideias de Pereira (2018), conforme ilustra a Figura 8.

Figura 7 - Esquema metodológico utilizado para desenvolvimento da pesquisa



Fonte: Adaptado de Pereira (2018)

3.1 Pesquisa Bibliográfica

Na elaboração desse trabalho de conclusão de curso foram realizadas pesquisas bibliográficas, o qual foram concentradas as questões que são relativas ao processo metodológico, considerando os aspectos das leis e normas técnicas vigentes no Brasil relativas ao desempenho de ambientes construtivos e edifícios. Dito isto, esse modelo de pesquisa não permite generalizações, porém permite conhecer de uma forma mais detalhada as situações pertinentes ao estudo de caso, podendo afirmar, que segundo Godoy (1995b, p.25), “a investigação do fenômeno que se quer estudar dentro do seu contexto real, utilizando-se múltipla fonte de evidências.”

3.2 Coleta de Dados

Os dados dessa pesquisa foram coletados entre 2017 e 2018 em dois edifícios em construção localizados na cidade de João Pessoa-PB. Foi realizado um teste de ruído de impacto em cada edifício selecionado. Para caracterizar os edifícios foram necessários coletar os seguintes dados *in loco*:

- Tipo forro e sua espessura;
- Tipo de laje e sua espessura
- Tipo do contra piso e sua espessura;
- Tipo de revestimento e sua espessura;
- Área do ambiente estudado (recepção e emissão);
- Volume do ambiente estudado (recepção e emissão);
- Altura do pé direito.

3.3 Instrumentos

Para realização dos experimentos foram utilizados, conforme a NBR 15575/2013, os seguintes equipamentos:

- Máquina de impactos padronizada B&K modelo 3207;
- Analisador de ruído B&K modelo 2270 colocado em altura variável - em conformidade com o pé direito da câmara de recepção e com o tipo de laje, uma vez

que a distância entre o piso do pavimento superior e o microfone no pavimento inferior deve ser 1,0 m;

- Calibrador de analisador B&K;
- Fonte de ruído dodecaédrica B&K;
- Amplificador para fonte de ruído B&K;

Os equipamentos utilizados para realização dos experimentos foram cedidos pelo programa de pós-graduação da Universidade Federal da Paraíba (UFPB).

Na Figura 9 é observado a máquina de impacto (martelo), esse equipamento fica localizado no ambiente emissor, produzindo ruído de impacto. A utilização desse equipamento é descrita como: O ensaio consiste basicamente em excitar a laje na sala da fonte com um aparato normalizado denominado máquina de impacto, do inglês *tapping machine*. Ela é composta por cinco pequenos marteletes de 0,5 kg cada um, que são liberados em queda livre de uma altura de 4 cm, a uma taxa de dez impactos por segundo. O efeito dessa excitação mecânica no piso é bem maior do que o efeito de pisadas, mas esse recurso é extremamente necessário para se obter um nível de pressão sonora de impacto adequado na sala de recepção (BRÜEL & KJÆR, 1988).

Figura 8 - Máquina de impactos padronizada B&K modelo 3207



Fonte: Brüel & Kjær (2018)

Na Figura 10 observa-se o analisador de ruído, responsável por fazer as leituras de ruído de fundo, impacto e reverberação, esse equipamento é movimentado pelo operador pelos pontos pré-estabelecidos.

Figura 9 - Analisador de ruído B&K modelo 2270



Fonte: Brüel & Kjær (2018)

A Figura 11 demonstra a caixa de som responsável por emitir ruído, esse ruído auxilia na medição da reverberação do ambiente.

Figura 10 - Fonte de ruído dodecaédrica B&K (Fonte omnidirecional)



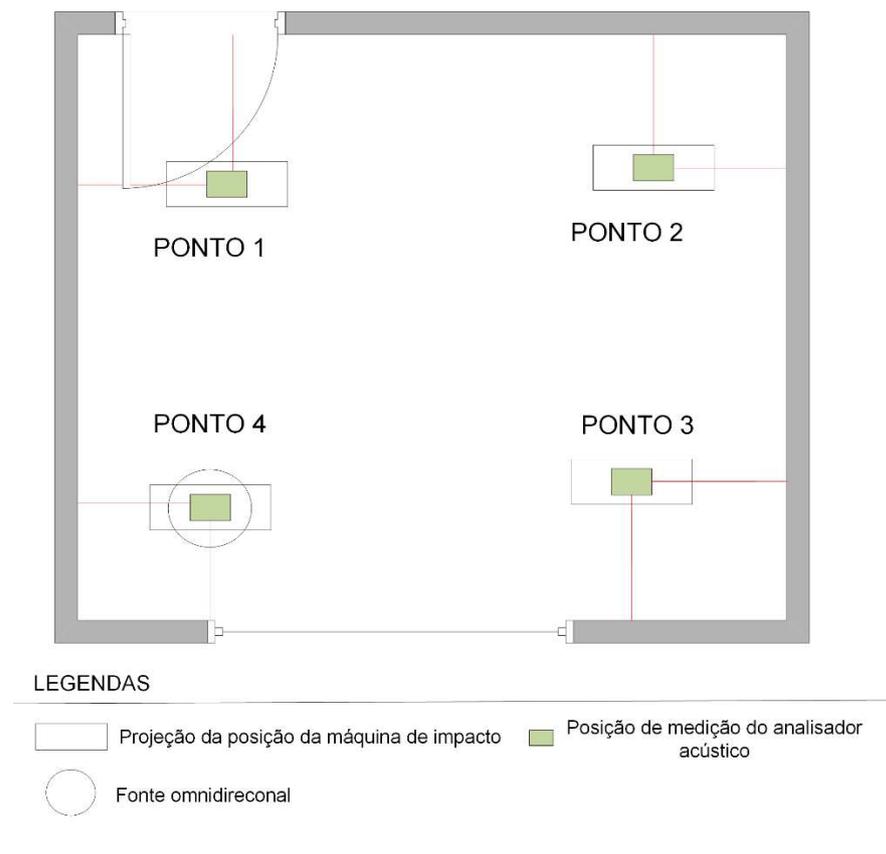
Fonte: Brüel & Kjær (2018)

De acordo com a ISO 717-2:2013 foi determinado o nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado (L'_{nTw}) em dB do ambiente com laje maciça e no ambiente com laje pré-moldada. A comparação dos resultados foi obtida a partir dos resultados em campo dos níveis de pressão sonora de impacto padronizado ponderado, esses resultados mostram parâmetros positivos e negativos de cada estrutura. Com isso é possível classificar os resultados em função dos níveis de desempenho de acordo com NBR 15575-3 em (mínimo, intermediário e superior), assim fazendo a comparação.

3.4 Ensaios em Campo

O método utilizado para realizar os ensaios em campo foi Método de engenharia, (item 12.2.1.1 NBR 15575-3, 2013. As dimensões dos pontos de localização dos equipamentos (Analisador de Ruído, Projeção da Máquina de Impactos e Fonte de Ruído Dodecaédrica) nos pavimentos de recepção e emissão são iguais. Na Figura 12 é demonstrado a posição dos pontos de localização dos equipamentos tanto na câmara de recepção quanto na câmara de emissão.

Figura 11 – Exemplo de câmara de recepção

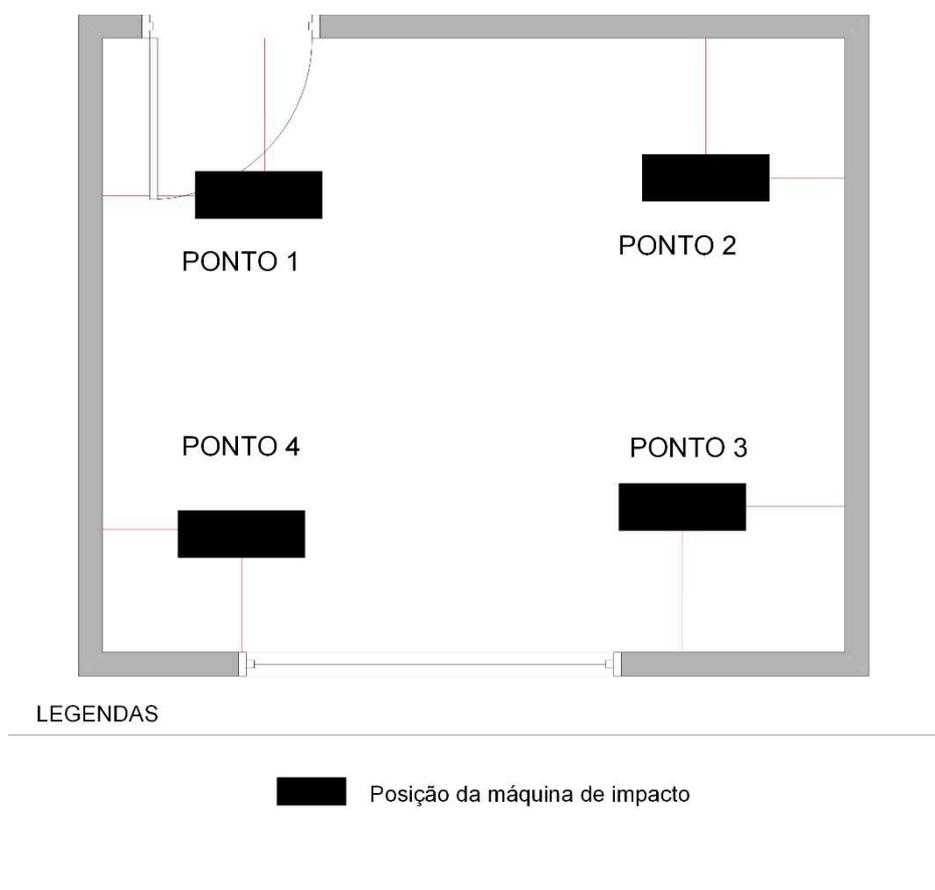


Fonte: O Autor (2018)

Na Figura 12 também é ilustrado a posição dos equipamentos de medições, onde há uma fonte de ruído dodecaédrica (Fonte Omnidirecional) de forma fixa no ponto 4 e o analisador acústico se move em um determinado intervalo de tempo pelos pontos 1,2 e 3 fazendo as medições de reverberação. Esse ensaio é feito na câmara de recepção. Também é observado na Figura 12 a projeção da máquina de impacto que está na câmara superior (câmara de Emissão).

A ilustração observada na Figura 13 demonstra a movimentação feita pela máquina de impacto, onde em um tempo determinado pelo analisador acústico define a mudança de sua posição. A máquina de impacto se move do ponto 1 ao ponto 4 nessa ordem. Esse ensaio é feito no pavimento de emissão, logo acima da câmara de recepção.

Figura 12 – Exemplo de câmara de emissão



Fonte: O Autor (2018)

Os pontos de localização dos equipamentos são medidos a partir da parede, os pontos no pavimento de recepção possuem as mesmas dimensões que na câmara de emissão.

As dimensões, segundo a NBR 15575/2013, são:

Pontos 1, 3: 0,60 x 0,60 m

Pontos 2, 4: 0,50 x 0,50 m

Na câmara de recepção se encontra o analisador acústico, onde esse fará a medição do ruído emitido pela máquina de impacto localizada na câmara acima (emissão). A cada

ponto em que o analisador se encontra a máquina de impacto irá se mover em seus 4 pontos no pavimento de emissão, e assim é repetido nos outros 3 pontos.

3.5 Sistematização os Dados

A sistematização dos dados coletados nos ensaios foi feita a partir da tabulação no software desenvolvido no Excel. Os dados coletados nos ensaios de reverberação, ruído de fundo e ruído de impacto são inseridos no software com o objetivo de calcular o L_{nTW} .

3.5.1 Telas de Tabulação do Ensaio de Reverberação

As Figuras 14, 15, 16 e 17 formam a tala do software responsável por receber os dados coletados nos ensaios de reverberação. Na Figura 14 são inseridos os dados contidos no analisador acústico.

Figura 13 - Tela de inserção dos dados do ensaio de reverberação

ENSAIO DE REVERBERAÇÃO			Quarto2			apto 2403			medição correspondente ao quarto suite do apartamento de trás			
PROJ 333	POS1	MED1	POS1	MED2	POS2	MED1	POS2	MED2	POS3	MED1	POS3	MED2
	FREQ	T20	T30	FREQ	T20	T30	FREQ	T20	T30	FREQ	T20	T30
	50			50			50			50		
	63			63			63			63		
	80			80			80			80		
	100			100			100			100		
	125			125			125			125		
	160			160			160			160		
	200			200			200			200		
	250			250			250			250		
	315			315			315			315		
	400			400			400			400		
	500			500			500			500		
	630			630			630			630		
	800			800			800			800		
	1000			1000			1000			1000		
	1250			1250			1250			1250		
	1600			1600			1600			1600		
	2000			2000			2000			2000		
	2500			2500			2500			2500		
	3150			3150			3150			3150		
	4000			4000			4000			4000		
	5000			5000			5000			5000		

Fonte: O Autor (2018)

Na Figura 15, o software faz o primeiro cálculo das médias dos dados inseridos na Figura 14.

Figura 14 - Tela de médias do ensaio de reverberação

POS1 MED1		POS1 MED2		POS2 MED1		POS2 MED2		POS3 MED1		POS3 MED2	
FREQ	Mi20-t30										
50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0
63	0	63	0	63	0	63	0	63	0	63	0
80	0	80	0	80	0	80	0	80	0	80	0
100	0	100	0	100	0	100	0	100	0	100	0
125	0	125	0	125	0	125	0	125	0	125	0
160	0	160	0	160	0	160	0	160	0	160	0
200	0	200	0	200	0	200	0	200	0	200	0
250	0	250	0	250	0	250	0	250	0	250	0
315	0	315	0	315	0	315	0	315	0	315	0
400	0	400	0	400	0	400	0	400	0	400	0
500	0	500	0	500	0	500	0	500	0	500	0
630	0	630	0	630	0	630	0	630	0	630	0
800	0	800	0	800	0	800	0	800	0	800	0
1000	0	1000	0	1000	0	1000	0	1000	0	1000	0
1250	0	1250	0	1250	0	1250	0	1250	0	1250	0
1600	0	1600	0	1600	0	1600	0	1600	0	1600	0
2000	0	2000	0	2000	0	2000	0	2000	0	2000	0
2500	0	2500	0	2500	0	2500	0	2500	0	2500	0
3150	0	3150	0	3150	0	3150	0	3150	0	3150	0
4000	0	4000	0	4000	0	4000	0	4000	0	4000	0
5000	0	5000	0	5000	0	5000	0	5000	0	5000	0

Fonte: O Autor (2018)

Na Figura 16 é feito outro cálculo das médias com os valores obtidos na tela representada pela Figura 15.

Figura 15 - Segunda tela de médias do ensaio de reverberação

POS1 MED		POS2 MED		POS3 MED	
FREQ	med1,med2	FREQ	med1,med2	FREQ	med1,med2
50		50		50	
63		63		63	
80		80		80	
100		100		100	
125		125		125	
160		160		160	
200		200		200	
250		250		250	
315		315		315	
400		400		400	
500		500		500	
630		630		630	
800		800		800	
1000		1000		1000	
1250		1250		1250	
1600		1600		1600	
2000		2000		2000	
2500		2500		2500	
3150		3150		3150	
4000		4000		4000	
5000		5000		5000	

Fonte: O Autor (2018)

A Figura 17 representa o resultado do cálculo de todas as médias calculadas na Figura 16.

Figura 16 - Resultado das médias calculadas

MED	Final	
FREQ		
50	0,0	
63	0,0	
80	0,0	Média dividida por 0,5
100	0,0	0,0
125	0,0	0,0
160	0,0	0,0
200	0,0	0,0
250	0,0	0,0
315	0,0	0,0
400	0,0	0,0
500	0,0	0,0
630	0,0	0,0
800	0,0	0,0
1000	0,0	0,0
1250	0,0	0,0
1600	0,0	0,0
2000	0,0	0,0
2500	0,0	0,0
3150	0,0	0,0
4000	0,0	
5000	0,0	

Fonte: O Autor (2018)

3.5.2 Telas de Tabulação do Ensaio de Ruído de Fundo

A Figura 18 representa a tela do software responsável por receber os dados coletados nos ensaios de ruído de fundo. Dessa forma, são inseridos os dados contidos no analisador acústico para que seja calculado.

Figura 17 - Representação da tela de inserção dos dados de ruído de fundo

Captação de Ruído de Fundo				obs: em ambos os casos, o ruído de fundo deu inferior em mais de 10 dB com as medições; verificar os dados no analisador	
Projeto 572 - ruído de fundo - quarto 1				obs de outro ensaio! Anotado pelo prof roberto	
Tempo:	5 min			aplicar fórmula para cada frequência	
Início:					
		Lzeq (no frequency weighting)		L'nT=Li - 10 Log (T/T0)dB	
Laeq:	42,6	FREQ		52,8	
LEpico:	83,8	50	48,4		
LAF90:	38,3	63	46,5	Li =	Média dos ruídos de impacto
LCpico:	83,8	80	42,6	T =	Tempo de reverb medido (média das medições de reverb)
LAFmax:	62,8	100	40,6	T0 =	Referência (0,5 segundos)
LAFmin:	35,8	125	37,2	L'nT =	Nível de ruído de impacto padronizado, em dB
LCeq:	53,3	160	36,8		
		200	35,4		
		250	34,0		
		315	32,1		
		400	34,3		
		500	35,5		
		630	35,0		
		800	33,2		
		1000	32,6		
		1250	33,4		
		1600	31,1		
		2000	29,8		
		2500	27,6		
		3150	26,5		
		4000	26,1		
		5000	24,6		
				61,0	resultado do ruído de impacto

Fonte: O Autor (2018)

3.5.3 Telas de Tabulação de Ensaio de Ruído de Impacto

As Figuras 19, 20, 21, 22 e 23 formam a tela do software responsável por receber os dados coletados nos ensaios referentes ao ruído de impacto. As Figuras 19 e 20 formam a primeira parte que receberá os dados contidos no analisador acústico.

Figura 18 - Telas de inserção dos dados de ruído de impacto (Posição 1 e Posição2)

Ruído de Impacto Q2 - suite apto 2403 (apto de trás)											
Projeto: 348						Projeto: 336					
POS1	MED1	POS1	MED2	POS1	MED3	POS2	MED1	POS2	MED2	POS2	MED3
FREQ		FREQ		FREQ		FREQ		FREQ		FREQ	
50		50		50		50		50		50	
63		63		63		63		63		63	
80		80		80		80		80		80	
100		100		100		100		100		100	
125		125		125		125		125		125	
160		160		160		160		160		160	
200		200		200		200		200		200	
250		250		250		250		250		250	
315		315		315		315		315		315	
400		400		400		400		400		400	
500		500		500		500		500		500	
630		630		630		630		630		630	
800		800		800		800		800		800	
1000		1000		1000		1000		1000		1000	
1250		1250		1250		1250		1250		1250	
1600		1600		1600		1600		1600		1600	
2000		2000		2000		2000		2000		2000	
2500		2500		2500		2500		2500		2500	
3150		3150		3150		3150		3150		3150	
4000		4000		4000		4000		4000		4000	
5000		5000		5000		5000		5000		5000	

Fonte: O Autor (2018)

Figura 19 - Telas de inserção dos dados de ruído de impacto (Posição 3 e Posição 4)

Projeto: 337				Projeto: 338									
POS3	MED1	POS3	MED2	POS3	MED3	POS4	MED1	POS4	MED2	POS4	MED3	POS4	MED4
FREQ		FREQ		FREQ		FREQ		FREQ		FREQ		FREQ	
50		50		50		50		50		50		50	
63		63		63		63		63		63		63	
80		80		80		80		80		80		80	
100		100		100		100		100		100		100	
125		125		125		125		125		125		125	
160		160		160		160		160		160		160	
200		200		200		200		200		200		200	
250		250		250		250		250		250		250	
315		315		315		315		315		315		315	
400		400		400		400		400		400		400	
500		500		500		500		500		500		500	
630		630		630		630		630		630		630	
800		800		800		800		800		800		800	
1000		1000		1000		1000		1000		1000		1000	
1250		1250		1250		1250		1250		1250		1250	
1600		1600		1600		1600		1600		1600		1600	
2000		2000		2000		2000		2000		2000		2000	
2500		2500		2500		2500		2500		2500		2500	
3150		3150		3150		3150		3150		3150		3150	
4000		4000		4000		4000		4000		4000		4000	
5000		5000		5000		5000		5000		5000		5000	

Fonte: O Autor (2018)

As Figuras 21 e 22 representam as médias obtidas a partir dos dados inseridos nas tabelas representadas nas Figuras 19 e 20.

Figura 20 - Médias referentes aos dados de ruído de impacto (Posição 1 e Posição 2)

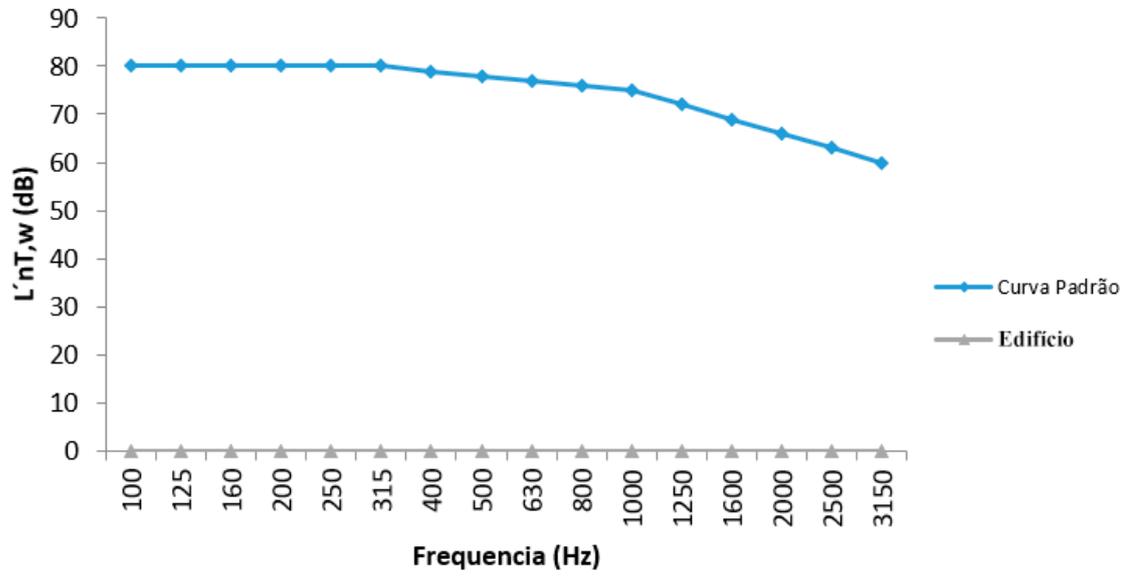
MÉDIA Li POS1		MÉDIA Li POS2	
FREQ		FREQ	
50	0	50	0
63	0	63	0
80	0	80	0
100	0	100	0
125	0	125	0
160	0	160	0
200	0	200	0
250	0	250	0
315	0	315	0
400	0	400	0
500	0	500	0
630	0	630	0
800	0	800	0
1000	0	1000	0
1250	0	1250	0
1600	0	1600	0
2000	0	2000	0
2500	0	2500	0
3150	0	3150	0
4000	0	4000	0
5000	0	5000	0

Fonte: O Autor (2018)

Figura 22 - Tabela que representa as médias finais

MÉDIA Li FINAL	
FREQ	
50	0,0
63	0,0
80	0,0
100	0,0
125	0,0
160	0,0
200	0,0
250	0,0
315	0,0
400	0,0
500	0,0
630	0,0
800	0,0
1000	0,0
1250	0,0
1600	0,0
2000	0,0
2500	0,0
3150	0,0
4000	0,0
5000	0,0

Fonte: O Autor (2018)

Gráfico 2 - Representação do gráfico da curva padrão

Fonte: O Autor (2018)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Descrição dos Edifícios

Os dois edifícios foram construídos sem materiais resilientes entre contra piso e a laje estrutural, logo não possui sistema de piso flutuante.

4.1.1 Edifício 1

A câmara de estudo no edifício 1, tanto a câmara de emissão como a de recepção são os dormitórios do apartamento em questão, eles possuem as mesmas características construtivas, as câmaras no momento dos ensaios estavam sem mobiliário, ou seja, estavam vazias.

As características técnicas – construtivas observadas neste edifício foram: Forro em gesso, esquadrias (janelas em alumínio com vidros do tipo correr), este edifício possui suas portas em madeiras e janelas em vidro.

O edifício 1 apresenta as seguintes características:

- Construídos com lajes pré-moldadas;
- O forro é constituído em gesso;
- Não possuem piso flutuante;
- Possuem os mesmos revestimentos (cerâmico);
- Possuem a mesma espessura de contra piso (5 cm);
- Espessura da laje (14 cm).

A Tabela 2 descreve as características da câmara de recepção e emissão que foi objeto desse estudo.

Tabela 2 - Características construtivas do edifício 1

		F	A	V	PD
		cm	m ²	m ³	m
Edifício 1	Recepção	20	6,81	17,03	2,50
	Emissão	20	6,81	17,03	2,50

Fonte: O Autor (2018)

Legenda:

F – Distância do forro de gesso até a laje estrutural;

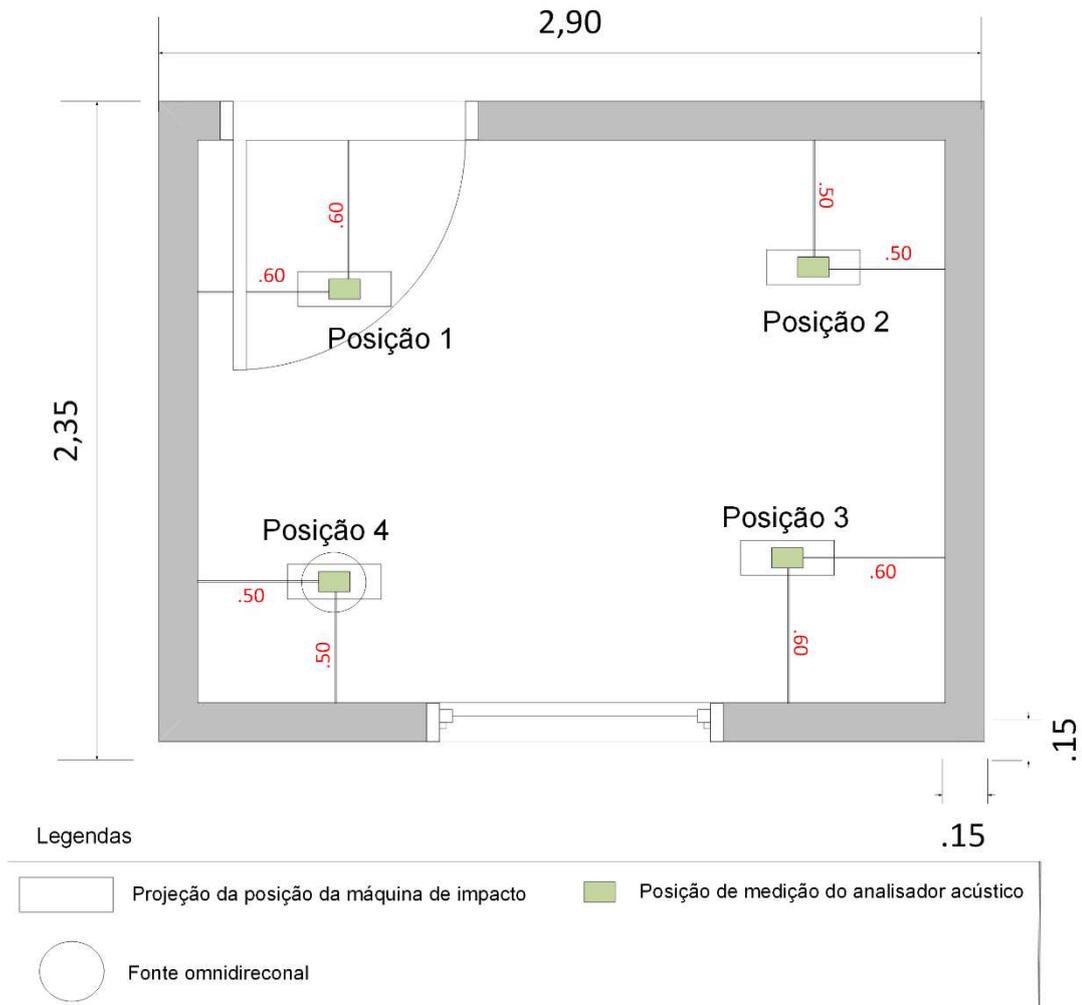
A – Área o ambiente de estudo;

V – Volume do ambiente de estudo;

PD – Pé Direito.

Na Figura 26 observa-se a definição dos pontos onde foram posicionados os equipamentos. Também é observado a largura e o comprimento da câmara estudada, 2,90 x 2,35 m, a espessura das paredes do pavimento é de 0,15 m. Apesar da representação do croqui apresentar a porta aberta, a NBR 15575-2013 salienta que a câmara em estudo tem que está totalmente isolado pelas esquadrias.

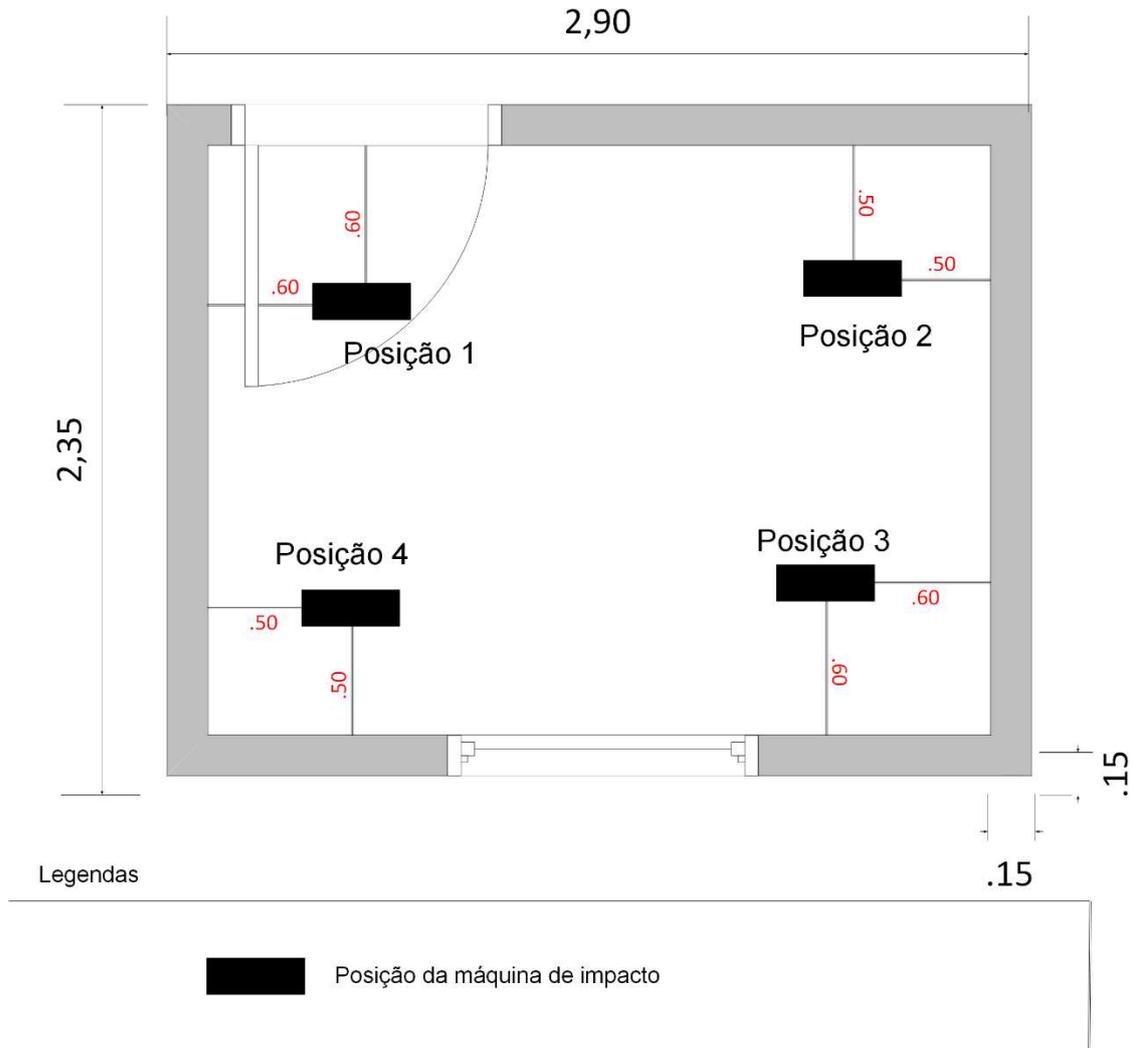
Figura 24 - Croqui da câmara de recepção do edifício 1



Fonte: O Autor (2018)

A Figura 27 apresenta o croqui da câmara de emissão, nessa câmara foram definidos os quatro pontos onde foi posicionado a máquina de impacto. A câmara de emissão fica acima da câmara de recepção e possui largura e comprimento referente a 2,90 x 2,35 m, com 0,15 m de espessura de parede.

Figura 25 - Croqui da câmara de emissão do edifício 1

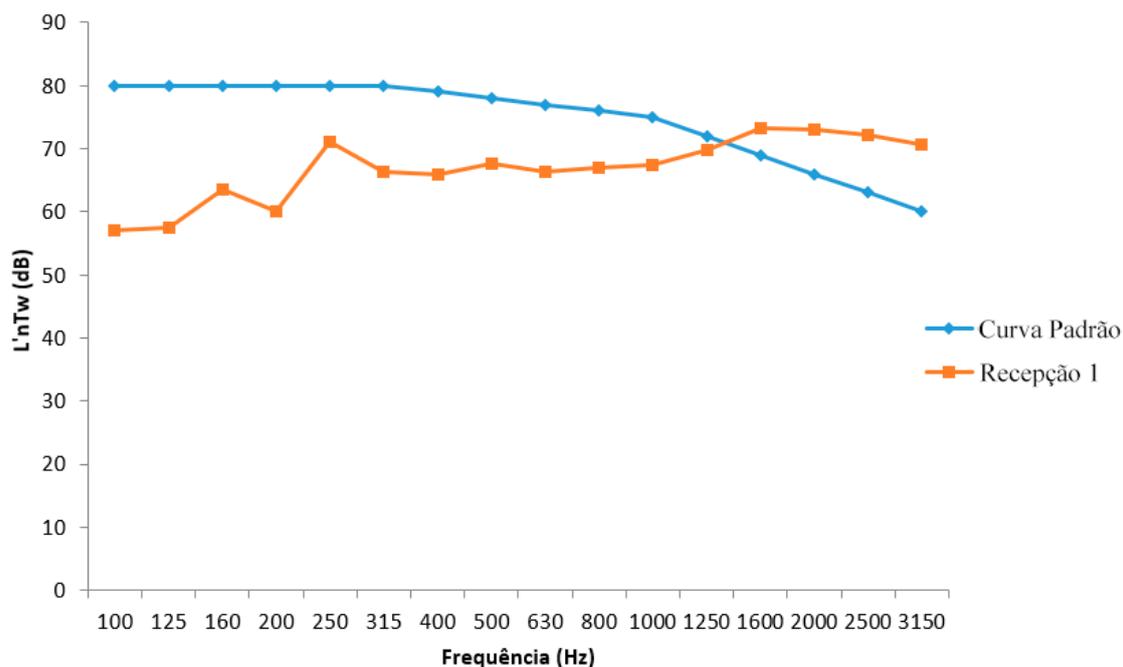


Fonte: O Autor (2018)

O edifício 1 atingiu o nível de ruído de impacto padronizado ponderado de 78 dB, esse valor de L_{nTW} de acordo com a NBR 15575/2013 obteve o limite de desempenho mínimo. O ruído de fundo desse edifício (L_{Aeq}) foi de 43,2 dB.

O Gráfico 1 representa os valores de ruído de impacto padronizado ponderado em função da frequência (Hz) para o piso do edifício 1.

Gráfico 3 - Valores de ruído de impacto padronizado ponderado em relação a frequência (Hz) para o edifício 1



Fonte: O Autor (2018)

4.1.2 Edifício 2

A câmara de estudo no edifício 2, tanto a câmara de emissão como a de recepção são os dormitórios do apartamento em questão, eles possuem as mesmas características construtivas, as câmaras no momento dos ensaios estavam sem mobiliário, ou seja, estavam vazias.

As características técnicas – construtivas observadas neste edifício foram: Forro em gesso, esquadrias (janelas em alumínio com vidros do tipo correr), este edifício possui suas portas em alumínio com janelas em vidro.

O edifício 2 apresenta as seguintes características:

- Construídos com lajes pré-moldadas;
- O forro é constituído em gesso;
- Não possuem piso flutuante;
- Possuem os mesmos revestimentos (cerâmico);
- Possuem a mesma espessura de contra piso (5 cm);
- Espessura da laje (14 cm).

A Tabela 3 descreve as características dos pavimentos de recepção e emissão que foram objeto desse estudo.

Tabela 3 - Características construtivas do edifício 2

		F	A	V	PD
		cm	m ²	m ³	m
Edifício 2	Recepção	25	7,54	19,22	2,55
	Emissão	25	7,54	19,22	2,55

Fonte: o Autor (2018)

Legenda:

F – Distância do forro de gesso até a laje estrutural;

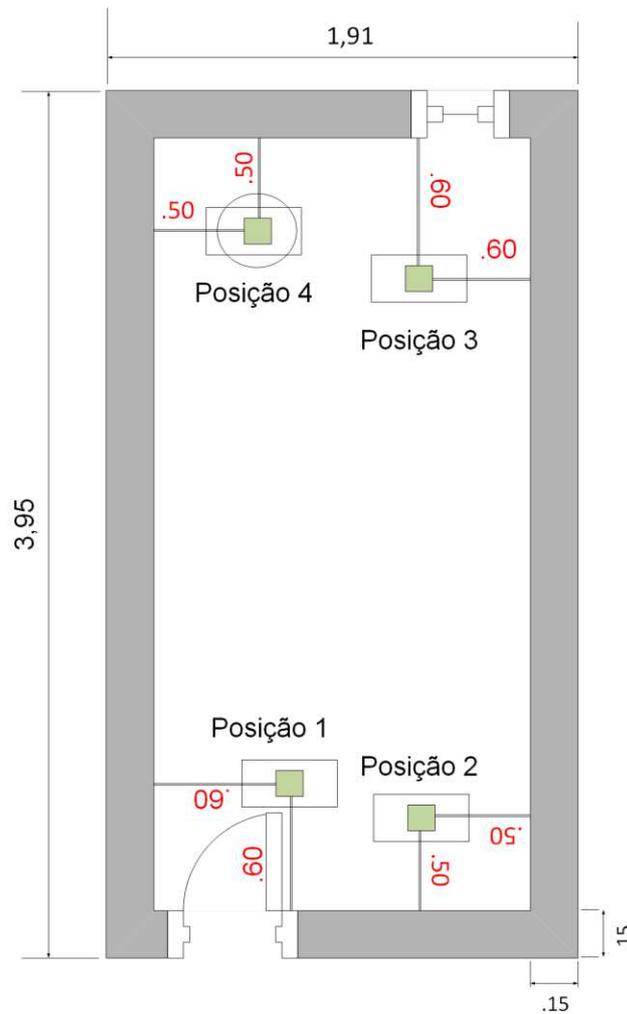
A – Área o ambiente de estudo;

V – Volume do ambiente de estudo;

PD – Pé direito.

Na Figura 28 são definidos os pontos onde foram posicionados os equipamentos. Também foi feito as medições da largura e o comprimento a câmara de estudo, que foram respectivamente 1,91 x 3,95 m e a espessura das paredes da câmara foi de 0,15 m. Apesar da representação do croqui apresentar a porta aberta, a NBR 15575-2013 salienta que a câmara em estudo tem que está totalmente isolado pelas esquadrias.

Figura 26 - Croqui do ambiente de recepção do edifício 2



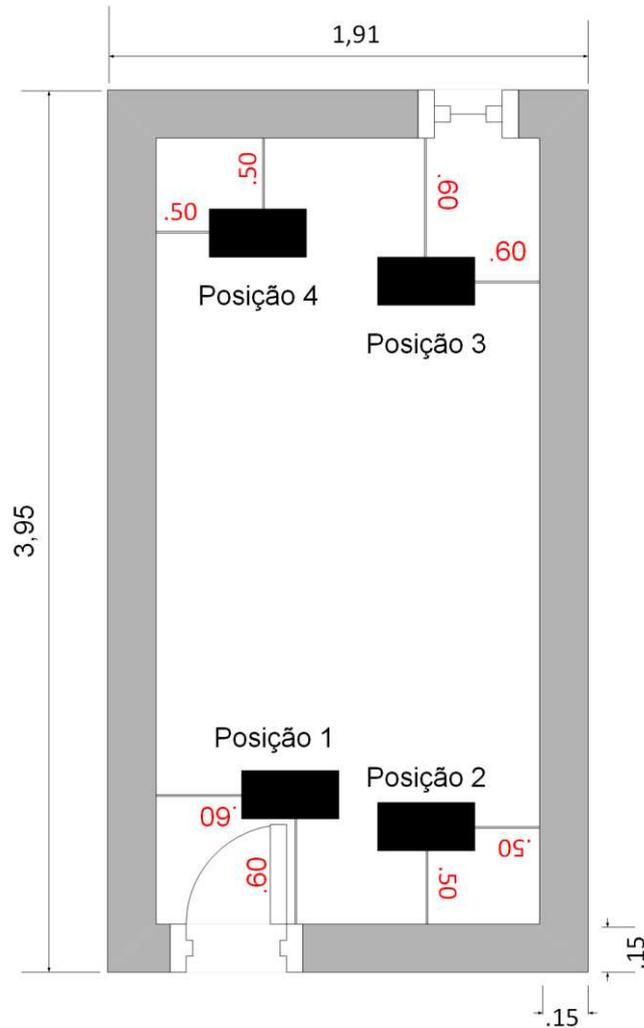
Legendas

	Projeção da posição da máquina de impacto		Posição de medição do analisador acústico
	Fonte omnidirecional		

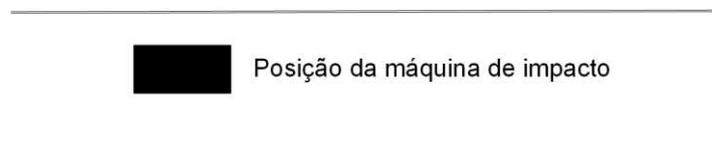
Fonte: O Autor (2018)

A Figura 29 representa o croqui da câmara de emissão, nessa câmara foram definidos os quatro pontos onde foi posicionado a máquina de impacto. A câmara de emissão fica acima da câmara de recepção e possui largura e comprimento referente a 1,91 x 3,95 m, com 0,15 m de espessura de parede.

Figura 27 - Croqui do ambiente de missão do edifício 2



Legendas

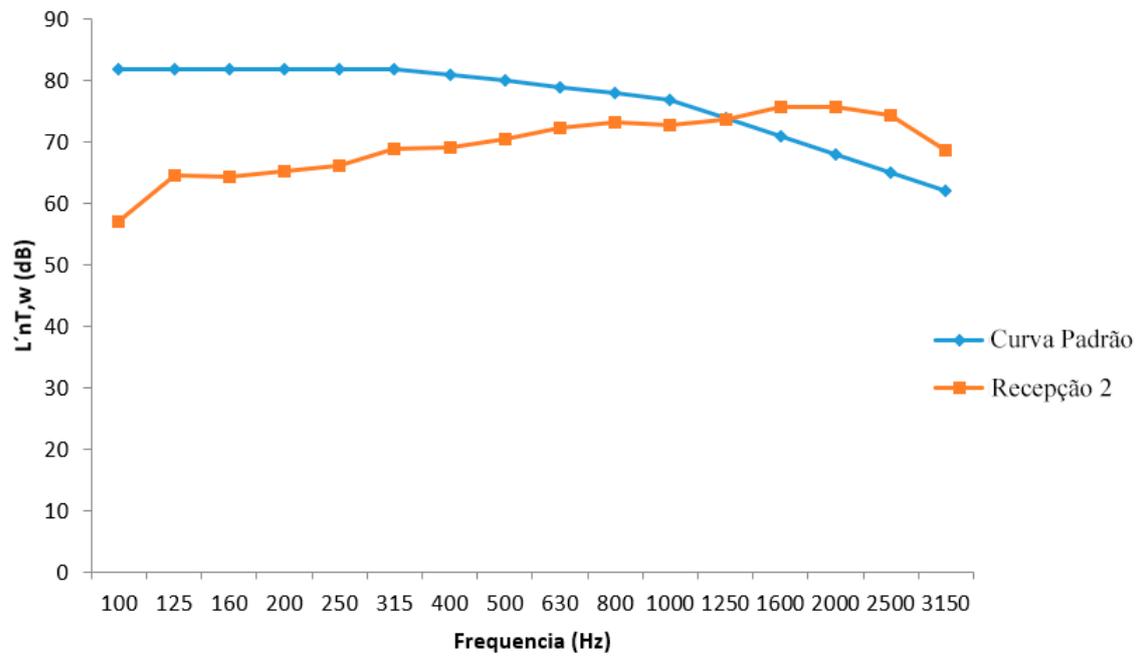


Fonte: O Autor (2018)

O edifício 2 atingiu o nível de ruído de impacto padronizado ponderado de 80 dB, esse valor de L'_{nTw} de acordo com a NBR 15575/2013 também obteve o limite de desempenho mínimo. O ruído de fundo (L_{Aeq}) foi de 43,9 dB.

O Gráfico 2 representa os valores de ruído de impacto padronizado em função da frequência (Hz) para o piso do edifício 2.

Gráfico 4 - Valores de ruído de impacto padronizado em relação a frequência (Hz) para o edifício 2



Fonte: O Autor (2018)

4.2 Enquadramento do Resultado em Relação a Norma 15575/2013

O edifício 1 teve seu nível de ruído de impacto padronizado ponderado, L_{nTw} , de 78 dB e o edifício 2 teve seu nível de ruído de impacto padronizado ponderado, L_{nTw} , de 80 dB. De acordo com a NBR 15575/2013 vale lembrar que os dois edifícios analisados neste trabalho obtiveram um desempenho mínimo em relação ao sistema de piso com laje pré-moldada. A Tabela 4 apresenta as características técnico construtivo dos dois ambientes neste estudo.

Tabela 4 - Características técnico-construtivo dos ambientes estudados

Sistema de Piso	Características do ambiente e sistemas de pisos							L_{nTw} (dB)	Classificação NBR 15575/2013 - 3	
	F	L	CP	R	A	V	PD			
	cm	cm	cm		m ²	m ³	m			
Edifício 1	PNF	G	P	AC	Cerâmico	6,81	17,03	2,5	78	Mínimo (M)
Edifício 2	PNF	G	P	AC	Cerâmico	7,54	19,22	2,55	80	Mínimo (M)
		20	14	5						
		25	14	5						

Fonte: O Autor (2018)

Legenda:

PNF = Piso Não Flutuante, sem material resiliente entre o contra piso e a laje estrutural;

F = Forro Gesso/Madeira/PVC (distância entre forro e laje estrutural em cm);

L = Laje estrutural Nervurada/Maciça/Pré-moldada (espessura total em cm);

CP = Contra Piso Argamassa Comum/Argamassa Especial (espessura) a (vermiculita + cimento); b (vermiculita + asfalto);

R = Revestimento Porcelanato/Cerâmica Vitrificada/Laminado de Madeira (espessura)

A = Área do ambiente de emissão e recepção;

V = Volume do ambiente de emissão e recepção;

PD = Pé Direito.

A partir dos resultados apresentados nesse trabalho, em que as amostras apresentam características construtivas semelhantes, espera-se, que um edifício construído dentro padrões estabelecidos tenha desempenho do sistema de piso entre 78 e 80 dB, portanto, dentro do limite mínimo do estabelecido pela NBR 15575/2013.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O ruído de impacto, objeto de estudo desse trabalho tem importante relevância científica no campo da construção civil. Apesar de ainda ser pouco abordado no Brasil, esse tema tem ganhado espaço devido a cobranças judiciais para o cumprimento das normas regulamentadoras. De acordo com a pesquisa bibliográfica e os resultados encontrados, foi possível chegar aos objetivos mencionados, tendo em vista que os ensaios mostraram parâmetros construtivos para se chegar aos limites mínimos de desempenho acústico de um edifício com tipo de laje pré-moldada.

Nesse trabalho foram realizados ensaios em dois edifícios construídos com tipo de laje pré-moldada, esses ensaios são previstos na ISO 140-7: 1998 - medições de campo para isolamento de ruído de impacto em pisos e são asseguradas na NBR 15575/2013, norma de desempenho. A partir dos resultados obtidos, foi possível confeccionar um quadro comparativo com o que a norma vigente define.

Com base no resultado final, é possível afirmar que edifício 1 obteve o L'_{nTw} , nível de ruído de impacto padronizado ponderado de 78 dB, estando no limite mínimo de desempenho acústico e o edifício 2 com L'_{nTw} , nível de ruído de impacto padronizado ponderado de 80 dB, também no limite mínimo de desempenho acústico. De acordo com esses resultados, um edifício construído com forro em gesso e distância até a laje estrutural de 20 a 25 cm, com laje pré-moldada de 14 cm, piso em argamassa comum de 5 cm com revestimento cerâmico, com a área do ambiente entre 6,81 e 7,54 m², com volume entre 17,03 e 19,22 m³ e pé direito entre 2,50 e 2,55 m, é esperado que o desempenho do sistema de piso esteja entre 78 dB e 80 dB, portanto, dentro do limite mínimo de desempenho, segundo a NBR 15575/2013.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, E. R., CAMPOS, A. C. e MINITI, A. Estudo audiométrico em operários da seção de "teste de motores" de uma indústria automobilística. **Rev. Bras. Otorr.**, 48: 16-28, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edificações Habitacionais – Desempenho Parte 3: Requisitos para os Sistemas de Pisos - Referências - Elaboração. Rio de Janeiro, 2013.

AZEVEDO, A. P., MARATA, T. C. OKAMATO, V. e SANTOS, U. P. **Ruído - Um problema de Saúde Pública**. IN (J. T. Buchinelli, org.), pp. 403-35, Ed. Vozes, Petrópolis, 1994.

BALCONI, Lucas Ruíz. **Novas regras para o setor da construção civil**. Revista Jus Navigandi, ISSN 1518-4862, Teresina, ano 18, n. 3708, 26 ago. 2013. Disponível em: <<https://jus.com.br/artigos/25149>>. Acesso em: 17 dez. 2018.

BASTOS, P. S. S. **Vigas e Lajes de concreto armado**. Bauru: UNESP, 2005. Notas de aula da disciplina de sistemas de estruturas I.

BORGES, Joice Giuliani Krás. **Análise das propriedades acústicas de contrapisos produzidos com materiais reciclados**, 2015. 121.: il. Color.; 30 cm. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em engenharia Civil, 2015.

BRASIL. (11 de setembro de 1990). LEI Nº 8.078, DE 11 DE SETEMBRO DE 1990. **Art. 39 é vedado ao fornecedor de produtos ou serviços, dentre outras práticas abusivas**.

BRASIL. (21 de novembro de 1962). LEI 4.150, DE 21 DE NOVEMBRO DE 1962. Acesso em 13 de dezembro de 2018, disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/1950-1969/L4150.htm>

BRONDANI, S.A. **Pisos flutuantes: análise da performance acústica para ruídos de impacto**. 1999. 65f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, 1999.

BRÜEL & KJÆL. **Measurements in building acoustics**. Dinamarca, 1988.

BRÜEL & KJÆL (Dinamarca) (Ed.). **The sound and vibration specialist**. 1988. Disponível em: <<https://www.bksv.com/en>>. Acesso em: 13 nov. 2018.

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

COSTA, O. O. **Avaliação de desempenho de elementos e lajes alveolares protendidas pré-fabricados**. 2009. 132 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-graduação em construção civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

EL DEBS, M. K. **Concreto pré-moldados: fundamentos e aplicações**. São Carlos: EESC – USP, 2000.

FAHY, Frank. **Sound and Structural Vibration: radiation, transmission and response**. London, UK: Academic Press, 1987. 309p.

GERRETSEN, E. **A new system for rating impact sound insulation**. *Applied Acoustics*, v. 9, p. 247-263, 1976.

_____. Prediction of sound insulation in buildings: a tool to improve the acoustic quality. In: DAGA '03., 2003, **Aachen. Proceedings...** Aachen, 2003.

GODOY, A. S. Introdução à pesquisa qualitativa e suas possibilidades. **Revista de Administração de Empresas**, 35(2), 57-63, 1995.

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

HAX, S. P. **Estudo do potencial dos resíduos de E.V.A. no isolamento de ruído de impacto nas edificações**. 2002. 151f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, 2002.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 140-7**: Acoustics: measurement of sound insulation in buildings and of building elements. Part VII: Field measurements of impact sound insulation of floors. Genève, Switzerland, 1998. 17p. 27.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 717-2**: Acoustics: rating of sound insulation in buildings and of building elements. Part II: Impact sound insulation. Genève, Switzerland, 1996. 12p.

JONES, D. **Acoustical noise control**. In: BALLOU, G. (Ed.). *Handbook for sound engineers*. Oxford: Taylor & Francis, 2008. p. 65–94.

KIHLMAN, T. **Fifty years of “Development” in sound insulation of dwellings**. Institute of Noise Control Engineering, 1994.

KNUDSEN, V.O; HARRIS, C.M. **Acoustical Designing in Architecture**. The Journal of the Acoustical Society of America: USA, 1988.

MACHADO, J. **Análise de Vibração e ruído estrutural em piso slim floor de edifícios de aço para atender requisitos de conforto**. 2003. 153f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2003.

MARTINS, L.A.C; SAHB, C.A.S.; NETO, M.F.F. **Conforto acústico 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.

MÉNDEZ, A., STORNINI, A. J., SALAZAR, E. B. et al. **Acustica arquitectonica**. Buenos Aires: UMSA, 1995. 238 p.

NARDI, A.V; VIVEIROS, E.B; COELHO, J.L.B; NEVES, M.M. **Uma contribuição para o aprimoramento do Estudo de Impacto de Vizinhança: a gestão do ruído ambiental por**

mapeamento sonoro. In: ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, 22., 2008, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte, 2008.

NETO, M.F.F; BERTOLI, E.R. **Conforto Acústico entre unidades habitacionais em edifícios residenciais de São Paulo, Brasil.** In: ACÚSTICA 2008, Coimbra, 2008. Proceedings... Coimbra, 2008.

ORAL, G.K; YENER, A.K; BAYAZIT, N.T. Building envelope design with the objective the ensure thermal, visual and acoustic comfort conditions. **Building and Enviroment**, 39., 281-287, 2004.

PATRÍCIO, J. Acústica de edifícios: índice de isolamento a sons de percussão utilizados no espaço europeu. **ACÚSTICA E VIBRAÇÕES**. Rio de Janeiro, n. 39, p. 29 -34, mai. 2008

PEREIRA, Daniel Augusto de Moura. **Desenvolvimento de ferramentas para predição de isolamento do ruído de impacto em edificações de pavimentos múltiplos com laje nervurada.** 2018. 227 f. Tese (Doutorado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2018.

PETRUCELLI, N. S. **Considerações sobre projeto e fabricação de lajes alveolares protendidas.** 2009. 106 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlo.

POLLI, T. **O isolamento acústico comparado aos investimentos financeiros em edifícios multifamiliares de Florianópolis.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de PósGraduação em Arquitetura e Urbanismo. Florianópolis, 2007.

QUEIROZ, C; VIVEIROS, E.B. **Simulação do desempenho de isolamento acústico de fachadas de edificações residenciais 108 multifamiliares de diferentes períodos arquitetônicos.** In: CONGRESSO IBEROAMERICANO DE ACÚSTICA, 6., 2008. Anais... Buenos Aires, 2008.

RASMUSSEN, B. **Sound Insulation between dwellings – Classification schemes and building regulations in Europe.** In: THE INTERNATIONAL CONGRESS AND EXPOSITION ON NOISE CONTROL ENGINEERING, 33., 2004. Proceedings... Praga, 2004.

RINDEL, J.H. **Sound insulation of buildings.** In: THE INTERNATIONAL CONGRESS AND EXPOSITION ON NOISE CONTROL ENGINEERING, 36., 2007, Istanbul. Proceedings... Istanbul, 2007.

SANTOS, U. P. e MATOS, M. P. **Aspectos de Física.** In: Ruído, Riscos e Prevenção. Org. SANTOS, U. P. Ed. HUCITEC, pág.: 7-23, São Paulo, 1994.

SILVA, Pérides. **Acústica Arquitetônica.** Belo Horizonte: EDTAL, 1997.

SILVA, R.C. **Vigas de concreto armado com telas soldadas: Análise teórica e experimental da resistência à força cortante e do controle da fissuração.** 2003. 328 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

SOUZA, L.; ALMEIDA, M.; BRAGANÇA, L. **Bê-á-bá da acústica arquitetônica: ouvindo a arquitetura**. São Carlos, SP: EdUFSCar, 2006.149p.

SHARLAND, I; LORD, P. **Woods practical guide to noise control**. 3rd ed. England: Woods of Colchester Limited, 1979.

SHERIDAN, L.; MALUSKI, S. Field Measurement and Criteria for Sound Insulation Between Dwellings in Europe. **Building Acoustics**, v.7, n. 1, p. 31-40, 2000.

TADEU, A.; PEREIRA, A.; GODINHO, J.; ANTÓNIO, J. **Prediction of airborne sound and impact sound insulation provided by single and multilayer systems using analytical expressions**. Applied Acoustics. Coimbra, n.68, p.17-42, Janeiro. 2007.

TATU PRÉ-MOLDADOS. **Laje alveolar protendida**, 2008. Disponível: <<http://www.tatu.com.br>>. Acesso em 26 de set de 2018.

VILLAR, F. H. R. **Lajes alveolares pré-fabricados de concreto protendido x lajes de concreto armado**. São Carlos: UFSCAR, 2002. Trabalho da disciplina de sistemas Estruturas de edificações e sua Tecnologia.

WHICKER, D. **Footstep/Impact Noise in apartments, condominiums and other multi-family dwellings**. BKL - Consultants in Acoustics, 2005.