

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

Alessandra Haas

**ISOLAMENTO A RUÍDO DE IMPACTO DE LAJE PRÉ-FABRICADA
NERVURADA COMPOSTA DE VIGOTAS PROTENDIDAS E LAJOTAS
CERÂMICAS COM REVESTIMENTO CERÂMICO**

Santa Maria, RS
2019

Alessandra Haas

**ISOLAMENTO A RUÍDO DE IMPACTO DE LAJE PRÉ-FABRICADA NERVURADA
COMPOSTA DE VIGOTAS PROTENDIDAS E LAJOTAS CERÂMICAS COM
REVESTIMENTO CERÂMICO**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Civil**.

Orientador: Prof. Dr. Joaquim Cesar Pizzutti dos Santos

Coorientador: Prof. PhD. Jorge Luiz Pizzutti dos Santos

Santa Maria, RS
2019

Alessandra Haas

**ISOLAMENTO A RUÍDO DE IMPACTO DE LAJE PRÉ-FABRICADA NERVURADA
COMPOSTA DE VIGOTAS PROTENDIDAS E LAJOTAS CERÂMICAS COM
REVESTIMENTO CERÂMICO**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Civil**.

Aprovado em 15 de março de 2019:

Joaquim Cesar Pizzutti dos Santos, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Maria Fernanda de Oliveira, Dra. (UNISINOS)

Viviane Suzey Gomes de Melo, Dra. (UFSM)

Santa Maria, RS
2019

AGRADECIMENTOS

A realização dessa pesquisa só foi possível pelo auxílio, compreensão e dedicação de várias pessoas, dessa maneira, gostaria de agradecer a todos que de alguma forma contribuíram para conclusão desse estudo, em especial:

Ao meu orientador Joaquim Cesar Pizzutti dos Santos pela oportunidade de participar do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, e pela confiança depositada no meu trabalho;

Ao coorientador Jorge Luiz Pizzutti dos Santos por partilhar seus conhecimentos na área de acústica;

Aos colaboradores do laboratório de termo acústica da UFSM, José Luiz Guerra, Eder Luiz Filipetto e Juraci José Bortoluzzi, pelo auxílio e dedicação na realização dos ensaios e pelas valiosas contribuições feitas ao estudo;

Aos colegas/amigos da pós-graduação, que tornaram essa jornada mais divertida, incentivando, cobrando e auxiliando sempre que necessário;

A minha família pelo auxílio, suporte e incentivo. Vencemos mais essa etapa juntos;

As empresas que forneceram os materiais para os ensaios.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

*"Não é sobre chegar no topo do mundo
e saber que venceu, é sobre escalar e
sentir que o caminho te fortaleceu"*

(Ana Vilela)

RESUMO

ISOLAMENTO A RUÍDO DE IMPACTO DE LAJE PRÉ-FABRICADA NERVURADA COMPOSTA DE VIGOTAS PROTENDIDAS E LAJOTAS CERÂMICAS COM REVESTIMENTO CERÂMICO

AUTORA: Alessandra Haas

ORIENTADOR: Prof. Dr. Joaquim Cesar Pizzutti dos Santos

COORIENTADOR: Prof. PhD. Jorge Luiz Pizzutti dos Santos

O ruído de impacto é um dos principais fatores de desconforto entre os usuários de edificações de múltiplos pavimentos, estando relacionado diretamente ao sistema construtivo e aos materiais empregados na construção da edificação. Um problema que pode ser solucionado ainda em fase de projeto, ao designar o tipo de sistema construtivo e os materiais utilizados. Para tanto, é necessário conhecer as características acústicas das tipologias construtivas, analisando seu desempenho em relação aos requisitos mínimos listados pela norma 15575-3:2013. Desse modo, a realização dessa pesquisa busca aprofundar o conhecimento sobre o desempenho acústico do sistema construtivo de laje pré-fabricada nervurada composta de vigotas protendidas e lajotas cerâmicas com revestimento cerâmico, bem como, testar a utilização da técnica de piso flutuante, utilizando diversos materiais resilientes encontrados no mercado. Assim, têm-se como objetivos: determinar as propriedades acústicas de isolamento ao ruído de impacto no sistema de laje pré-fabricada nervurada composta de vigotas protendidas e lajotas cerâmicas em diversas condições; avaliar o desempenho da técnica em piso flutuante sobre a laje, com uso de diferentes materiais resilientes; comparar os resultados dos obtidos para as diversas composições com os critérios da norma de desempenho 15575-3:2013. Os ensaios foram realizados no laboratório da UFSM, em conformidade com parâmetros da ISO 140-7 atualizada para ISO 16283-2:2018, e ISO 717-2:2013, para determinar o nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado ($L'_{nT,w}$) de cada composição ensaiada, e verificar se os resultados obtidos atendem os valores mínimos exigidos pela norma de desempenho 15575-3:2013. Pode-se concluir que a tipologia construtiva de laje pré-fabricada nervurada composta de vigota protendida e lajota cerâmica, com contrapiso de 4 cm e revestimento cerâmico, necessita de tratamento acústico para se enquadrar na normativa brasileira. A utilização da técnica em piso flutuante se apresenta como uma boa solução, visto que, a grande maioria das composições com materiais resilientes, encontram-se no nível intermediário entre 56 e 65 dB, tendo-se uma amostra alcançando o nível mínimo com $L'_{nT,w}$ de 66 dB, e duas amostras no nível superior ≤ 55 dB. Portanto, todos os sistemas de piso flutuante ensaiados são passíveis de utilização junto ao sistema construtivo, enquadrando-se dentro da exigência da norma brasileira para sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas. Quanto ao critério de sistema de pisos separando áreas de uso coletivo sobre unidades autônomas somente dois sistemas de piso flutuante alcançaram o nível mínimo exigido pela norma entre 51 dB e 55 dB: o sistema com lâ de vidro 15 mm com $L'_{nT,w}$ de 55 dB e o sistema com lâ de PET 10 mm com $L'_{nT,w}$ de 55 dB. As informações obtidas com a realização dessa pesquisa, tanto para o sistema construtivo quanto para a solução em piso flutuante com materiais resilientes, poderão ser adotadas como respaldo para recomendações e intervenções na construção civil, melhorando a qualidade de vida dos usuários dos edifícios.

Palavras-chave: Conforto acústico. Isolamento acústico. Ruído de impacto.

ABSTRACT

IMPACT NOISE ISOLATION OF PRE-FABRICATED RIBBED SLAB COMPOSED OF PRESTRESSED JOIST AND CERAMIC BLOCK WITH CERAMIC COATING

AUTHOR: Alessandra Haas
ADVISOR: Prof. Dr. Joaquim Cesar Pizzutti dos Santos
CO-ADVISOR: Prof. PhD. Jorge Luiz Pizzutti dos Santos

Impact noise is one of the main discomfort factors among users of multi-floor buildings and is directly related to the construction system and materials used in building construction. A problem that can be solved still in the design phase, when designating the type of construction system and the materials used. Therefore, it is necessary to know the acoustic characteristics of the construction typologies, analyzing their performance in relation to the minimum requirements listed by the norm 15575-3: 2013. In this way, this research seeks to deepen the knowledge about the acoustic performance of the pre-fabricated ribbed slab composed of prestressed joist and ceramic block with ceramic coating, as well as, to test the use of the floating floor technique, using several resilient materials found in the market. Thus, the objectives are: to determine the acoustic properties of impact noise isolation in the pre-fabricated ribbed slab composed of prestressed joist and ceramic block in various conditions; to evaluate the performance of the technique in floating floor over the slab, with the use of different resilient materials; compare the results of the performances obtained for the various compositions; and ponder the results achieved with the performance standard. The tests carried out in the UFSC laboratory, in accordance with parameters of ISO 140-7 updated to ISO 16283-2: 2018, and ISO 717-2: 2013, to determine the weighted standard impact sound pressure level ($L'_{nT,w}$) of each composition tested, and verify that the results obtained meet the minimum values required by the standard. It can be concluded that the constructive typology of pre-fabricated ribbed slab composed of prestressed joist and ceramic block, with 4 cm subfloor and ceramic coating, requires acoustic treatment in order to fit Brazilian standards. The use of the technique on floating floor is a good solution, since the great majority of compositions with resilient materials, are at the intermediate level between 56 and 65 dB, with a sample reaching the minimum level with $L'_{nT,w}$ of 66 dB, and two samples at the upper level ≤ 55 dB. Therefore, all the floating floor systems tested can be used among the construction system, meeting the requirements of the Brazilian standard for flooring system separating autonomous housing units. As for the floor systems criterion separating areas of collective use on autonomous units, only two floating floor systems reached the minimum level required by the standard between 51 dB and 55 dB: the system if glass wool 15 mm with $L'_{nT,w}$ of 55 dB and the system if PET wool 10 mm with $L'_{nT,w}$ of 55 dB. The information obtained from this research, both for the construction system and for the floating floor solution with resilient materials, can be adopted as support for recommendations and interventions in civil construction, improving the life quality of building users.

Keywords: Acoustic comfort. Acoustic isolation. Impact noise.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Pressões sonoras entre o limiar da audição e o limiar da dor.....	18
Figura 2.2 - Indicação da medição do tempo de reverberação	19
Figura 2.3 - Esquema de transmissão de ruído aéreo entre duas unidades sobrepostas.....	20
Figura 2.4 - Esquema de transmissão de ruído de impacto entre duas unidades sobrepostas.....	21
Figura 2.5 - Esquema de propagação do som	21
Figura 2.6 - Esquema de montagem de pisos flutuantes	23
Figura 2.7 - Gráfico comparativo de L'_n do sistema com revestimento em porcelanato testado por Pedroso (2007)	25
Figura 2.8 - Gráfico comparativo para L'_n para sistema com revestimento laminado, testado por Pedroso (2007).....	25
Figura 2.9 - Gráfico comparativo entre L'_{nT} para as tipologias de laje testadas por Pereyron (2008)	29
Figura 2.10 - Gráfico comparativo entre L'_{nTw} encontrados para as diversas tipologias de lajes ensaiadas por Cornachia (2009).....	31
Figura 2.11 - Desempenho das amostras	34
Figura 2.12 - Gráfico comparativo entre L'_n os resultados de diferentes pisos testados no sistema de laje nervurada com lajinha cerâmica por Di Bella e Luison (2011)	36
Figura 2.13 - Curva de valores de referência para ruído de impacto, bandas de terço de oitava.....	43
Figura 2.14 - Exemplo de deslocamento da curva de referência	44
Figura 2.15 - Esquema de laje com vigota de concreto armado	46
Figura 2.16 - Esquema de laje com vigota de concreto protendida.....	46
Figura 2.17 - Esquema de laje com vigota treliçada.....	47
Figura 3.1 - Planta baixa e corte longitudinal das câmaras de ensaio (cm)	48
Figura 3.2 - Máquina de impacto.....	49
Figura 3.3 - Painel de lã de vidro 15 mm sob contrapiso	50
Figura 3.4 - Manta de lã de poliéster, amostra (A) de 8 mm, e (B) de 10 mm sob contrapiso.....	51
Figura 3.5 - Manta de polipropileno expandido 2 mm sob contrapiso	51
Figura 3.6 - Manta de polietileno, amostra (A) de 5 mm, e (B) de 10 mm sob contrapiso.....	52
Figura 3.7 - Manta de borracha reciclada, amostra (A) de 5 mm, e (B) de 8/4 mm sob contrapiso.....	52
Figura 3.8 - Dimensões de vigota e tavela cerâmica para montagem da laje protendida	53
Figura 3.9 - Dimensões finais da laje com mesa de compressão e contrapiso de regularização.....	53
Figura 3.10 - Montagem da composição no local de ensaio	54
Figura 3.11 - Placa de contrapiso (A), e placa com revestimento cerâmico (B), utilizadas nos ensaios	55
Figura 3.12 - Posicionamento da fonte e microfones (cm)	56
Figura 3.13 - Posicionamento da máquina de impacto (A), e posicionamento dos microfones (B).....	56
Figura 4.1 - Modelo da configuração ensaiada amostra 1: Laje em osso	58

Figura 4.2 - Desempenho da amostra 1: Laje em osso.....	58
Figura 4.3 - Modelo da configuração ensaiada amostra 2: Laje+contrapiso (4 cm)	59
Figura 4.4 - Desempenho da amostra 2: Laje + contrapiso (4 cm)	59
Figura 4.5 - Modelo da configuração ensaiada amostra 3: Laje + contrapiso (4 cm) + revestimento cerâmico	60
Figura 4.6 - Desempenho da amostra 3: Laje + contrapiso (4 cm)+revestimento cerâmico.....	60
Figura 4.7 - Comparação do desempenho acústico das amostras de referência....	61
Figura 4.8 - Comparação dos resultados das amostras de referência com o critério para sistema de piso separando unidades autônomas	62
Figura 4.9 - Modelo de montagem	63
Figura 4.10 - Desempenho da amostra 4: piso flutuante com lã de vidro	64
Figura 4.11 - Desempenho das amostras 5 a 10: piso flutuante com lã de PET	65
Figura 4.12 - Desempenho da amostra 11: piso flutuante com polipropileno expandido (EPP)	66
Figura 4.13 - Desempenho das amostras 12 a 15: piso flutuante com polietileno expandido (EPE)	68
Figura 4.14 - Desempenho das amostras 16 a 18: piso flutuante com borracha reciclada.....	69
Figura 4.15 - Comparação do desempenho acústico das amostras de piso flutuante com diferentes materiais resilientes	70
Figura 4.16 - Comparação dos resultados das amostras de piso flutuante com o critério para sistema de pisos separando unidades autônomas.....	71
Figura 4.17 - Comparação do desempenho acústico das amostras	73
Figura 4.18 - Comparação dos resultados das amostras com o critério para sistema de piso separando unidades autônomas.....	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Composições testadas por Pedroso (2007)	24
Tabela 2.2 - Composições testadas por Ferraz (2008)	27
Tabela 2.3 - Composições testadas por Pereyron (2008)	28
Tabela 2.4 - Composições testadas por Neubauer (2009)	30
Tabela 2.5 - Desempenho das amostras testadas por Panosso (2015).....	32
Tabela 2.6 - Desempenho das amostras testadas por Nunes et al. (2014)	33
Tabela 2.7 - Desempenho das amostras testadas por Di Bella e Luison (2011)	35
Tabela 2.8 - Parâmetros acústicos de avaliação.....	37
Tabela 2.9 - Critério de pressão sonora de impacto padrão ponderado, $L'_{nT,w}$	38
Tabela 2.10 - Critério e nível de pressão sonora de impacto-padrão ponderado, $L'_{nT,w}$	38
Tabela 2.11 - Número de posições para microfone e máquina de impacto determinado pela área das salas de emissão e recepção	39
Tabela 2.12 - Valores de referência para ruído de impacto	43
Tabela 3.1 - Descrição dos aparelhos disponibilizados para os ensaios	49
Tabela 3.2 - Amostras para ensaio	54
Tabela 4.1 - Amostras de referência	57
Tabela 4.2 - Materiais Resilientes	63

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
EPE	Polietileno Expandido
EPP	Polipropileno Expandido
EPS	Poliestireno Expandido
dB	Decibel
Hz	Hertz
ISO	International Organization for Standardization
L_i	Nível de pressão sonora de impacto
L'_{nT}	Nível de pressão sonora padronizado
$L'_{nT,w}$	Nível de pressão sonora padronizado ponderado
NBR	Norma Brasileira
PET	Lã de Poliéster
UFMS	Universidade Federal de Santa Maria
VC	Vigota de concreto armado
VP	Vigota de concreto protendido
VT	Vigota com armadura treliçada

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	13
1.1.	OBJETIVOS	14
1.1.1.	Objetivo Geral	14
1.1.2.	Objetivos Específicos	14
1.2.	JUSTIFICATIVA	15
1.3.	METODOLOGIA DA PESQUISA	15
1.4.	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	16
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1.	CARACTERIZAÇÃO DO RUÍDO	17
2.2.	FUNDAMENTOS ACÚSTICOS	18
2.2.1.	Nível de Pressão Sonora	18
2.2.2.	Tempo de reverberação	19
2.3.	PROPAGAÇÃO DO RUÍDO	20
2.4.	ISOLAÇÃO AO RUÍDO DE IMPACTO	22
2.5.	NORMATIZAÇÃO	37
2.5.1.	NBR 15575-3:2013	37
2.5.2.	ISO 16283-2:2018	38
2.5.3.	ISO 717-2:2013	42
2.6.	TIPOLOGIA DE LAJES PRÉ-MOLDADAS	45
2.6.1.	Vigota de concreto armado (VC)	45
2.6.2.	Vigota de concreto protendida (VP)	46
2.6.3.	Vigota treliçada (VT)	47
3.	MATERIAIS E MÉTODOS	48
3.1.	LOCAL DO ENSAIO	48
3.2.	EQUIPAMENTOS	49
3.3.	MATERIAIS	50
3.3.1.	Materiais de revestimento	50
3.3.2.	Materiais resilientes	50
3.3.3.	Montagem da laje	53
3.3.4.	Configurações para ensaio	54
3.4.	PROCEDIMENTOS E PARÂMETROS	55
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	57
4.1.	ANÁLISE DAS AMOSTRAS DE REFERÊNCIA	57

4.1.1.	<i>Amostra 1: laje em osso</i>	57
4.1.2.	<i>Amostra 2: laje com contrapiso (4 cm)</i>	58
4.1.3.	<i>Amostra 3: laje com contrapiso (4 cm) com revestimento cerâmico</i>	59
4.1.4.	<i>Comparação dos resultados das amostras de referência</i>	60
4.2.	ANÁLISE DAS AMOSTRAS DE PISO FLUTUANTE	62
4.2.1.	<i>Amostra 4: piso flutuante com lã de vidro</i>	63
4.2.2.	<i>Amostras 5 a 10: piso flutuante com lã de poliéster (PET)</i>	64
4.2.3.	<i>Amostra 11: piso flutuante com polipropileno expandido (EPP)</i>	66
4.2.4.	<i>Amostras 12 a 15: piso flutuante com polietileno expandido (EPE)</i>	67
4.2.5.	<i>Amostras 16 a 18: piso flutuante com borracha reciclada</i>	68
4.2.6.	<i>Comparação dos resultados das amostras de piso flutuante</i>	69
4.3.	COMPARATIVO DOS DESEMPENHOS DAS AMOSTRAS ENSAIADAS	72
5.	CONCLUSÃO	76
5.1.	SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	78
	REFERÊNCIAS	79
	ANEXO A	82

1. INTRODUÇÃO

Em questão de décadas o mercado da construção civil experimentou um exponencial crescimento frente ao desenvolvimento das cidades (urbanização) e a busca por moradia (verticalização). A busca por maximização dos lucros na produção de edificações habitacionais levou a cadeia produtiva a racionalizar e a reduzir os custos das construções, traduzindo-se em redução de espessuras de paredes e pisos e remoção de algumas soluções construtivas, resultando ao final em perda de desempenho nas novas edificações. (PIERRARD; AKKERMAN, 2013)

Conseqüentemente, o desenvolvimento de novas tecnologias buscou aprimorar ainda mais as questões de redução de custos, consumo de materiais e mão de obra. O crescimento desordenado, associado ao surgimento de novas tecnologias, e questões culturais colaboraram para o aumento de problemas relacionados ao conforto acústico. (CARVALHO, 2010)

Pesquisadores como Carvalho (2010) evidenciam que o ruído incomoda e causa malefícios à saúde. Bistafa (2011) elenca algum desses malefícios como perturbação do sono, estresse, tensão e queda no desempenho, podendo em certas ocasiões provocar a perda de audição e o aumento da pressão arterial.

Porém, muitas vezes o conforto acústico é considerado subjetivo. Uma vez que o desempenho acústico de uma edificação é praticamente invisível, estando dentro do sistema construtivo e diretamente relacionado à técnica e materiais empregados na edificação, passando despercebido aos olhos e ao conhecimento da população em geral, de modo que o problema só será percebido após uso e ocupação do local. (DUARTE; VIVEIROS, 2010)

Um comportamento que vem se modificando aos poucos, visto que a vida no cotidiano está cada vez mais abarrotada de fontes de incômodo e tensão, assim a população começa a buscar por qualidade de vida nos ambientes construídos, principalmente nos espaços de habitação. (CORNACCHIA et al., 2009)

Nesse contexto, a Associação brasileira de Normas Técnicas (ABNT) traz a NBR 15575/2013 Edificações habitacionais - Desempenho, que visa à qualidade das construções brasileiras, definindo parâmetros mínimos a serem atingidos por vários quesitos da construção de habitações, dentre eles os parâmetros acústicos, que regulam os níveis de desempenho de paredes, esquadrias e pisos.

Sobre a norma em questão Pierrad e Akkerman (2013) destacam o seguinte:

Conforme definido nas incumbências dos intervenientes previstos na NBR 15575, cabe aos fabricantes de sistemas construtivos [...] apresentar ao projetista e ao empreendedor o desempenho de seus sistemas quando medidos em laboratório. E cabe ao empreendedor analisar estes dados, quanto à capacidade de atenderem a condição de desempenho em campo exigida do incorporador/construtor. [...] o incorporador/construtor deve saber, de antemão, as condições de execução e instalação necessárias para atender aos requisitos e critérios estabelecidos.

Portanto, para que o sistema construtivo atenda os padrões de desempenho exigidos pela norma, é necessário o estudo de desempenho dos materiais que o compõe. Logo, muitas empresas e profissionais buscam conhecimento e embasamento para compreender e respeitar as exigências da norma em seus projetos.

Destarte, é de fundamental importância a realização de pesquisas acerca do comportamento das diferentes tecnologias construtivas utilizadas em âmbito nacional, visto que, "os sistemas construtivos de outros países são distintos dos nossos, o que dificulta o aproveitamento de dados de pesquisas advindas do exterior". (CORNACCHIA et al., 2009)

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

Tem-se por objetivo principal avaliar o isolamento a ruído de impacto da laje pré-fabricada nervurada composta de vigotas protendidas e lajotas cerâmicas com revestimento cerâmico.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Determinar as propriedades acústicas de isolamento ao ruído de impacto do sistema de laje pré-fabricada nervurada composta de vigotas protendidas e lajotas cerâmicas com revestimento cerâmico;
- Avaliar o desempenho da técnica em piso flutuante sobre a laje, com uso de diferentes materiais resilientes;

- Comparar os resultados obtidos para as diversas composições com os critérios da norma de desempenho NBR 15575-3:2013;

1.2. JUSTIFICATIVA

Segundo um estudo de pós-ocupação realizado por Duarte e Viveiros (2010), um dos maiores incômodos em edificações está relacionado ao ruído produzido pelo impacto no sistema de laje/piso. E juntamente com as exigências apresentadas pela NBR 15575-3:2013, tem-se a necessidade de aprofundar os conhecimentos sobre as características acústicas das técnicas construtivas utilizadas na construção civil brasileira.

Entre as técnicas construtivas mais populares na construção civil dos últimos anos está a laje pré-fabricada nervurada composta de vigotas protendidas, cujas características permitem vencer vãos maiores, com redução de escoras intermediárias, tendo maior resistência ao cisalhamento e menor deformação. Porém, ainda se desconhece o comportamento acústico de tal tecnologia.

Logo, a realização desse estudo é de fundamental importância para o mercado da construção civil brasileira, pois permitirá determinar as propriedades acústicas da tecnologia construtiva, bem como testar o funcionamento do piso flutuante utilizando diversos materiais resilientes.

Por fim, os dados obtidos com a realização da pesquisa poderão servir de respaldo para futuras recomendações e intervenções projetuais, buscando melhorar a qualidade das construções e a qualidade de vida do usuário.

1.3. METODOLOGIA DA PESQUISA

O presente estudo classifica-se em um primeiro momento como pesquisa exploratória, por meio de levantamento bibliográfico sobre os temas pertinentes ao desenvolvimento do trabalho, com objetivo de aprofundar o conhecimento sobre os termos, fundamentos e normas necessários para melhor entendimento do trabalho a ser realizado.

Na etapa seguinte tem-se uma pesquisa explicativa, através de procedimentos experimentais realizados em laboratório.

1.4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O estudo apresenta-se em quatro capítulos conforme descritos a seguir:

Capítulo 1 – Introdução: apresentação do o trabalho, com objetivos, justificativa e metodologia utilizada para a realização da pesquisa.

Capítulo 2 – Revisão bibliográfica: designa os conceitos teóricos, o levantamento de estudos realizados, e as normas pertinentes ao estudo.

Capítulo 3 – Metodologia: discorre sobre o local dos ensaios, os materiais e instrumentos utilizados, os procedimentos e técnicas empregados conforme normas específicas.

Capítulo 4 – Resultados e discussões: expõe a descrição e análise dos resultados individuais, e a comparação dos desempenhos com a norma vigente.

Capítulo 5 – Conclusão: trata das conclusões referentes ao estudo, destacando o potencial do trabalho e traz recomendações para estudos futuros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O capítulo a seguir versa sobre alguns temas pertinentes a pesquisa como, a caracterização do ruído, os principais fundamentos acústicos, os modos de propagação em construções, tipos de isolamento acústico quando se trata de ruído de impacto, normatização a ser utilizada, e a caracterização da tipologia de laje estudada, visando identificar os termos e fundamentos para o melhor entendimento da pesquisa.

2.1. CARACTERIZAÇÃO DO RUÍDO

O som tem sua origem na vibração de um objeto, provocando a vibração de partículas do meio (sólido, líquido, gasoso) e sendo capaz de ser captado pelo ouvido humano. Salienta-se que nem toda vibração é percebida pelo ouvido humano. (SOUZA et al., 2012)

As definições de som e ruído são muito próximas, e dependem de fatores ligados ao estado dos indivíduos afetados por eles. Carvalho (2010, p.41) define ruído como sendo "[...] todo som indesejável [ênfatisando que] esse conceito é muito subjetivo, uma vez que o que é considerado ruído para umas pessoas pode ser entendido como som para outras".

Bistafa (2011, p. 17) caracteriza os conceitos de "som como a sensação produzida no sistema auditivo; e ruído como o som indesejável, em geral de conotação negativa". Da mesma forma que Saliba (2014, p.11) apresenta "o ruído e o barulho como sendo interpretações subjetivas e desagradáveis do som". Souza et al. (2012, p.47) complementa trazendo o seguinte:

[...] todo som indesejável a atividade de interesse é considerado ruído, mesmo que seja uma música. Uma vez interferindo no bom andamento das atividades, nos objetivos dos espaços, prejudicando a função do ambiente, o som pode ser considerado ruído, independentemente do seu espectro.

Para definição em termos técnicos, Bistafa (2011, p. 18) define som como "[...] variação da pressão ambiente detectável pelo sistema auditivo". Complementando com as ideias expostas por Carvalho (2010) e as encontradas no polígrafo didático de Pitágoras pós-graduação (2012), tem-se a caracterização dessa vibração como

fenômeno ondulatório transmitido em um meio elástico, onde tais vibrações são denominadas ondas, que são o resultado das oscilações das moléculas (compressão e rarefação) no meio de propagação em torno de sua posição de equilíbrio. Assim, uma onda sonora caracteriza-se por sua frequência (Hz), comprimento de onda e amplitude, definidos da seguinte maneira:

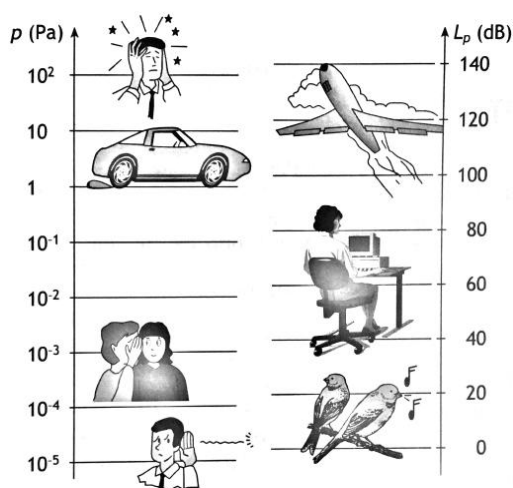
- Frequência (f) é o número de oscilações (vibrações) por segundo;
- Comprimento de onda (λ) é a distância entre duas partículas na mesma posição de vibração;
- Amplitude (A) é o afastamento máximo em relação à posição de equilíbrio.

2.2. FUNDAMENTOS ACÚSTICOS

2.2.1. Nível de Pressão Sonora

Sendo o som a variação da pressão ambiente detectável pelo sistema auditivo, e considerando que a faixa de pressão que provoca a sensação auditiva vai do limiar da audição ao limiar da dor, a grandeza de pressão sonora tem como principal objetivo segundo Bistafa (2011, p.26) "[...] avaliar o perigo e perturbação causada por fontes de ruído [...]", pois está correlacionada com a sensação subjetiva de intensidade do som, ou seja, quão intenso é determinado som que escutamos, caracterizando assim os efeitos do som sobre o ser humano. Na Figura 2.1 têm-se as escalas do decibel desde o limiar da audição até o limiar da dor.

Figura 2.1 - Pressões sonoras entre o limiar da audição e o limiar da dor

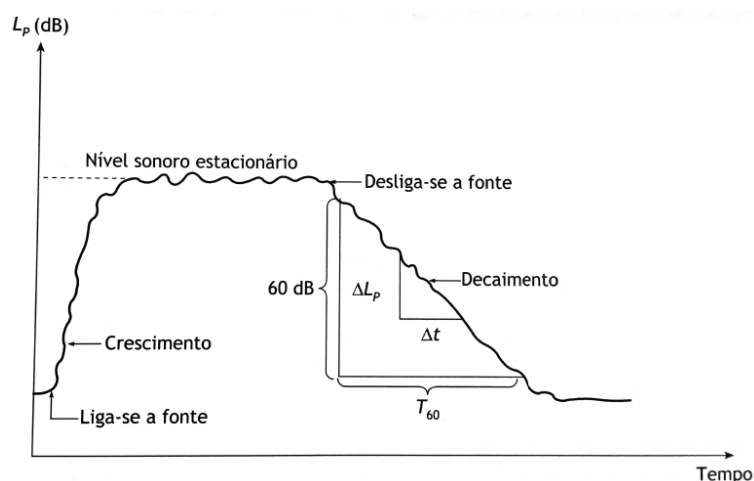


Para facilitar os estudos acústicos, a larga escala de pressão sonora audível (0,00002 N/m² a 200 N/m²) é substituída pelo decibel (dB). Conforme Souza et al (2012, p.30) "o decibel é, portanto, uma escala logarítmica que aproxima a percepção do ouvido humano às flutuações da pressão sonora", então, os valores de decibel não podem sofrer adições simples.

2.2.2. Tempo de reverberação

Tecnicamente é "o tempo necessário para que o nível sonoro do recinto caia 60 dB, após o desligamento da fonte sonora" como apresentado na Figura 2.2. (BISTAFA, 2011, p.258)

Figura 2.2 - Indicação da medição do tempo de reverberação



Fonte: (BISTAFA 2011)

Souza et al (2012, p.41) traz uma definição mais clara para o entendimento quando coloca o seguinte:

Ao cessar a emissão da fonte sonora, sucessivas reflexões ainda podem ser percebidas como um prolongamento do som, fazendo com que a sua extinção no ambiente não ocorra imediatamente, mas sim após um determinado intervalo de tempo [...] Cada ambiente terá seu comportamento de reverberação próprio, em função de seu volume e da composição de seus materiais de revestimento.

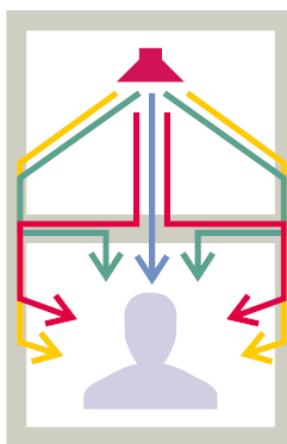
Para Littlefield (2014, p. 35) "o tempo de reverberação e suas variações, conforme a frequência, provavelmente são os fatores de medição mais significativos para a determinação do caráter acústico de um cômodo".

2.3. PROPAGAÇÃO DO RUÍDO

A propagação do ruído depende das características e do posicionamento da fonte. Logo os ruídos gerados podem se propagar pelo ar ou por estruturas sólidas. (SOUZA et al., 2012)

Desse modo, tem-se ruído aéreo como aquele produzido e transmitido através do ar, cuja propagação é do tipo longitudinal, ou seja, as partículas de ar vibram na mesma direção da propagação da onda. A Figura 2.3 apresenta o esquema de transmissão direta e secundária do ruído aéreo.

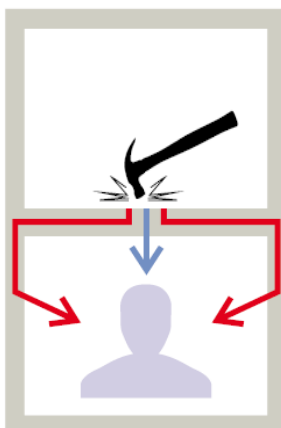
Figura 2.3 - Esquema de transmissão de ruído aéreo entre duas unidades sobrepostas



Fonte: Pierrard; Akkerman 2013

Já o ruído de impacto, conforme Santos (2012) "se transmite em todas as direções: longitudinalmente, transversalmente, torcionalmente e na direção de cisalhamento", resultando de forças impostas direcionalmente sobre estruturas, geradas por vibração em sólidos. A Figura 2.4 exemplifica a transmissão direta e secundária do ruído de impacto.

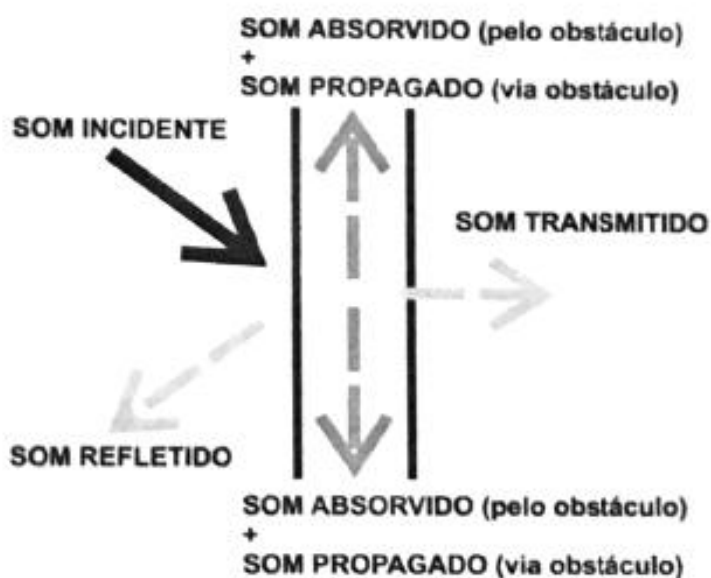
Figura 2.4 - Esquema de transmissão de ruído de impacto entre duas unidades sobrepostas



Fonte: Pierrard; Akkerman 2013

Dessa maneira, Carvalho (2010, p.55) caracteriza a distribuição sonora que ao incidir em um obstáculo gera quatro situações: parte dela é transmitida através do material (via aérea), parte é propagada através do material (via sólida), parte é absorvida pelo obstáculo e o restante é refletido para o ambiente de origem da fonte, como pode ser visto no esquema da Figura 2.5.

Figura 2.5 - Esquema de propagação do som



Fonte: (CARVALHO 2010)

2.4. ISOLAÇÃO AO RUÍDO DE IMPACTO

Conforme NBR 16313:2014 isolamento acústico trata da redução da transmissão sonora entre ambientes distintos. Bistafa (2011, p.315) evidencia que o "controle do ruído envolve a fonte sonora, a trajetória de transmissão e o receptor", e salienta que o "método mais eficaz de isolamento é controlar o ruído na fonte, ou seja, eliminar ou minimizar o ruído na sua origem".

Souza et al (2012, p.81) apontam que "a forma de tratamento para redução de ruídos varia de acordo com o tipo de ruído considerado" (aéreos ou de impacto). Diferenciando o tipo de ruído tratado através dos termos: isolamento, para ruído aéreo; e isolação para ruídos de impacto ou vibração. Ressaltam também, que "os materiais empregados para os diferentes casos tem objetivos diferentes e características diversas" (isolar ou absorver).

Bistafa (2011, p.313) faz a distinção entre absorção e isolação, caracterizando absorção sonora como utilizada para o condicionamento acústico de um recinto e isolação sonora utilizada para isolamento acústico entre ambientes.

Segundo Carvalho (2010, p.114 e 115), "a melhor forma de se absorver qualquer impacto em lajes de pisos, é a adoção de materiais macios em seus acabamentos (tapetes, pisos emborrachados, etc.)". Nunes et al. (2016) também evidenciam que, a escolha do revestimento "rígido ou elástico" influencia nos resultados, visto que há uma redução na resposta vibracional nas médias e altas frequências, a partir dos 500 Hz com uso de revestimento elástico.

Mesmo sabendo-se dos benefícios da escolha do revestimento Carvalho (2010, p.114 e 115) coloca que, não se pode privar o usuário de adotar pisos cerâmicos, pedras, entre outros. Desse modo, aponta como solução para redução na transferência de impactos os pisos flutuantes, que sobre bases elásticas, desconectando inteiramente o contrapiso e piso de quaisquer elementos estruturais e/ou de vedações.

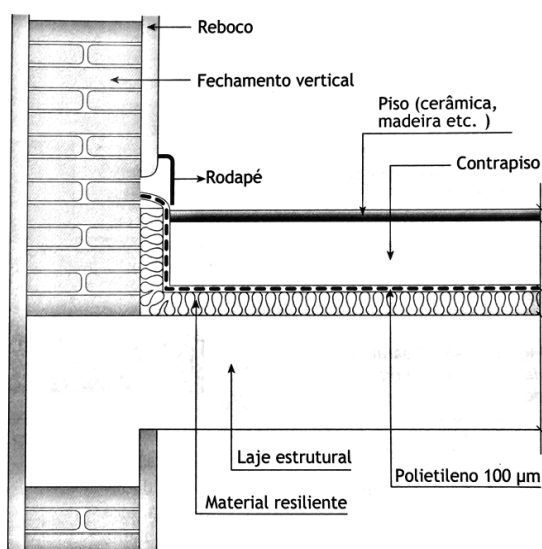
Bistafa (2011, p.301) caracteriza o sistema de piso flutuante como sistema "massa-mola-amortecedor, em que a massa é caracterizada pela densidade superficial do contrapiso, a mola pela rigidez dinâmica do isolador, sendo o amortecimento conferido pelo atrito interno do material isolador".

Zuchetto et al (2016) destacam que "o comportamento dos materiais que compõem os pisos flutuantes pode definir sua eficiência no isolamento ao ruído de

impacto", visto que, os materiais sofrem alterações decorrentes do carregamento ao longo dos anos.

Outro fator importante destacado por Pedroso (2007) é a existência de pontes acústicas. Que ocorrem quando um material rígido acaba unindo, em partes, os elementos estruturais separados pelo material resiliente. Desse modo, as vibrações encontram um caminho para sua propagação, praticamente eliminando a eficácia do material resiliente, ou seja, deve-se ter muito cuidado e atenção ao se executar um piso flutuante, garantindo que não haja contato entre as partes rígidas da estrutura, conforme esquema que pode ser visto na Figura 2.6.

Figura 2.6 - Esquema de montagem de pisos flutuantes



Fonte: (BISTAFA, 2011)

Mesmo com todo esse cuidado ao desconectar o piso da estrutura para evitar a transmissão direta, considerada como única forma de transmissão entre recintos por diversos métodos avaliativos, Bistafa (2011, p.312) destaca que "em situações reais existem as chamadas transmissões secundárias" ou transmissões marginais, que podem interferir diretamente nas avaliações.

Na mesma linha de pensamento Semprini e Barbaresi (2013) evidenciam que sistemas de piso flutuante testados em laboratório podem atingir desempenhos elevados, porém o desempenho *in situ* é influenciado pela transmissão secundária, que depende do tipo de junção, da massa e da dimensão das paredes e vigas envolvidas na transmissão.

2.4.1. Estudos de isolamento ao ruído de impacto

Pedroso (2007) realizou estudo comparativo entre composições de pisos flutuantes no laboratório da UFSM, em laje maciça de 12 cm, a qual possui vínculo rígido com as paredes da câmara de recepção. Utilizou revestimento de porcelanato (10 mm) assentando com argamassa colante, e laminado (7 mm) assentado sobre manta de polietileno 2 mm. Sobre uma placa de contrapiso de 1 m² (1x1 m) com 4 cm de espessura. Os testes foram realizados com máquina de impacto e microfone rotativo, com os materiais a serem ensaiados posicionados no centro da sala de emissão.

O sistema de piso flutuante foi elaborado utilizando os materiais resilientes conforme descrição de espessura e densidade que constam na Tabela 2.1 com as composições testadas pelo autor.

Tabela 2.1 - Composições testadas por Pedroso (2007)

Composição / Revestimento			Porcelanato	Laminado
Material resiliente	Espessura	Densidade	$L'_{n,w}$	
Laje em osso	12 cm	-	78 dB	
Laje + contrapiso	17cm	-	73 dB	75 dB
Lã de vidro	15 mm	60 kg/m ³ ;	50 dB	56 dB
Borracha reciclada EVA - ruberflex	8 mm	130 kg/m ³	62 dB	67 dB
Borracha reciclada - densiflex	4 mm	260 kg/m ³	65 dB	67 dB
Poliestireno expandido - isopor VI	25 mm	27,5 kg/m ³	62 dB	63 dB
Poliestireno expandido - isofoan	25 mm	32,5 kg/m ³	64 dB	64 dB
Polietileno	5 mm	27 kg/m ³	65 dB	67 dB

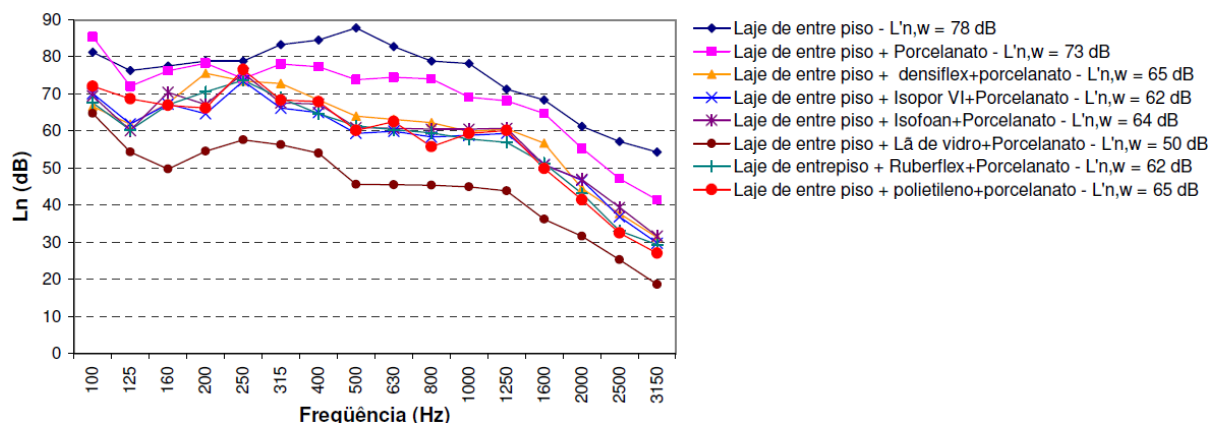
Fonte: Adaptado de Pedroso, 2007.

No estudo o autor conclui que o sistema de piso flutuante com revestimento laminado apresenta melhor desempenho em alta frequência, porém, tal desempenho não se traduz no resultado final de $L'_{n,w}$, no qual o sistema com laminado apresenta um resultado inferior ao do sistema com revestimento em porcelanato, como pode ser visto nos resultados apresentados na Tabela 2.1.

Através da comparação das curvas dos resultados de L_n por faixa de frequência pode se determinar o que influenciou o resultado final das tipologias.

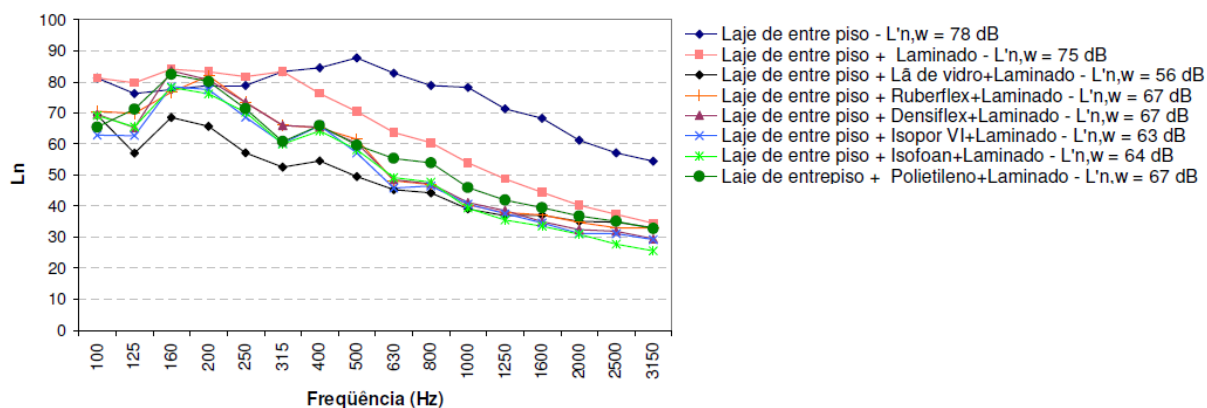
Assim na Figura 2.7 têm-se a comparação das curvas dos sistemas ensaiados com revestimento em porcelanato. E na Figura 2.8 o comparativo entre as curvas do sistema com revestimento laminado.

Figura 2.7 - Gráfico comparativo de L'_n do sistema com revestimento em porcelanato testado por Pedroso (2007)



Fonte: Pedroso, 2007

Figura 2.8 - Gráfico comparativo para L'_n para sistema com revestimento laminado, testado por Pedroso (2007)



Fonte: Pedroso, 2007

Observa-se que o sistema com revestimento laminado possui desempenho melhor que o sistema com revestimento em porcelanato em alta frequência, com as curvas decrescentes a partir de 500 HZ, porém em baixa frequência o desempenho chega a ser inferior (em alguns casos) ao sistema de laje em osso. Tais resultados podem ter sido influenciados pela característica elástica do piso, bem como, pela

adição de duas camadas de mantas, uma logo abaixo do piso laminado (polietileno 2 mm) e uma separando o contrapiso da laje.

A colação de Siqueira et al (2016), de que, o aumento do impacto mecânico está relacionado à característica elástica do material, que acaba convertendo a energia mecânica em vibrações, mantendo a amplitude das forças nas baixas frequências, levando ao aumento dos sons de impacto nessas frequências, se encaixaria nessa situação.

O sistema que apresenta melhor desempenho em ambos os revestimentos é o com lã de vidro, os demais sistemas com materiais resilientes apresentam comportamento semelhante.

O estudo realizado por Pedroso possibilitou a compreensão da influencia que os diferentes tipos de piso têm no desempenho final do sistema construtivo, bem como, os resultados dos testes com diferentes materiais resilientes possibilitam ao projetista maior embasamento para especificação do material conforme suas características (espessura, densidade e desempenho). Porém deve-se ter em mente que, que os resultados podem variar de acordo com: estrutura, vedação, área e volume do local do ensaio.

Ferraz (2008), em sua pesquisa "atenuação de ruído de impacto em pisos de edificações de pavimentos múltiplos", realizada *in situ* na cidade de Belo Horizonte/MG, para composições de pisos flutuantes compostas por: revestimento, contrapiso, material resiliente e laje maciça com 10 cm de espessura. Testou pisos completos, ou seja, todo piso do ambiente acabado no sistema testado. E pisos simplificados (reduzidos), os quais são compostos por placas de contrapiso 1x1 metros com 5 cm de espessura. Utilizou como material de revestimento piso em porcelanato (9 mm) assentando com ACII e madeira maciça (19 mm) assentado com cola de poliuretano.

Os sistemas de piso completo foram testados utilizando quatro posições de máquina de impacto padrão e cinco posições de microfone fixo. Já para os testes em piso simplificado (reduzido), posicionou a máquina de impacto padrão sobre a placa de contrapiso no centro da sala de emissão e o microfone em três pontos mais centrais na sala de recepção. Para medição do tempo de reverberação utilizou método de ruído impulsivo (estouro de balões).

Na Tabela 2.2 têm-se os sistemas construtivos testados pela autora, elencando o material resiliente utilizado, sua espessura e densidade e o resultado encontrado para cada situação.

Tabela 2.2 - Composições testadas por Ferraz (2008)

Composição / Revestimento			Sem revest.	Porcelanato	Madeira Maciça
Material resiliente	Espessura	Densidade	L'n,W		
Laje em osso	10 cm	-	63 dB		
PISO COMPLETO					
Contrapiso	4 cm	-		60dB	59 dB
Lã de vidro	15 mm	60 kg/m ³		44 dB	53 dB
Polietileno	10 mm	35 kg/m ³	53 dB	54 dB	52 dB
2x lã de vidro	15 mm	60 kg/m ³		35 dB	
2 x polietileno	10 mm	35 kg/m ³		50 dB	
2 x lã de vidro + 2x polietileno	50mm 10 mm	40 kg/m ³ 35 kg/m ³		36 dB	
PISO SIMPLIFICADO (REDUZIDO)					
Contrapiso	5 cm	-	65 dB		
Polietileno	10 mm	35 kg/m ³	52 dB		
Lã de vidro	15 mm	60 kg/m ³	41 dB		
Lã de vidro	50 mm	40 kg/m ³	39 dB		

Fonte: Adaptado de Ferraz, 2008.

No decorrer da sua pesquisa a autora evidenciou alguns resultados, com os da comparação entre sistema com porcelanato e madeira maciça, cuja diferença é pequena não alterando o desempenho acústico do piso flutuante. Outro dado interessante foi apontado na comparação de testes com e sem isolamento lateral da alvenaria, que por fim veio a comprovar a importância de tal isolamento através dos seguintes resultados: sem isolamento lateral L'_{nw} 55 dB; com isolamento lateral L'_{nw} 43 dB.

A autora também comparou os resultados obtidos para os testes em piso completo e simplificados e conclui que em ambas as tipologias os resultados encontrados são muito similares. Porém vale destacar que a tipologia de piso completo apresenta revestimento, enquanto na tipologia de piso simplificado não foi utilizado. E como a própria autora destacou a camada de revestimento vem a influenciar o resultado final do isolamento.

Para testes em pisos flutuantes simplificados (reduzidos), a autora utilizou diversas combinações de materiais resilientes, destacando que:

- O acréscimo na espessura da manta de polietileno acima de 10 mm não causa alteração nos resultados;
- Já o acréscimo na espessura da manta de lã de vidro até 30 mm apresenta diferenças significativas nos resultados, porém acima de 30 mm não foi verificado nenhum ganho representativo.
- Sistema de piso com matas de lã de vidro e polietileno trabalhando simultaneamente a ordem dos materiais não alterou o resultado;

É importante ressaltar que Ferraz (2008) já faz um comparativo com o projeto da norma NBR 15575 existente, e observou que o critério estabelecido ($L'_{n,w} < 80$ dB) não serve de restrição às tipologias construtivas praticada no Brasil, visto que, em geral as edificações apresentam laje de concreto com espessura maior que 8 cm, tendo um valor de $L'_{n,w}$ entorno de 65 dB.

A pesquisa feita por Ferraz (2008) com teste *in situ* apresenta os resultados específicos para o edifício no qual o sistema de piso foi analisado, devido aos diferentes percursos das transmissões por flancos, causadas pelos diferentes componentes do sistema construtivo utilizado.

Pereyron (2008) no "estudo de tipologia de lajes quanto ao isolamento de ruído de impacto", realizou testes *in situ* em diferentes tipologias de laje: maciça, pré-moldada convencional, pré-moldada treliçada e nervurada. As quais estariam no mesmo estágio de acabamento. Para os testes foram utilizadas quatro posições de máquina de impacto e quatro posições de microfone fixo. A análise do tempo de reverberação foi feita através de fonte de ruído impulsiva (estouro de balão inflável).

Na Tabela 2.3 é possível verificar o sistema ensaiado, sua espessura e o resultado final encontrado.

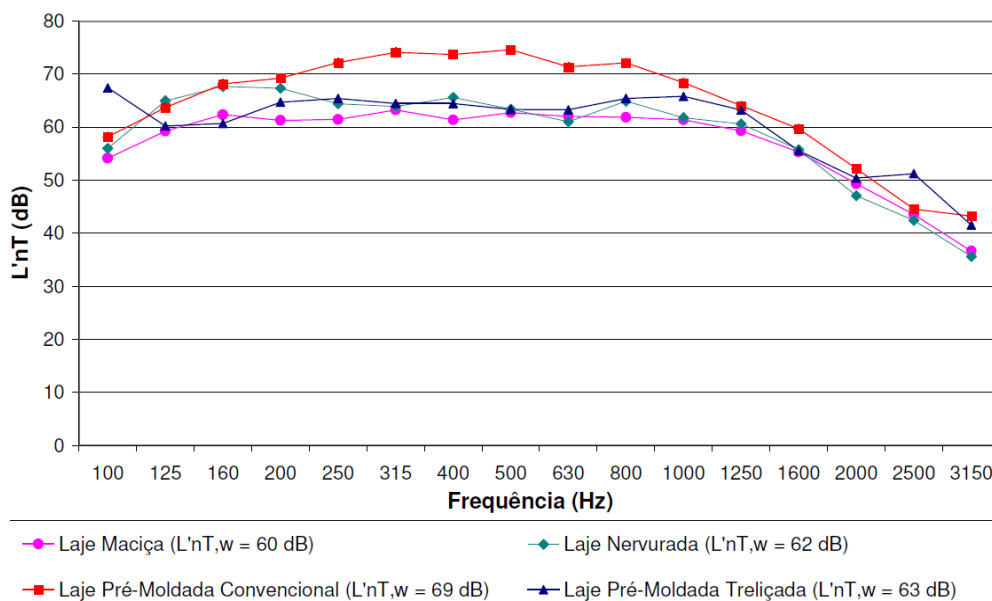
Tabela 2.3 - Composições testadas por Pereyron (2008)

Composição / Revestimento		Osso	Laminado
Tipo de laje	Espessura	$L'_{n,w}$	
Maciça	12 cm	60 dB	
Pré-moldada convencional	12 cm	69 dB	61 dB
Pré-moldada treliçada	15 mm	63 dB	
Nervurada	5,5 cm 22,5 cm	62 dB	59 dB

Fonte: Adaptado de Pereyron, 2008.

O autor, ao comparar as curvas de desempenho das diferentes tipologias construtivas observou que, a maioria das lajes apresentou certa semelhança em comparação às bandas de terço de oitava com exceção a pré-moldada convencional que se destaca apresentando desempenho inferior as demais, como se observa na Figura 2.9.

Figura 2.9 - Gráfico comparativo entre L'_{nT} para as tipologias de laje testadas por Pereyron (2008)



Fonte: Pereyron, 2008

Concluindo que as lajes mais rígidas com mais massa, possuem desempenho superior (maciça e a nervurada), e que os elementos de enchimento como as tabelas cerâmicas comprometem o desempenho do sistema nas lajes pré-moldadas, visto que diminuem a massa do sistema.

Deve-se destacar que os testes *in situ* são influenciados pelas condições do ambiente e estrutura, desse modo, os resultados apresentados no estudo de Pereyron são específicos para cada uma das obras analisadas, devido às características de fechamento e estrutura diferenciadas para cada obra, que influenciam nas transmissões por flancos. Logo a comparação entre os resultados não demonstra a real diferença existente entre os sistemas construtivos, para obter tal informação as diferentes lajes deveriam ser testadas nas mesmas condições desde o fechamento até a estrutura.

Neubauer (2009) com o "estudo comparativo entre diversas composições de pisos flutuantes em madeira natural - assoalho e tacos - quanto ao isolamento ao ruído de impacto", elaborado no laboratório da UFSM, em laje maciça com 12 cm de espessura. Utilizou amostras simplificadas de 1m², testando: tábua corrida 2 cm de espessura assentada em contrapiso de 3,2 cm com barrotes pregados as tábuas; e tacos de madeira com 2cm de espessura fixados no contrapiso com 4 cm com pregos. As medições foram feitas para quatro posições de máquina de impacto, utilizando contrapiso de 1x1 m, com três posições de microfone fixo.

A autora conclui que o uso do contrapiso contribui para melhoramento do sistema devido ao aumento de massa, e que a técnica de piso flutuante possibilita grandes ganhos no isolamento, destacando o desempenho do sistema com lã de vidro, como pode ser visto nos resultados apresentados pela Tabela 2.4 que traz as composições ensaiadas e os resultados encontrados pela autora.

Tabela 2.4 - Composições testadas por Neubauer (2009)

Composição / Revestimento			S/ contrapiso	C/ contrapiso	
			Tábua	Tábua	Tacos
Material resiliente	Espessura	Densidade	L' _{n,w}		
Laje em osso	12 cm	-	74 dB		
Revestimento		-	69 dB	66 dB	71 dB
Lã de vidro	15 mm	60 kg/m ³ ;	60 dB	50 dB	50 dB
Polietileno	5 mm		61 dB	63 dB	62 dB
Poliestireno expandido	25 mm	27,5 kg/m ³	63 dB	60 dB	61 dB

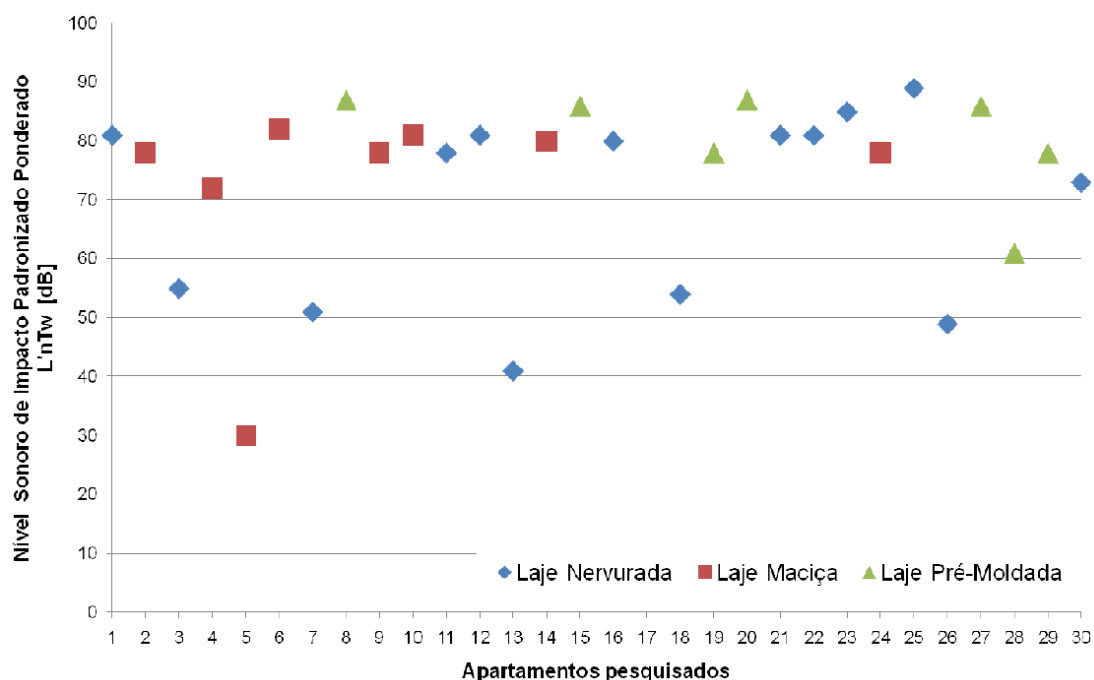
Fonte: Adaptado de Neubauer, 2009.

Cornacchia (2009) efetuou testes em 30 locais diferentes, com diversas tipologias de lajes, espessuras, tratamentos e revestimentos. Para os diversos testes utilizou quatro posições de máquina de impacto e cinco de microfone fixo, e a medição do tempo de reverberação foi feita com fonte omnidirecional.

A autora relata que não identificou uma relação direta entre o sistema construtivo e o nível sonoro resultante devido a grande variação dos valores de $L'_{nT,w}$ para cada tipologia de laje, como pode ser visto na Figura 2.10. Quanto aos revestimentos, destacou que a característica elástica do componente influencia diretamente no comportamento acústico final. Desse modo, têm-se os níveis mais baixos na seguinte ordem: carpetes, laminado de madeira, lajes no contrapiso e por último cerâmicos.

Comparando os resultados encontrados, com as exigências de alguns países estrangeiros, Cornacchia (2009) observou que os níveis de desempenho das lajes brasileiras não atendem aos níveis mínimos de isolamento exigidos por normas internacionais. Quanto ao atendimento ao projeto da norma NBR 15575, constatou-se que 20% das amostras se enquadram no desempenho superior, 3% no intermediário e 77% no nível mínimo, encontrando também valores superiores ao nível máximo previsto por norma.

Figura 2.10 - Gráfico comparativo entre L'_{nTw} encontrados para as diversas tipologias de lajes ensaiadas por Cornacchia (2009)



Fonte: (CORNACCHIA 2009)

Panosso (2015), no estudo "avaliação subjetiva do desempenho de soluções de isolamento sonoro ao ruído de impacto", realizado no laboratório da UFSM, buscou uma avaliação mais realista, para tal, adaptou o tempo de reverberação (T_{60}) da câmara de recepção, pra que representasse o T_{60} de um ambiente residencial, e também simulou a percepção sonora de uma pessoa utilizando o equipamento de medição adaptado a um manequim.

Os testes foram realizados sobre laje maciça, com sistema de piso flutuante simplificado (contrapiso 1x 1 metro e 4 cm de espessura) com uso de piso cerâmico e laminado, e diversos materiais resilientes. Para os testes com máquina de impacto

padrão utilizou quatro posições para máquina e quatro posições de microfone fixo, os resultados obtidos por esse método podem ser vistos na Tabela 2.5.

Os sistemas construtivos que apresentam melhor desempenho segundo a autora são aqueles compostos pelos materiais resilientes de lã de vidro e lã de PET, alcançando nível superior pela ABNT NBR 15575-3:2013. Os demais sistemas ficam no patamar intermediário. Outro fator que altera o desempenho final do sistema destacado pela autora é o tipo de piso utilizado, visto que, o sistema com piso cerâmico alcança $L'_{nT,w}$ de 76 dB enquanto o sistema com piso laminado chega 66 dB.

Tabela 2.5 - Desempenho das amostras testadas por Panosso (2015)

Composição / Revestimento		Cerâmico	Laminado
Materiais resilientes	Espessura	$L'_{nT,w}$	
Laje + contrapiso	12 cm + 4 cm	76 dB	66 dB
Neopreme	2 mm	65 dB	60 dB
EVA	6 mm	64 dB	62 dB
EVA	2,5 mm	67 dB	63 dB
Acustimix - borracha sintética	5mm	64 dB	59 dB
Sound Soft 10/600 - borracha reciclada	10 mm	59 dB	57 dB
Sound Soft 8/600 - borracha reciclada	8 mm	60 dB	57 dB
Sound Soft 5/600 - borracha reciclada	5 mm	62 dB	58 dB
Polipex Akustic - polietileno	8 mm	60 dB	57 dB
Polipex Akustic - polietileno	5,5 mm	59 dB	58 dB
F6 - poliestireno	20 mm	62 dB	61 dB
F5 - poliestireno	20 mm	62 dB	60 dB
Lã de vidro	80 mm	50 dB	50 dB
Kempercoustic plus - lã de PET	5 mm	55 dB	54 dB

Fonte: Adaptado de Panosso, 2015

Nunes et al. (2014) através de medições realizadas *in situ* analisaram diferentes sistemas de piso com laje de concreto maciço com espessuras de 10 cm e 12cm, laje treliçada com preenchimento de EPS e laje nervurada. Com revestimento em piso laminado e piso cerâmico (com variações no contrapiso). Usando quatro posições de máquina de impacto e cinco posições de microfone fixo para os testes.

Os resultados foram separados dois grupos: homogêneos (lajes de concreto maciço) e heterogêneos (lajes mistas). Visto que, os meios de propagação são mais complexos em sistema não homogêneos, já que a heterogeneidade da vigota/tabela leva a diferenças significativas nas transmissões por flancos. Na Tabela 2.6 tem se a configuração do sistema testado e o resultado final,

Tabela 2.6 - Desempenho das amostras testadas por Nunes et al. (2014)

Sigla	Composição do sistema homogêneo	L'nT,w
CL1	Concreto maciço 10 cm + contrapiso 5 cm + laminado 7 mm + polipropileno 5 mm	54 dB
CL2	Concreto maciço 10 cm + contrapiso 5 cm + laminado 7 mm + polietileno expandido 2 mm	56 dB
CL3	Concreto maciço 12 cm + contrapiso c/ brita leve 4 cm + laminado 7 mm + polietileno expandido 2 mm	60 dB
CC	Concreto maciço 12 cm + contrapiso c/ brita leve 4 cm + porcelanato + polietileno expandido 2 mm	78 dB
Sigla	Composição do sistema heterogêneo	L'nT,w
TL	Treliçada com EPS 5 cm e capa de 4cm + contrapiso 4 cm + laminado 7 mm	63 dB
TC	Treliçada com EPS 5 cm e capa de 4cm + contrapiso 4 cm + cerâmica esmaltada	85 dB
NL	Nervurada com cubetas de EPS + contrapiso com brita leve 5cm + argamassa 2 cm + laminado 7 mm	50 dB

Fonte: Adaptado de Nunes et al., 2014.

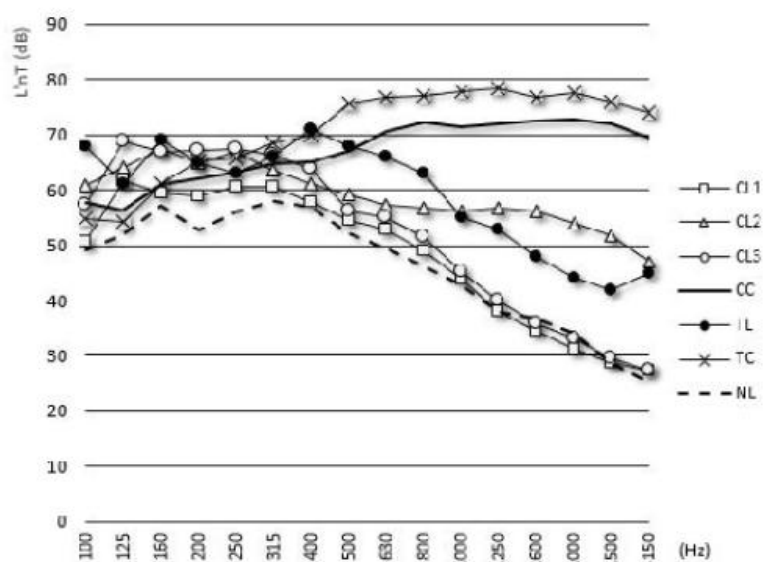
Na Figura 2.11 é possível verificar o desempenho das configurações por faixa de frequência. Observa-se que os sistemas com piso cerâmico trazem uma curva ascendente (CC e TC) enquanto os demais com piso laminado possuem curva em decaimento, os autores salientam que somente o tipo de piso não é responsável pelo desempenho já que nas curvas das composições CL2 e TL o caimento não segue a mesma tendência.

Outro dado importante apresentado pela pesquisa de Nunes et al. (2014) diz respeito a comparação entre resultados obtidos para ruído aéreo e ruído de impacto, com a qual foi possível perceber a influência do tipo de piso nos resultados, levando em conta a fixação dos mesmos sobre o sistema. No piso cerâmico a argamassa de fixação depois de seca confere maior rigidez ao sistema, já no piso laminado as peças não possuem vínculo rígido, propiciando espaços para transmissão de ruído aéreo por flancos. Desse modo, concluíram que os sistemas homogêneos atendem aos requisitos da NBR 15575 com variações decorrentes dos tipos de vínculo do

revestimento. E os sistemas heterogeneos apresentam fragilidades decorrentes da espessura reduzida e ausência de vínculo entre as peças.

Logo, segundo os autores os materias que compões o sistema de piso apresentam características diversas e inumeras possibilidades de combinação, as quais aliadas a execução da obra irão definir a qualidade do isolmaneto acústico. Assim os materias que constituem o sistema de piso não podem ser considerados individualmente.

Figura 2.11 - Desempenho das amostras



Fonte: Nunes et al., 2014.

Di Bella e Luison (2011), no estudo sobre redução de ruído de impacto em piso flutuante com sistema de aquecimento, evidenciaram que, como os sistemas de aquecimento e isolamento são instalados praticamente na mesma fase da construção e com técnicas semelhantes, sendo interessante o isolamento que o conjunto proporciona.

Os autores destacam que as propriedades de redução sonora são difíceis de prever, frente à complexa composição do pavimento inteiro, que deve levar em conta tubulação elétricas, diferentes tipos de piso e diferentes tipos de sistemas construtivos de lajes.

Dessa maneira, procuraram testar dois tipos de laje: laje maciça de concreto com 14 cm de espessura e laje nervurada com lajotas cerâmicas com 25 cm de

espessura (20 cm dos blocos e 5 cm das vigas), tipos construtivos de pisos comuns na Itália e no sul da Europa.

Utilizando também um contrapiso de 6 cm, e dois tipos de acabamento de piso, *parquet* e cerâmica. O *parquet* foi aplicado sem cola e separado por uma camada de papelão corrugado e a cerâmica foi colada diretamente sobre o contrapiso com uso de argamassa.

Os testes realizados em laboratório de acordo com a ISO 10140-1 consideraram a supressão das transmissões de flanco. Os materiais resilientes utilizados foram painéis de poliestireno (EPS) combinados com mantas de borracha reciclada de diferentes tipos: grânulos de borracha de pneus, borracha de resíduos industriais e um misto de pneus e grânulos de cortiça.

Logo Di Bella e Luison, conseguiram comparar os resultados dos diferentes sistemas construtivos, e também os resultados entre os diferentes tipos de revestimento utilizados. Tais resultados estão listados na Tabela 2.7, conforme o acabamento do qual o teste foi realizado.

Tabela 2.7 - Desempenho das amostras testadas por Di Bella e Luison (2011)

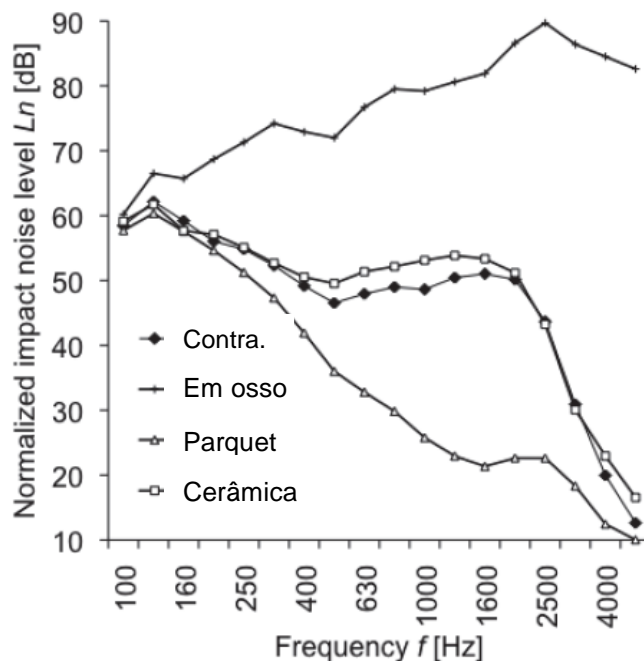
Amostra / Ln'w	Contrapiso	Cerâmica	<i>Parquet</i>
Laje maciça em osso - 82 dB			
EPS1 -RR1	54 dB		
EPS1 -RR2	53 dB		
EPS2 -RR1	54 dB		
Laje nervurada em osso - 92 dB			
EPS1-RR1	59 dB	57 dB	49 dB
EPS1-RR2	55 dB	56 dB	48 dB
EPS2-RR1	58 dB	56 dB	49 dB
EPS2-RR2	55 dB	55 dB	49 dB
EPS2-RR3	58 dB	57 dB	61 dB

Fonte: Adaptado de Di Bella e Luison, 2011.

Verifica-se que o painel de laje maciça em osso alcança um $L_{n'w}$ de 82 dB enquanto o painel de laje nervurada com bloco cerâmico em osso chega a 92 dB. Uma diferença considerável, que após adição da camada resiliente se perde.

Na Figura 2.12 têm-se as curvas de desempenho do sistema de laje nervurada com lajota cerâmica em diferentes condições de revestimento.

Figura 2.12 - Gráfico comparativo entre L'_n os resultados de diferentes pisos testados no sistema de laje nervurada com lajinha cerâmica por Di Bella e Luison (2011)



Fonte: Adaptado de Di Bella e Luison, 2011.

É possível observar que a adição do contrapiso já eleva o desempenho do sistema, bem como o desempenho do sistema com piso de *parquet* é superior ao o sistema com piso cerâmico, esse ultimo tendo os resultados muito similares ao sistema somente no contrapiso.

Santos (2012) aponta que, o maior desafio tanto para projetistas como construtoras é a dificuldade de interromper as vibrações do sistema de laje, devido à rigidez dos vínculos dos componentes da estrutura. Enfatiza que o aumento da espessura do sistema seria uma solução se não fosse economicamente inviável, já que o ganho fica na ordem de 0,5 dB a 1 dB a cada centímetro acrescentado na composição, e como alternativa mais eficiente destaca os excelentes desempenhos obtidos empregando a técnica de piso flutuante.

2.5. NORMATIZAÇÃO

A norma brasileira que aponta os requisitos de desempenho das edificações habitacionais é a ABNT NBR 15575:2013, na parte 3 da respectiva norma encontram-se os critérios para verificação do isolamento acústico do sistema de pisos entre unidades autônomas. Os procedimentos para obtenção do parâmetro de avaliação imposto pela norma são descritos nas ISO 140-7 (atualizada para ISO 16283-2) e ISO 717-2.

2.5.1. NBR 15575-3:2013

A ABNT NBR 15575:2013 foi publicada com intuito de melhorar a qualidade da habitabilidade das edificações, propondo níveis mínimos de desempenho a serem respeitados nas mais diversas categorias. No trabalho em questão, serão observadas as exigências que constam na parte 3 (Requisitos para os sistemas de piso), no que diz respeito ao desempenho acústico, considerando o isolamento de ruído de impacto.

Desse modo, para determinar o isolamento de ruído no sistema de pisos, devem-se adotar os parâmetros de verificação especificados pela NBR 15575-3, conforme a Tabela 2.8.

Tabela 2.8 - Parâmetros acústicos de avaliação

Símbolo	Descrição	Norma	Aplicação
$L'_{nT,w}$	Nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado	ISO 140-7 ISO 717-2	Sistema de piso

Fonte: ABNT NBR 15575-3:2013, tabela 5, pg. 20.

Conforme NBR 15575-3:2013, para avaliar o som resultante de ruídos de impacto (obtidos com uso de uma fonte de impacto padrão), entre unidades habitacionais, utiliza-se o método descrito na ISO 140-7, e para a determinação dos valores de nível de pressão sonora padrão ponderado, $L'_{nT,w}$ aplica-se a ISO 717-2.

A NBR 15575-3:2013 estabelece ainda valores mínimos de desempenho a serem adotados, conforme Tabela 2.9.

Tabela 2.9 - Critério de pressão sonora de impacto padrão ponderado, $L'_{nT,w}$

Elemento	$L'_{nT,w}$ dB
Sistema de pisos separando unidades habitacionais autônomas posicionadas em pavimentos distintos.	≤ 80
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 vestuários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas) sobre unidades habitacionais autônomas.	≤ 55

Fonte: ABNT NBR 15575-3:2013, tabela 6, pg. 21.

E considera, ainda, a possibilidade de melhoria na qualidade da edificação, estabelecendo níveis de desempenho intermediário (I) e superior (S) além do mínimo (M), conforme Tabela 2.10.

Tabela 2.10 - Critério e nível de pressão sonora de impacto-padrão ponderado, $L'_{nT,w}$

Elemento	$L'_{nT,w}$ dB	Nível de desempenho
Sistema 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, como home theater, salas de ginástica, 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: ABNT NBR 15575-3:2013, anexo E, tabela E. 1, pg. 40

2.5.2. ISO 16283-2:2018

A ISO 140-7:1998, especificada na NBR 15575-3:2013, foi revisada para ISO 16283-2:2018 (Acoustics - Field measurement of sound insulation in buildings and of buildings elements - Part 2: Impact Sound Insulation) a qual foi utilizada no estudo.

A ISO 16283-2 especifica procedimentos para determinar o isolamento de ruído de impacto obtendo medidas de nível de pressão sonora geradas por uma fonte de impacto. Aponta os instrumentos utilizados para as medições como: a máquina de impacto padrão e o equipamento de medição do tempo de reverberação. E traz, também, os procedimentos de ajustes dos instrumentos e

exige a certificação dos mesmos. Estabelece o procedimento padrão para medição de nível de pressão sonora de acordo com: posições de fonte de impacto; posições de microfone fixo; medição de ruído de fundo; e medição de tempo de reverberação.

Quanto à fonte de impacto, determina que, deve ser colocada em pelo menos quatro posições diferentes distribuídas aleatoriamente sobre o piso. A distância das arestas do piso deve ser ao menos 0,5 m e a posição da linha de martelo deve estar a 45° da direção de vigas, nervuras e etc.

Para as posições do microfone fixo, estabelece que, devem ser iguais ou múltiplos inteiros do número de posições da máquina de impacto. O mesmo número de posição de microfone deve ser usado para cada posição da máquina.

A Tabela 2.11 tem as recomendações quanto ao número de posições para microfone e máquina de impacto conforme a área das salas e o tipo de sistema construtivo do piso. Portanto para o tipo 1 consideram-se sistemas construtivos que utilizam nervuras ou vigotas, e concreto com menos de 10 cm de espessura; e o tipo 2, sistema construtivo em concreto sólido com mais de 10 cm de espessura e espaços ociosos.

Tabela 2.11 - Número de posições para microfone e máquina de impacto determinado pela área das salas de emissão e recepção

Área na sala de emissão, m ²	Número de posições	Área na sala de recepção, m ²			
		≤ 50		≥ 50	
		Tipo 1a	Tipo 2b	Tipo 1	Tipo 2
<20	Máquina de impacto	4	4	4	4
	Microfone fixo ou manual	4	4	8	8
	Microfone em movimento	1	1	2	2
20 a 50	Máquina de impacto	8	4	8	4
	Microfone fixo ou manual	4	4	8	8
	Microfone em movimento	1	1	2	2
>50	Máquina de impacto	8	8	8	8
	Microfone fixo ou manual	4	4	8	8
	Microfone em movimento	1	1	2	2
a Divisória tipo 1	Repartição com vigas de madeira, vigotas ou nervuras de concreto e concreto maciço com espessura menor que 100 mm. Aplicado a todos os tipos de revestimento.				
b Divisória tipo 2	Concreto maciço com espessura igual ou maior que 100 mm, elementos de concreto clinker e elementos de concreto ociosos. Aplicado a todos os tipos de revestimento.				

Fonte: ISO 16283-2:2015, anexo D, tabela D.1, pg. 32 - tradução livre pela autora.

Segundo a ISO 162863-2:2018 se quatro ou cinco posições da máquina de impacto são usadas, ao menos duas medições de nível de pressão sonora de impacto devem ser feitas para cada posição, e as medições devem ser feitas em pelo menos duas posições diferentes de microfone para cada posição da máquina. Se seis ou mais posições de máquina de impacto são utilizadas, ao menos uma medição de nível de pressão sonora de impacto deve ser feita para cada posição, e as medições devem ser realizadas com posições diferentes de microfone.

O posicionamento do microfone deve respeitar as seguintes distâncias: 0,7 m entre a posição dos microfones fixos; 0,5 m entre qualquer posição de microfone e as arestas da sala; e 1,0 m entre qualquer posição de microfone e a partição excitada pela fonte de impacto.

Após as medições realizadas na sala de recepção para cada posição da máquina de impacto, tem-se a determinação do nível de pressão sonora, através dos cálculos descritos a seguir.

Nível de pressão sonora média (L_i) é a média logarítmica energética para as diferentes posições de microfone, para cada posição de máquina de impacto, conforme Equação 1.

$$L_i = 10 \lg \left(\frac{p_1^2 + p_2^2 + \dots + p_n^2}{n p_0^2} \right) \quad (1)$$

Onde:

L_i = nível de pressão sonora média (dB)

$p_1^2 + p_2^2 + \dots + p_n^2$: são as medidas de pressão sonora para as diferentes posições de microfone

p_0 : é a referência de pressão sonora igual a $20 \mu Pa$

Na prática, o nível de pressão sonora média é determinado pela Equação 2.

$$L_i = 10 \lg \left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n 10^{L_j/10} \right) \quad (2)$$

Nível de pressão sonora de impacto padronizado (L'_{nT}) é o nível de pressão sonora (L_i) corrigido, dado em decibel, sendo dez vezes o logaritmo comum da razão do tempo de reverberação medido, T , para o tempo de reverberação de referência, T_0 , calculado conforme a Equação 3.

$$L'_{nT} = L_i - 10 \lg \frac{T}{T_0} \quad (3)$$

Onde:

T : tempo de reverberação na sala de recepção

T_0 : é a referência de tempo de reverberação, para moradias, $T_0 = 0,5s$

O processo de cálculo acima deve ser repetido para cada posição da máquina de impacto.

As medições de nível de ruído de fundo (L) devem ser feitas para certificar que o nível de sinal na sala de recepção não é afetado por ruídos externos, e assim permitir sua correção. O nível de ruído de fundo deve ser pelo menos 6 dB (preferencialmente mais que 10 dB) abaixo do nível de sinal e ruído de fundo combinados em cada banda de frequência. Se a diferença for menor que 10 dB, mas maior que 6 dB, calcula-se a correção para nível de pressão sonora de impacto médio conforme Equação 4. Se for menor ou igual a 6 dB em qualquer banda de frequência deve-se usar 1,3 dB para correção.

$$L = 10 \lg \left(10^{\frac{L_{sb}}{10}} - 10^{\frac{L_b}{10}} \right) \quad (4)$$

Onde:

L : nível de sinal ajustado em dB

L_{sb} : nível de sinal e ruído de fundo combinados em dB

L_b : nível de ruído de fundo em dB

No final, calcula-se o nível de pressão sonora de impacto padronizado médio (L'_{nT}), conforme pela Equação 5.

$$L'_{nT} = 10 \lg \left(\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m 10^{L'_{nTj}/10} \right) \quad (5)$$

Onde:

m : número de posições da máquina de impacto

L'_{nTj} : nível de pressão sonora padronizada pra cada posição da máquina de impacto j

Para as medições de tempo de reverberação, a ABNT NBR ISO 3382-2:2017 descreve dois métodos: o de interrupção de ruído, e o de resposta integrada de impulso.

Quando usado método de ruído interrompido, o número mínimo de medidas requeridas para cada banda de frequência é seis, com pelo menos duas posições de alto-falante. Devem ser usadas três posições de microfone, com duas medições em cada posição, ou seis posições de microfone e uma medição em cada posição.

Já para o método resposta integrada de impulso, usando fonte de impulso, o número mínimo de medições requeridas para cada banda de frequência também é seis, onde ao menos uma posição de fonte e seis posições de microfone devem ser usadas.

A ISO 16283-2 estabelece como os resultados devem ser apresentados. O formato estipulado para o gráfico é dado conforme o anexo A desse trabalho, acompanhado de textos que descrevem todas as informações relevantes de local, construção, procedimento e resultados.

2.5.3. ISO 717-2:2013

A ISO 717-2:2013 Acoustics - Rating of sound insulation in buildings and of buildings elements - Part 2: Impact sound insulation, define como deve ser feito o tratamento dos dados alcançados pra obtenção de um número único de isolamento de impacto, ou seja, o nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado ($L'_{nT,w}$). Utiliza um método de comparação, para avaliar o resultado de uma medição L'_{nT} , com a curva de referência. Os valores da curva de referência são dados na Tabela 2.12.

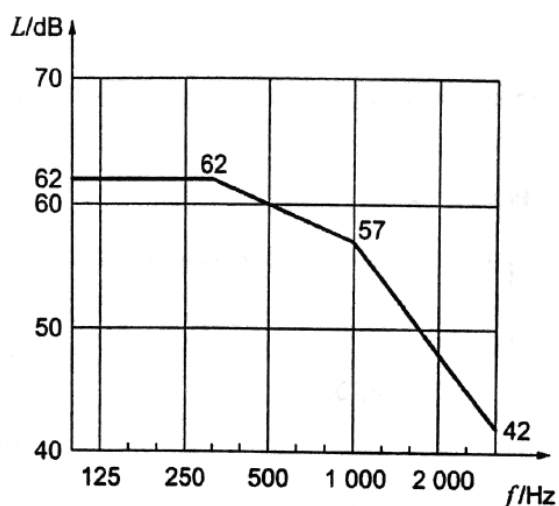
Tabela 2.12 - Valores de referência para ruído de impacto

Frequência Hz	Valores de referência dB	
	Banda de terço de oitava	Bandas de oitava
100	62	67
125	62	
160	62	
200	62	67
250	62	
315	62	
400	61	65
500	60	
630	59	
800	58	62
1000	57	
1250	54	
1600	51	49
2000	48	
2500	45	
3150	42	

Fonte: ISO 717-2:2013, tabela 3, pg. 4 - tradução livre pela autora.

E a curva de referência pode ser visualizada na Figura 2.13.

Figura 2.13 - Curva de valores de referência para ruído de impacto, bandas de terço de oitava

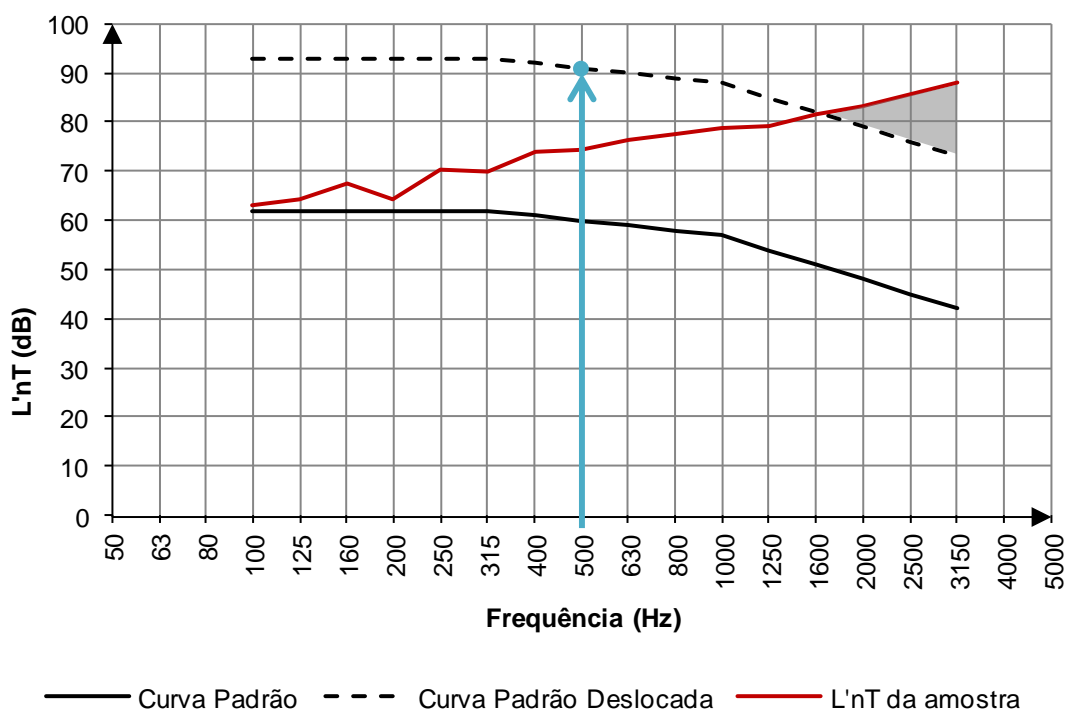


Fonte: ISO 717-2:2013, pg. 4

Desse modo, tem-se o gráfico com os dados do nível de pressão sonora de impacto padronizado (L'_{nT}), em bandas de terço de oitava (100 Hz a 3150 Hz) em relação à frequência, no qual a curva de referência é ponderada com os dados medidos. Para isso, deve-se deslocar a curva de referência em quantidades de 1 dB até que a soma dos desvios desfavoráveis (valores acima da curva de referência) seja o maior possível, porém sem ultrapassar 32 dB.

Após o deslocamento da curva de acordo com procedimento, o valor único em decibel é o ponto no qual a curva de referência deslocada encontra a reta de 500 Hz. A Figura 2.14 traz um exemplo do deslocamento da curva de referência, destacando os desvios desfavoráveis acima da curva de referência deslocada e, o ponto que determina o valor de $L'_{nT,w}$ na faixa de 500 Hz.

Figura 2.14 - Exemplo de deslocamento da curva de referência



Fonte: Autora

A descrição dos resultados deve ser feita com um número único dado como referência nessa parte da ISO 717-2, e os resultados das medidas são dados conforme gráfico especificado na ISO 16283-2:2018.

2.6. TIPOLOGIA DE LAJES PRÉ-MOLDADAS

As tipologias de laje pré-fabricadas estão entre os sistemas construtivos mais utilizados atualmente.

Conforme nos apresenta Silva (2012), o sistema construtivo é composto pelos seguintes elementos:

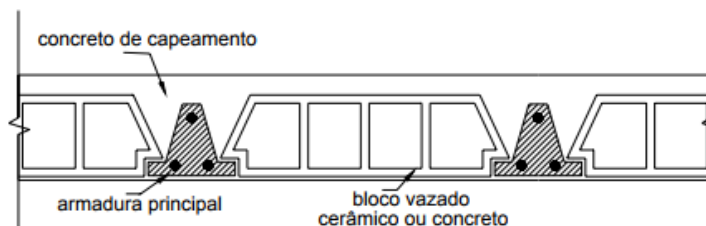
- Vigotas: elementos resistentes do sistema na fase de montagem, distribuídas de forma unidirecional, normalmente na direção do menor vão, apoiadas apenas pelas suas extremidades;
- Blocos de enchimento: material leve colocado entre as vigotas, com objetivo de reduzir o volume de concreto, o peso próprio da laje e altura, servindo como forma para capa de concreto;
- Armadura: armadura de distribuição com função de absorver tensões e evitar fissuração da capa de concreto, localizada acima do elemento de enchimento;
- Capa de concreto: moldado no local sobre os elementos pré-fabricados confere homogeneidade à tipologia.

E a classificação da tipologia segundo Silva (2012) se dá em função do tipo de vigota utilizada: vigota de concreto armado (VC); vigota de concreto protendido (VP); e vigota com armadura treliçada (VT).

2.6.1. Vigota de concreto armado (VC)

As vigotas de concreto armado apresentam seção "T" invertida, com armadura principal passiva (fios e barras) totalmente envolvida pelo concreto, como pode ser visto na Figura 2.15. Gaspar (1997) aponta duas restrições quanto a aplicação dessa tipologia, não atendem a grandes vãos e nem a grandes cargas acidentais, cobrindo em geral vãos de 4 m a 6 m, sendo empregadas somente em obras residenciais ou de ocupação semelhante, devido ação das cargas concentradas e dinâmicas.

Figura 2.15 - Esquema de laje com vigota de concreto armado

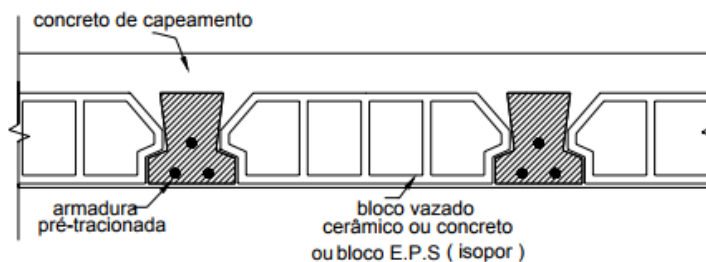


Fonte: (MERLIN 2002)

2.6.2. Vigota de concreto protendida (VP)

Fabricadas pelo processo de protensão inicial (tracionam as armaduras antes da concretagem), no qual a armadura principal é ativa (fios aderentes). As vigotas de concreto protendida têm as mesmas seções transversais das vigotas em concreto armado comum, porém com algumas vantagens, como capacidade de vencer maiores vãos, têm maior resistência ao cisalhamento e menores deformações. O esquema de construção pode ser visto na Figura 2.16.

Figura 2.16 - Esquema de laje com vigota de concreto protendida



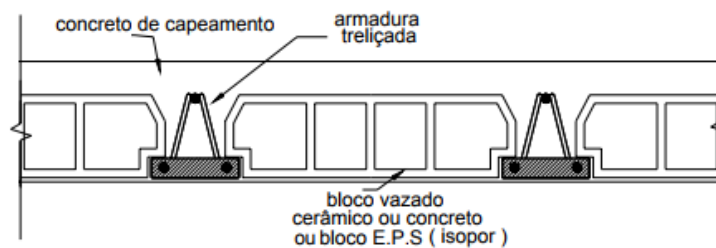
Fonte: (MERLIN 2002)

Algumas das vantagens oferecidas por essa tipologia, se comparada com as demais pré-fabricadas, dizem respeito à redução dos escoramentos das lajes, pois possuem capacidade portante, além de apresentarem melhores condições de atender ao estado limite de deformação excessiva. Uma das maiores desvantagens apontadas por Merlin (2002) diz respeito ao fato de que, dependendo do vão final, podem resultar em elementos pesados dificultando o manuseio, transporte e montagem das mesmas.

2.6.3. Vigota treliçada (VT)

Formadas por armaduras treliçadas eletrosoldada (capaz de alojar armadura passiva inferior de tração - fios e/ou barras) e por uma placa de concreto em sua base, conforme pode ser visto na Figura 2.17. As características geométricas dessas vigotas permitem a formação de nervuras transversais, fazendo com que esse sistema possa ser armado em duas direções. Segundo Gaspar (1997), a utilização dessa tipologia permite vencer vãos da ordem de 12 m e, em algumas condições, podem atingir vãos maiores.

Figura 2.17 - Esquema de laje com vigota treliçada



Fonte: (MERLIN 2002)

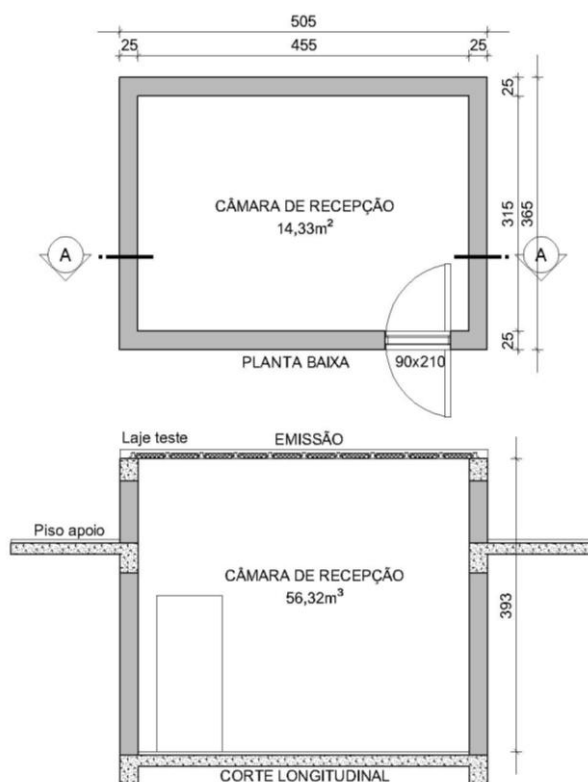
3. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesse capítulo abordam-se os materiais e métodos utilizados na obtenção dos dados, caracterizando o local dos testes, os equipamentos utilizados, a relação de materiais e suas características e os procedimentos e parâmetros adotados na obtenção e análise dos dados.

3.1. LOCAL DO ENSAIO

Os ensaios foram realizados no laboratório da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), constituído de duas câmaras adjacentes sobrepostas, de recepção com área de $14,33 \text{ m}^2$ e volume de $56,32 \text{ m}^3$ e de emissão com área de $14,33 \text{ m}^2$. As paredes da câmara de recepção são compostas por blocos de concreto com 19 cm de espessura, e os septos dos blocos foram preenchidos com argamassa traço 1:4. A parede possui reboco de 3 cm em ambos os lados, totalizando 25 cm de espessura final. A Figura 3.1 ilustra planta baixa e corte das mesmas.

Figura 3.1 - Planta baixa e corte longitudinal das câmaras de ensaio (cm)



Fonte: Autora

3.2. EQUIPAMENTOS

Os equipamentos disponibilizados pelo laboratório da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) para os ensaios estão listados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Descrição dos aparelhos disponibilizados para os ensaios

Descrição	Fabricante	Modelo
Máquina de impacto padrão	01dB	CALPEST-one
Fonte acústica dodecaédrica	01dB	OMNI 12
Amplificador 01dB	01dB	AMPLI 12
Calibrador de nível sonoro	01 dB	Cal 21, classe 1
Medidor de nível sonoro 01dB	01 dB	Black Solo, classe 1
Microfone capacitivo	GRAS	MCE 212
Pré-amplificador de microfone 01dB	Metravib	PRE 21 S
Termo-higrôbarometro digital	instruterm	THB100
Software 01dB	dBBati Building acoustics	versão 5.3

Fonte: Autora

A Figura 3.2 apresenta a máquina de impacto utilizada nos ensaios.

Figura 3.2 - Máquina de impacto



Fonte: Autora

3.3. MATERIAIS

Elencam-se aqui os materiais utilizados na composição das amostras para os testes e suas características.

3.3.1. Materiais de revestimento

Para material de revestimento, utilizou-se o piso cerâmico de porcelanato 50x50 cm, com 9 mm de espessura.

3.3.2. Materiais resilientes

Os seguintes tipos de materiais resilientes foram utilizados na composição do sistema de piso flutuante:

Lã de vidro: material fibroso, fabricado a partir de sílica e sódio, revestido com película impermeável e vendida em placas ou rolos. Na Figura 3.3 pode ser visto o painel de 15 mm, ensaiado sob contrapiso;

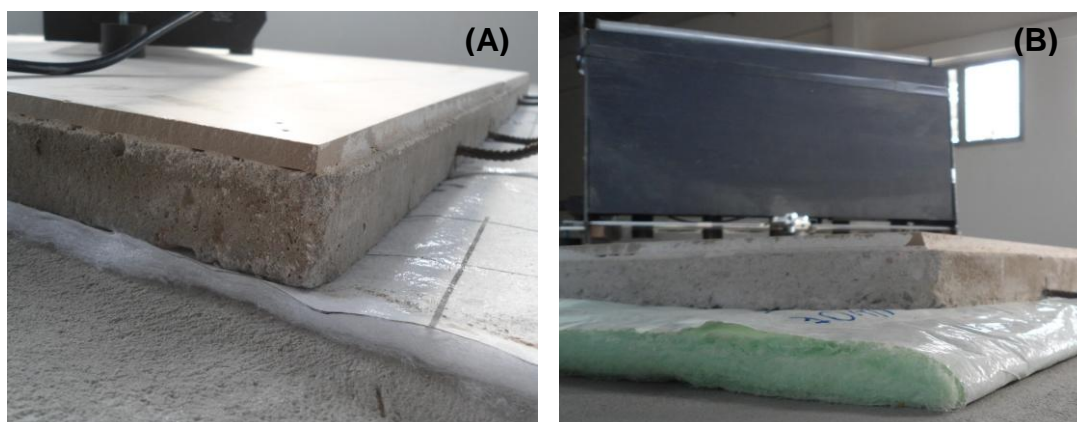
Figura 3.3 - Painel de lã de vidro 15 mm sob contrapiso



Fonte: Autora

Lã de poliéster (PET): material fibroso, feito através da reciclagem de garrafas pet, revestido com película impermeável, vendido em rolos. As mantas ensaiadas são de diferentes fabricantes e espessuras. Na Figura 3.4 têm-se duas amostras ensaiadas sob contrapiso.

Figura 3.4 - Manta de lã de poliéster, amostra (A) de 8 mm, e (B) de 10 mm sob contrapiso



Fonte: Autora

Polipropileno expandido (EPP): a resina de polipropileno é combinada com outros ingredientes, para depois ser expandida. As principais características são: alta resistência a impactos, resistência química e leveza. O material é encontrado em rolos. Na Figura 3.5 observa-se a amostra de 2 mm ensaiada sob contrapiso.

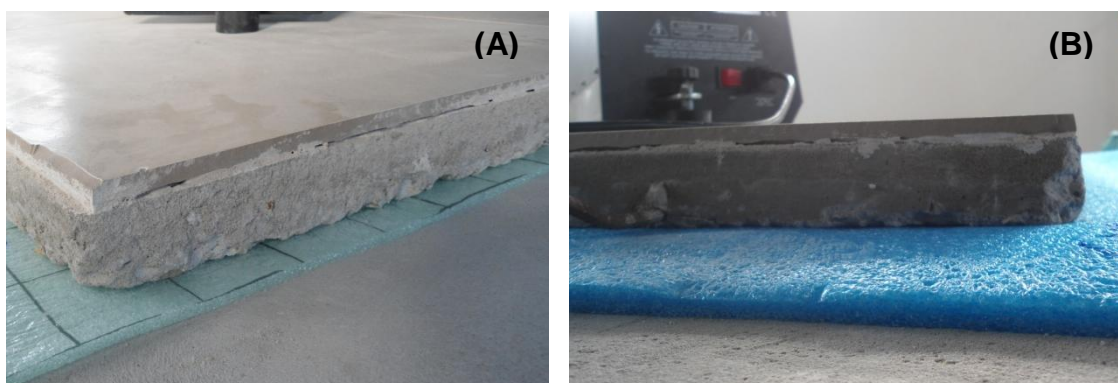
Figura 3.5 - Manta de polipropileno expandido 2 mm sob contrapiso



Fonte: Autora

Polietileno expandido (EPE): é um termoplástico, derivado do etileno, quimicamente resistente, expandido ao ser submetido ao processo de extrusão, deixando-o com uma característica espumosa. A manta é encontrada em rolos. A Figura 3.6 traz dois modelos ensaiados.

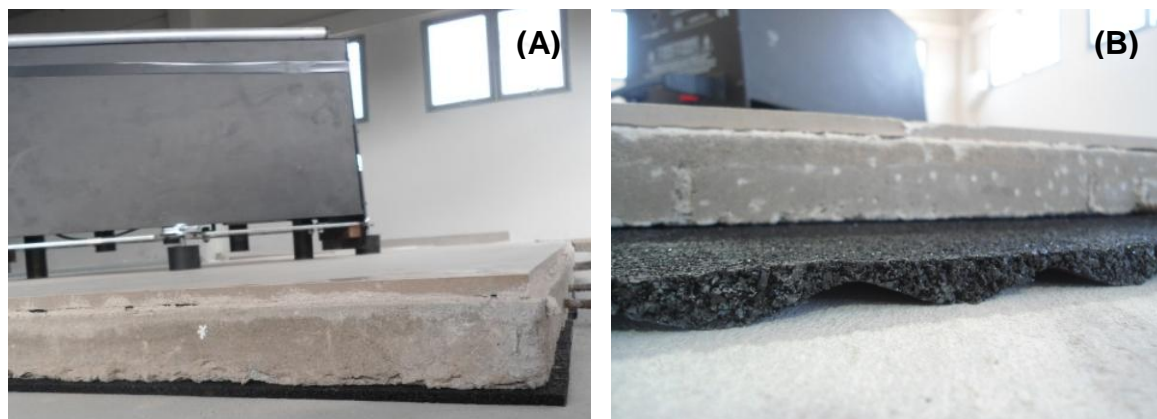
Figura 3.6 - Manta de polietileno, amostra (A) de 5 mm, e (B) de 10 mm sob contrapiso



Fonte: Autora

Borracha reciclada: grânulos de pneus reciclados, aglomerados com poliuretano. Na Figura 3.7 podem ser visto dois modelos ensaiados

Figura 3.7 - Manta de borracha reciclada, amostra (A) de 5 mm, e (B) de 8/4 mm sob contrapiso



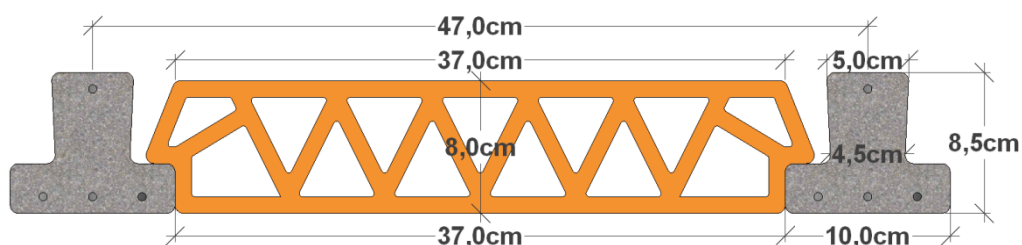
Fonte: Autora

Em alguns casos foram testados mais de um material para o mesmo grupo, como visto nas imagens anteriores. Os quais podem ser do mesmo fabricante com espessuras distintas, ou de fabricantes diferentes e mesma espessura.

3.3.3. Montagem da laje

A laje pré-moldada protendida utilizada nos ensaios possui as seguintes características: vigota com largura de 10 cm, altura de 8,5 cm e combinação de 4 fios protendidos de 5 mm; tabelas cerâmicas com largura de 37 cm, altura de 8 cm e profundidade de 20 cm, e distância entre eixos de 47 cm. O esquema de montagem e dimensões pode ser visto na Figura 3.8.

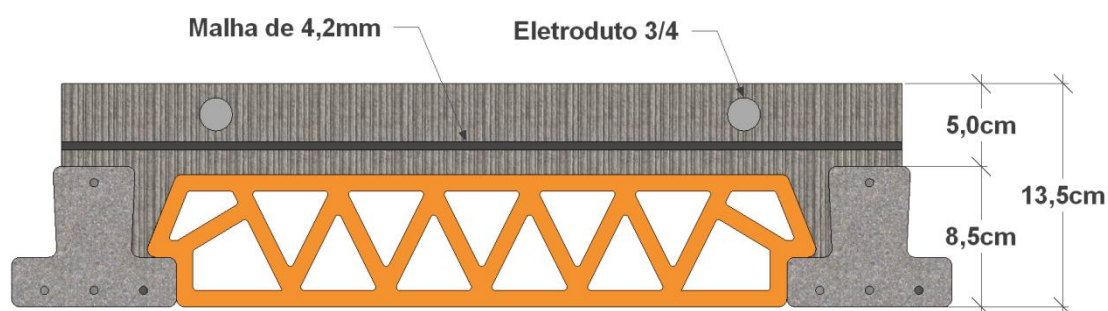
Figura 3.8 - Dimensões de vigota e tabela cerâmica para montagem da laje protendida



Fonte: Autora

Considerou-se 5 cm de mesa de compressão com concreto usinado de 25 MPa, com adição de malha 15x15 cm bitola de 4,2 mm, e eletrodutos 3/4 no seu interior, totalizando 13,5 cm a altura final como pode ser visualizado na Figura 3.9.

Figura 3.9 - Dimensões finais da laje com mesa de compressão e contrapiso de regularização



Fonte: Autora

A laje montada no local de ensaios conforme a descrição pode ser vista na Figura 3.10.

Figura 3.10 - Montagem da composição no local de ensaio



Fonte: Autora

3.3.4. Configurações para ensaio

Além do teste com laje em "osso", para uma melhor compreensão do funcionamento da tipologia construtiva, foram propostas diversas amostras a serem ensaiadas, que podem ser vistas na Tabela 3.2.

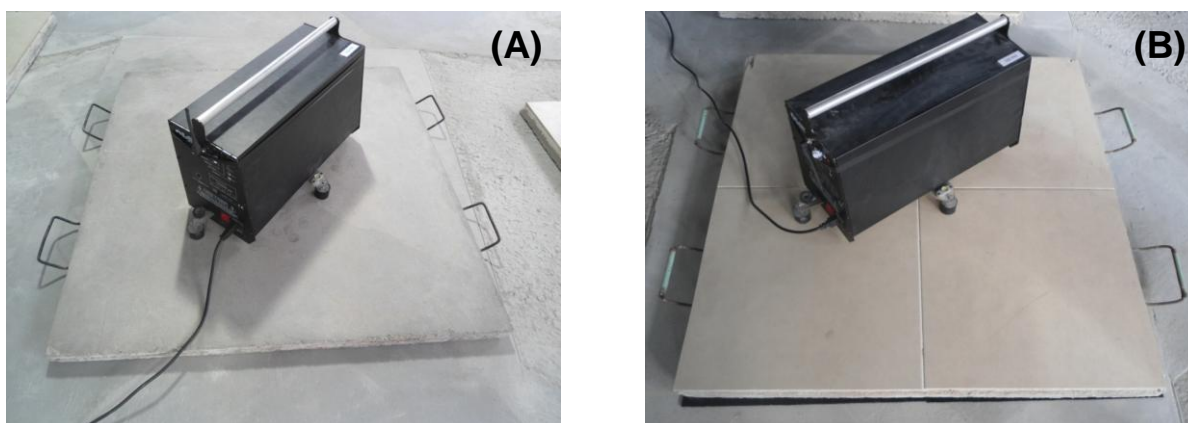
Tabela 3.2 - Amostras para ensaio

Amostra	Composição	Montagem
1	Laje em "osso"	
2	Laje + contrapiso (4 cm)	
3	Laje + contrapiso (4 cm) + revestimento cerâmico	
4 a 18	Laje + material resiliente + contrapiso (4 cm) + revestimento cerâmico	

Fonte: Autora

As placas de contrapiso utilizadas foram confeccionadas com argamassa traço 1:4, com malha de arame para dar sustentação e alças laterais para facilitar o deslocamento, com espessura final de 4 cm. Na Figura 3.11 (A) tem-se a placa de contrapiso confeccionada sendo utilizada em um ensaio. O mesmo modelo de placa foi utilizado para assentamento do revestimento cerâmico, totalizando 5 cm de espessura final. A Figura 3.11 (B) apresenta a placa com revestimento cerâmico sendo utilizada no ensaio.

Figura 3.11 - Placa de contrapiso (A), e placa com revestimento cerâmico (B), utilizadas nos ensaios



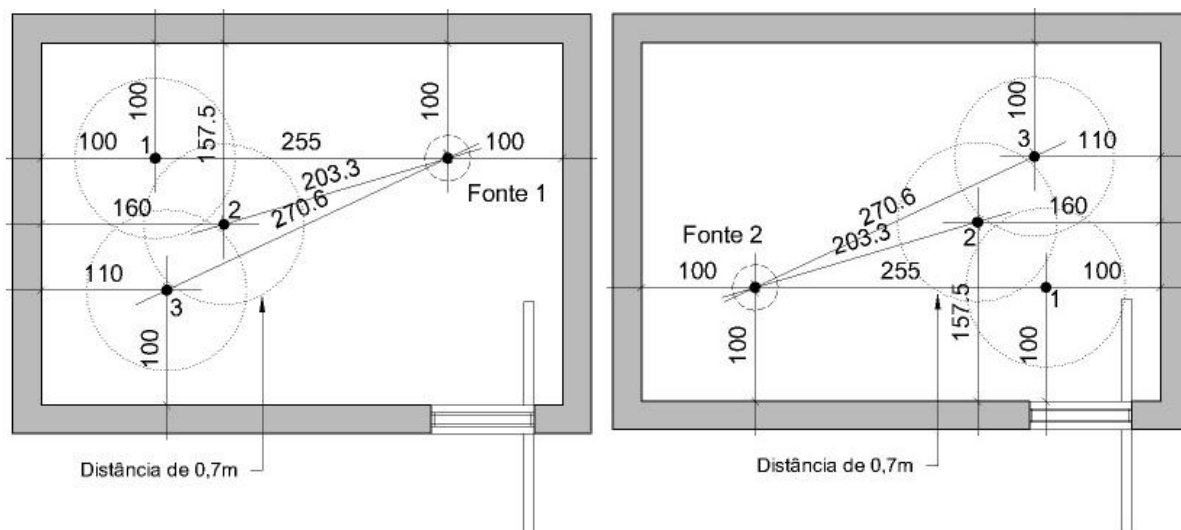
Fonte: Autora

3.4. PROCEDIMENTOS E PARÂMETROS

O tempo de reverberação na sala de recepção foi medido usando o método de ruído interrompido, com duas posições para o alto-falante e três posições para microfone com alturas distintas: 1 (1,30 m), 2 (1,90 m), e 3 (2,30 m). Fazendo-se duas medições para cada posição de microfone, conforme parâmetros estabelecidos pela ABNT NBR ISO 3382-2:2017. Na Figura 3.12 tem-se o croqui dos posicionamentos.

Para a medição do nível de ruído de fundo e do nível de pressão sonora do ruído de impacto, determinam-se quatro posições de máquina de impacto, distribuídas conforme a Figura 3.13 (A), respeitando a distância de 0,5 m das arestas do piso e o posicionamento da linha de martelos a 45° em relação à posição das vigotas.

Figura 3.12 - Posicionamento da fonte e microfones (cm)

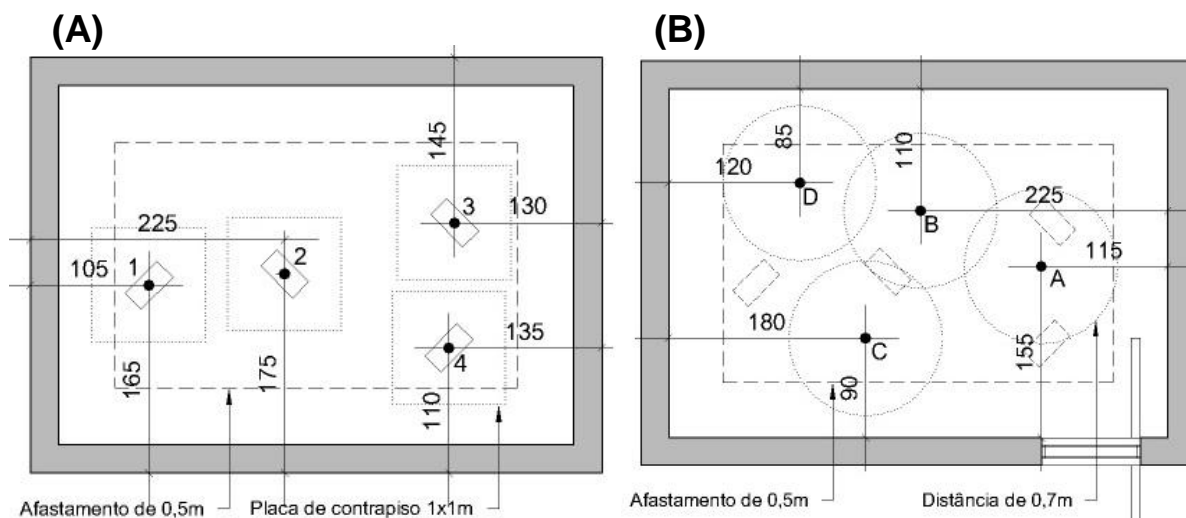


Fonte: Autora

Quanto aos microfones, foram utilizadas quatro posições de microfone com alturas diferentes: A (1,20 m), B (1,60 m), C (2,10 m) e D (1,50 m). Realizando-se duas medições para cada posição de microfone. A Figura 3.13 (B) traz o posicionamento dos microfones.

Após obtenção dos dados utilizando os procedimentos descritos, faz-se o tratamento valores finais de nível de pressão sonora padronizada (L'_{nT}) conforme ISO 717-2, de modo a definir um valor único de $L'_{nT,w}$, que expresse o desempenho acústico do sistema ensaiado em dB.

Figura 3.13 - Posicionamento da máquina de impacto (A), e posicionamento dos microfones (B)



Fonte: Autora

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esse capítulo contempla a organização dos resultados obtidos com os testes em laboratório, conforme a metodologia citada anteriormente. Os resultados são apresentados em forma de gráfico com os valores de nível de pressão sonora padronizada (L'_{nT}) por faixa de frequência em bandas de terço de oitava, e a obtenção do valor único de nível de pressão sonora padronizado ponderado ($L'_{nT,w}$) segue os parâmetros da ISO 717-2:2013.

Inicialmente, tem-se a análise dos resultados para: laje em osso, laje com contrapiso e laje com contrapiso e revestimento cerâmico. Os quais servirão como referência para o entendimento do desempenho acústico do sistema.

Em seguida, tem-se a análise dos resultados obtidos para o sistema de piso flutuante dividido por grupo de materiais resilientes.

4.1. ANÁLISE DAS AMOSTRAS DE REFERÊNCIA

Esse item do trabalho contempla a análise individual dos resultados das amostras de referência, enumeradas na Tabela 4.1, juntamente com informações de configuração de montagem e espessura final. O desempenho das amostras é expresso em forma de gráfico contendo os valores de L'_{nT} por faixa de frequência em bandas de terço de oitava.

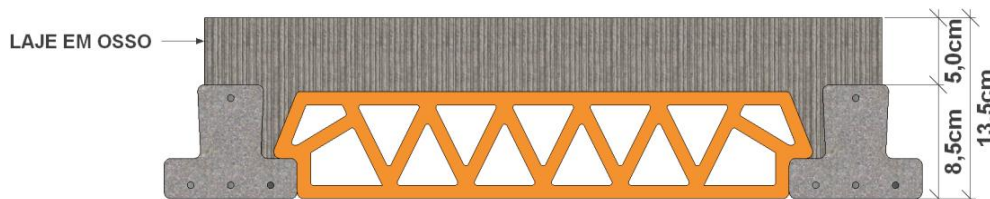
Tabela 4.1 - Amostras de referência

Amostra	Composição	Espessura
1	Laje em osso	13,5 cm
2	Laje + contrapiso (4 cm)	17,5 cm
3	Laje + contrapiso (4 cm) + revestimento cerâmico	18,5 cm

4.1.1. Amostra 1: laje em osso

A amostra laje em osso ensaiada corresponde ao sistema estrutural bruto, sem regularização ou contrapiso. O modelo da configuração ensaiada pode ser visto na Figura 4.1.

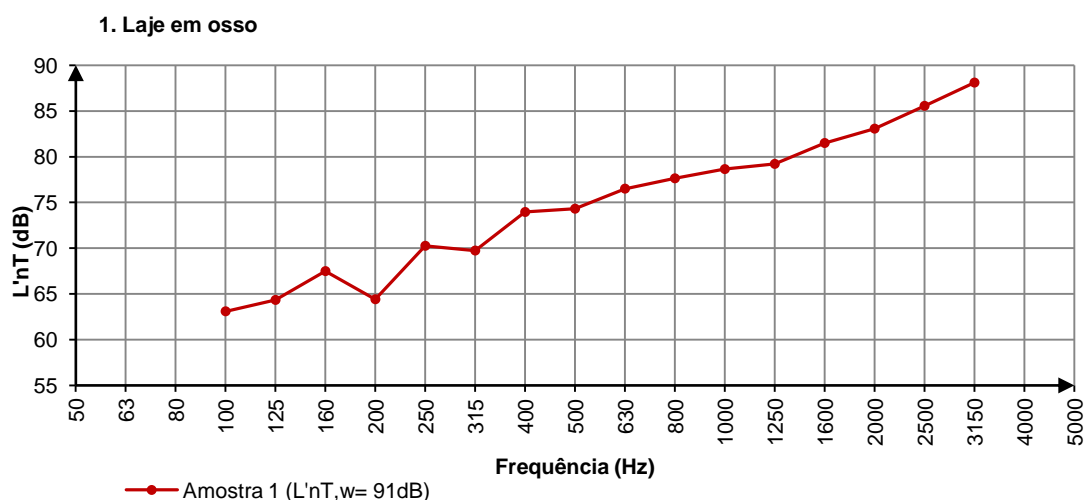
Figura 4.1 - Modelo da configuração ensaiada amostra 1: Laje em osso



Fonte: Autora

A Figura 4.2 traz o espectro de isolamento ao ruído de impacto da laje em osso (amostra 1), onde o desempenho da amostra se mantém abaixo dos 70 dB em baixas frequências, apresentando um pico no isolamento na faixa de 200 Hz. Já nas faixas seguintes a curva se mantém crescente, aproximando-se dos 90 dB em altas frequências. O $L'_{nT,w}$ da amostra é de 91 dB, muito acima do nível mínimo de 80 dB indicado pela NBR 15575-3:2013.

Figura 4.2 - Desempenho da amostra 1: Laje em osso

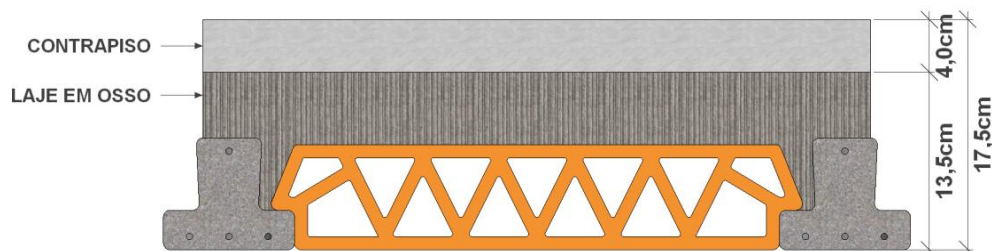


f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1k	1,25k	1,6k	2k	2,5k	3,15k
L'nT 1	63	64	67	64	70	70	74	74	77	78	79	79	81	83	85	88

4.1.2. Amostra 2: laje com contrapiso (4 cm)

A amostra laje com contrapiso 4 cm refere-se ao ensaio onde a placa de contrapiso é colocada sobre a laje em osso. A configuração final pode ser vista no modelo da Figura 4.3.

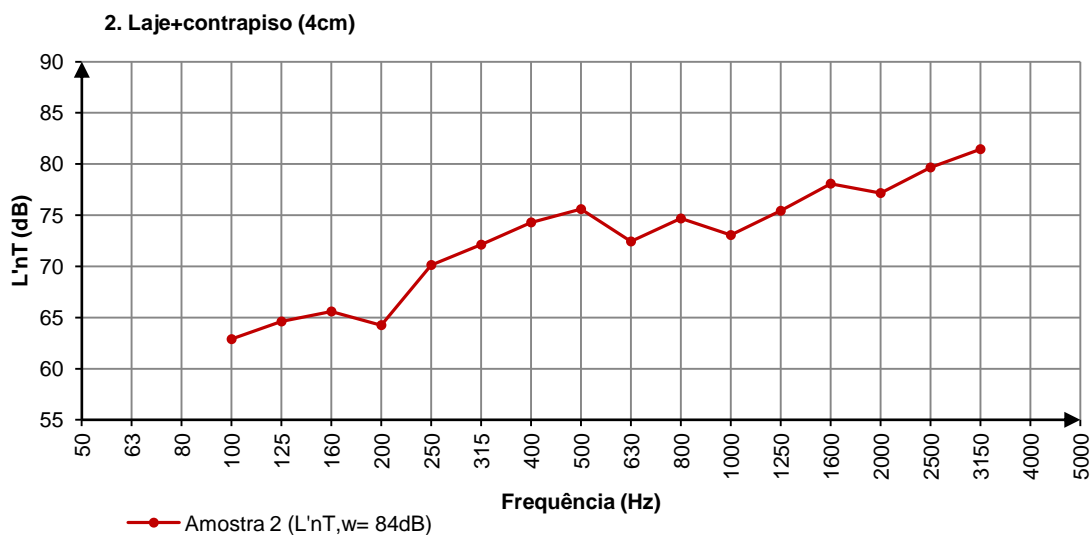
Figura 4.3 - Modelo da configuração ensaiada amostra 2: Laje+contrapiso (4 cm)



Fonte: Autora

Na Figura 4.4 tem-se a variação do nível de pressão sonora referente ao isolamento ao ruído de impacto da laje com contrapiso de 4 cm (amostra 2), a qual demonstra um comportamento semelhante a amostra 1, ficando abaixo dos 70 dB em baixas frequências, com um pico no isolamento na faixa de 200 Hz, mantendo-se crescente nas faixas seguintes, porém com uma curva mais dispersa, chegando próximo dos 80 dB em altas frequências. O $L'_{nT,w}$ da amostra é de 84 dB, com uma diferença de 7 dB em relação a amostra 1.

Figura 4.4 - Desempenho da amostra 2: Laje + contrapiso (4 cm)

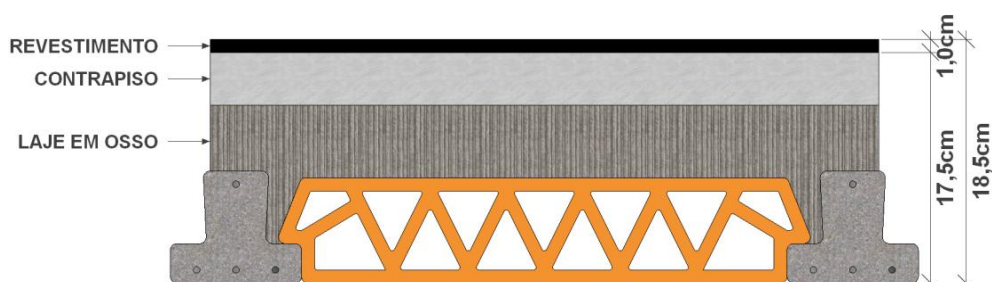


f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1k	1,25k	1,6k	2k	2,5k	3,15k
$L'_{nT} 2$	63	65	66	64	70	72	74	76	72	75	73	75	78	77	80	81

4.1.3. Amostra 3: laje com contrapiso (4 cm) com revestimento cerâmico

A amostra laje com contrapiso de 4 cm com revestimento cerâmico trata-se do revestimento cerâmico assentado sobre a placa de contrapiso, que é colocada sobre a laje em osso. A Figura 4.5 traz o modelo ensaiado.

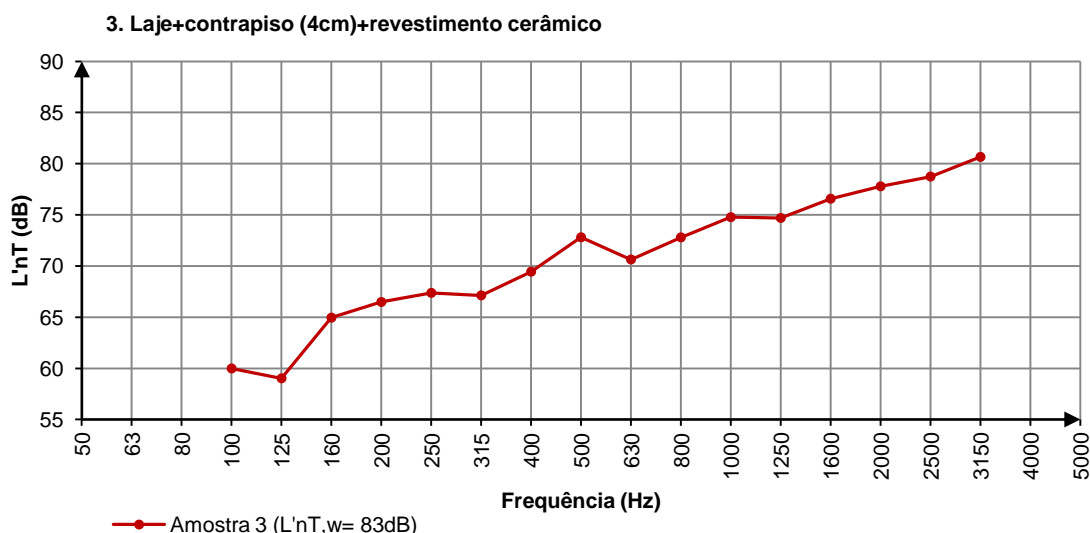
Figura 4.5 - Modelo da configuração ensaiada amostra 3: Laje + contrapiso (4 cm) + revestimento cerâmico



Fonte: Autora

Na Figura 4.6 observa-se espectro de isolamento ao ruído de impacto da laje com contrapiso de 4 cm com revestimento cerâmico (amostra 3), cujo desempenho nas baixas frequências fica próximo dos 60 dB, com um pico de isolamento na faixa de 125 Hz. Acima dessa frequência a curva segue crescente atingindo a faixa dos 80 dB em altas frequências. O $L'_{nT,w}$ da amostra é de 83 dB, com uma diferença de 8 dB em relação a 1.

Figura 4.6 - Desempenho da amostra 3: Laje + contrapiso (4 cm)+revestimento cerâmico



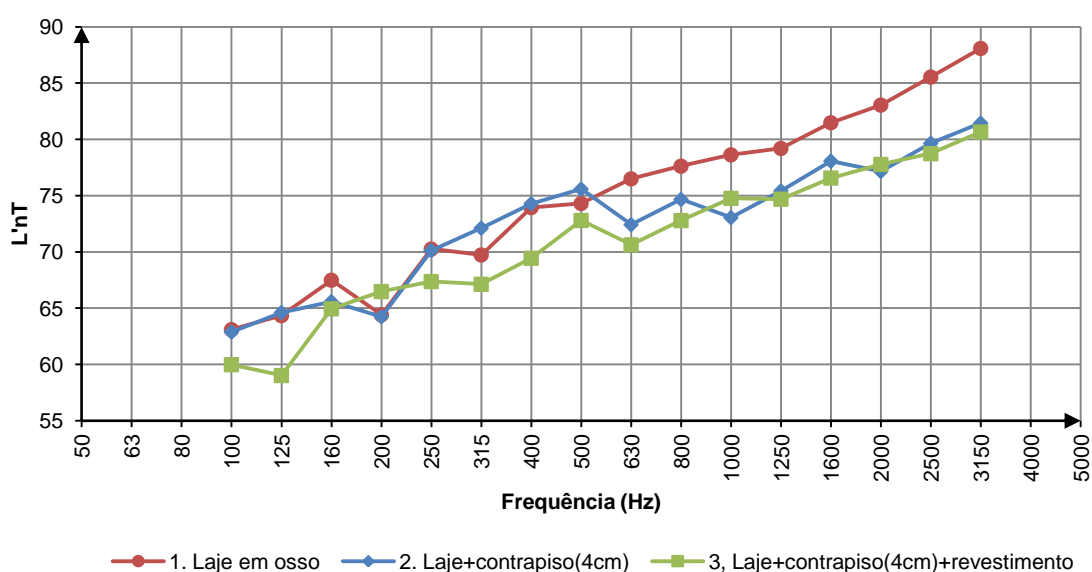
f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1k	1,25k	1,6k	2k	2,5k	3,15k
L'_{nT} 3	60	59	65	66	67	67	69	73	71	73	75	75	77	78	79	81

4.1.4. Comparação dos resultados das amostras de referência

A comparação entre os desempenhos das amostras de referência ajuda a compreender o funcionamento das diferentes camadas do sistema construtivo.

O gráfico da Figura 4.7 evidencia o modo como cada camada atua por faixa de frequência. Observa-se que as curvas demonstram alguma semelhança. As amostras 1 e 2 apresentam um pico no isolamento na faixa de 200 Hz, enquanto na amostra 3 o pico ocorre na faixa de 125 Hz. Após essas faixas as curvas seguem ascendentes.

Figura 4.7 - Comparação do desempenho acústico das amostras de referência



f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1k	1,25k	1,6k	2k	2,5k	3,15k
L'nT 1	63	64	67	64	70	70	74	74	77	78	79	79	81	83	83	88
L'nT 2	63	65	66	64	70	72	74	76	72	75	73	75	78	77	80	81
L'nT 3	60	59	65	66	67	67	69	73	71	73	75	75	77	78	79	81

Quanto ao isolamento, a amostra 2 possui um desvio padrão em relação à amostra 1 na faixa de 250 Hz a 500 Hz. Após essa faixa, o ganho no isolamento da amostra 2 é significativo. Já a amostra 3, quando comparada à amostra 2, possui isolamento maior em baixa frequência, e nas frequências de 200 Hz, 1 kHz e 2 kHz ocorrem perdas no isolamento.

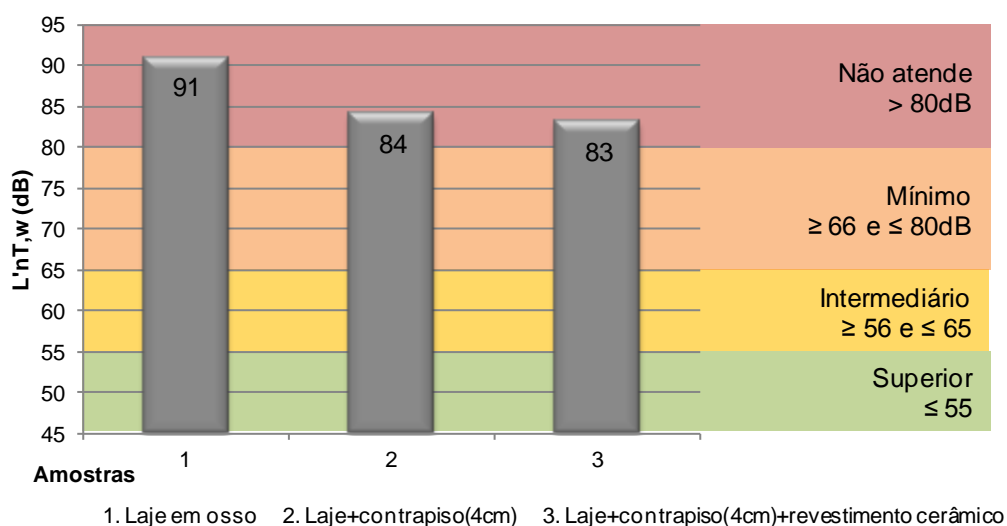
Na Figura 4.8 tem-se a comparação entre os resultados de $L'_{nT,w}$ das amostras com os níveis de desempenho apontados pela NBR 15575-3:2013, de modo a classificá-los perante o critério que leva em consideração o sistema de piso, separando unidades habitacionais autônomas.

Nota-se que o $L'_{nT,w}$ da laje em osso está muito acima do nível mínimo de 80 dB indicado pela norma. Porém, com a adição do contrapiso de 4 cm, percebe-se

uma melhora de 7 dB. Já o acréscimo de 1 cm do revestimento cerâmico sobre o contrapiso aumenta a isolação em mais 1 dB.

Mesmo havendo uma melhora no desempenho com o aumento da espessura do sistema, nenhuma das configurações atinge o nível mínimo exigido pela NBR 15575-3:2013 de $L'_{nT,w} \leq 80$ dB. Portanto, a tipologia construtiva com vigota pré-moldada protendida, contrapiso 4 cm e revestimento cerâmico, necessita de tratamento acústico para se enquadrar na normativa brasileira.

Figura 4.8 - Comparação dos resultados das amostras de referência com o critério para sistema de piso separando unidades autônomas



4.2. ANÁLISE DAS AMOSTRAS DE PISO FLUTUANTE

Essa seção abrange a análise dos resultados das amostras de piso flutuante, dividida por grupos conforme o tipo de material resiliente. O desempenho das amostras é dado em forma de gráfico contendo os valores de L'_{nT} por faixa de frequência em bandas de terço de oitava.

Para melhor compreender a eficiência do sistema de piso flutuante, seus resultados serão comparados com os resultados da amostra de referência 3 (laje+contrapiso (4 cm)+revestimento cerâmico).

A Tabela 4.2 contém as amostras de piso flutuante, enumeradas e divididas conforme o grupo do material resiliente utilizado na composição do sistema, contendo as informações de densidade e espessura do material, fornecidas pelos fabricantes.

Observa-se que existem em um mesmo grupo de materiais resilientes espessuras duplicadas. Isso ocorre devido aos materiais serem de fabricantes diferentes.

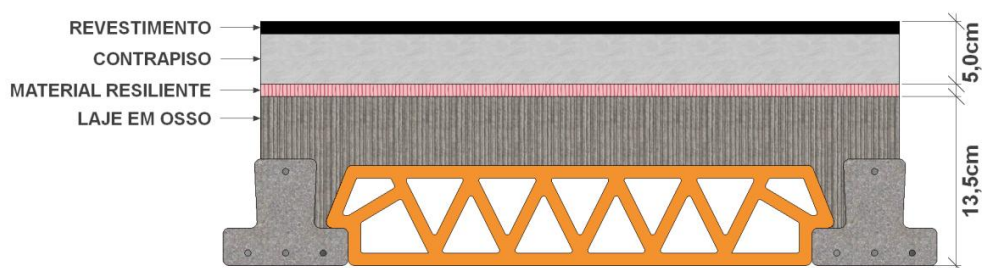
Tabela 4.2 - Materiais Resilientes

Amostra	Material	Densidade	Espessura
4	Lã de vidro	60 kg/m ³	15 mm
5	Lã de Poliéster (PET)	30 kg/m ³	8 mm
6		36 kg/m ³	8 mm
7		80 kg/m ³	5 mm
8		+/- 60 kg/m ³	+/- 4 mm
9		+/- 60 kg/m ³	+/- 5 mm
10		60 kg/m ³	10 mm
11		Polipropileno Expandido (EPP)	42 kg/m ³
12	Polietileno Expandido (EPE)	20 kg/m ³	5 mm
13		25 kg/m ³	5 mm
14		25 kg/m ³	10 mm
15		65 kg/m ³	10 mm
16	Borracha reciclada	-	5 mm
17		600 kg/m ³	5 mm
18		750 kg/m ³	8/4 mm

Fonte: Autora

A configuração dos ensaios de piso flutuante seguiu a montagem apresentada na Figura 4.9, no qual o material resiliente é colocado entre a laje em osso e a placa de contrapiso com revestimento cerâmico.

Figura 4.9 - Modelo de montagem

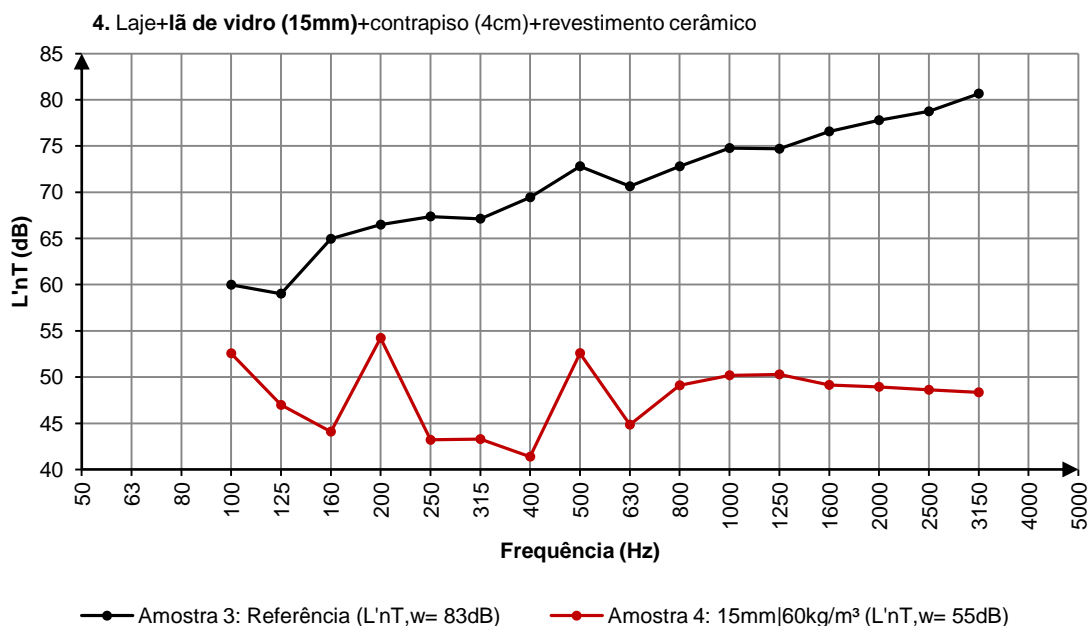


Fonte: Autora

4.2.1. Amostra 4: piso flutuante com lã de vidro

O desempenho acústico para composição: laje + lã de vidro (15 mm) + contrapiso (4 cm) + revestimento cerâmico, pode ser visto no gráfico da Figura 4.10.

Figura 4.10 - Desempenho da amostra 4: piso flutuante com lã de vidro



f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1k	1,25k	1,6k	2k	2,5k	3,15k
REF	60	59	65	66	67	67	69	73	71	73	75	75	77	78	79	81
L'nT 4	53	47	44	54	43	43	41	53	45	49	50	50	49	49	49	48

A adição da lã de vidro na composição faz com que a curva da amostra 4 fique abaixo dos 55 dB. Os picos de perda no isolamento que chegam a 55 dB ocorrem nas frequências de 100 Hz, 200 Hz e 500 Hz, porém mantendo uma margem maior que 10 dB de diferença da curva de referência. O maior ganho no isolamento está na faixa de 400 Hz com valor de 41 dB. A curva se mantém estável nas altas frequências, e próxima aos 50 dB.

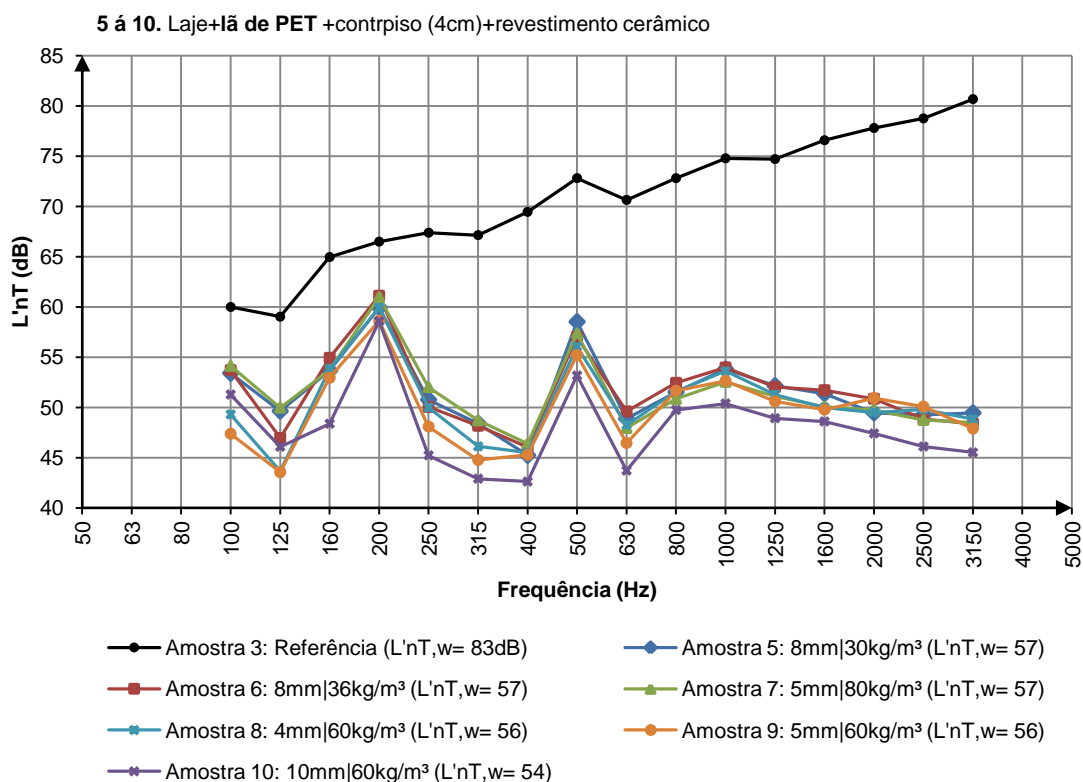
Quando comparada à amostra 3, nota-se uma diferença acima de 20 dB entre as curvas em grande parte do gráfico.

A amostra tem um $L'_{nT,w}$ de 55dB, atingindo nível superior perante a norma de desempenho, com uma diferença de 28 dB para amostra 3.

4.2.2. Amostras 5 a 10: piso flutuante com lã de poliéster (PET)

No gráfico da Figura 4.11 observam-se as curvas do desempenho acústico para disposição: laje + lã de PET (espessuras e densidades variadas) + contrapiso (4 cm) + revestimento cerâmico.

Figura 4.11 - Desempenho das amostras 5 a 10: piso flutuante com lã de PET



f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1k	1,25k	1,6k	2k	2,5k	3,15k
REF	60	59	65	66	67	67	69	73	71	73	75	75	77	78	79	81
L'nT 5	53	50	54	60	51	48	45	59	49	52	54	52	51	49	49	49
L'nT 6	54	47	55	61	50	48	46	57	50	52	54	52	52	51	49	48
L'nT 7	54	50	54	61	52	49	46	57	48	51	53	51	50	50	49	49
L'nT 8	49	44	54	60	50	46	45	56	48	52	54	51	50	49	50	49
L'nT 9	47	44	53	59	48	45	45	55	46	52	53	51	50	51	50	48
L'nT 10	51	46	48	59	45	43	43	53	44	50	50	49	49	47	46	46

O sistema de piso flutuante com lã de PET, de marcas, espessuras e densidades distintas, apresentam curvas muito semelhantes, as quais estão em grande parte próximas dos 50 dB. Os picos de isolamento ocorrem nas frequências de 125 Hz, 250 Hz a 400 Hz e 630 Hz, alcançando valores entre 45 dB e 50 dB. E as perdas no isolamento nas frequências de 200 Hz e 500 Hz com resultados entre 55 dB e 60 dB. As curvas estabilizam e decrescem a partir de 1 kHz em todas as amostras, deixando evidente o funcionamento do material.

Comparado os resultados com a amostra 3, percebe-se que até 200 Hz a diferença entre as curvas fica entre 5 dB e 10 dB, após essa faixa a diferença dobra, e em altas frequências, chega a 30 dB.

As amostras 5, 6 e 7 alcançam um $L'_{nT,w}$ de 57 dB, classificando-se como nível intermediário, bem próximas ao nível superior pela norma de desempenho, assim como as amostras 8 e 9, que atingem $L'_{nT,w}$ de 56 dB. Já o desempenho da amostra

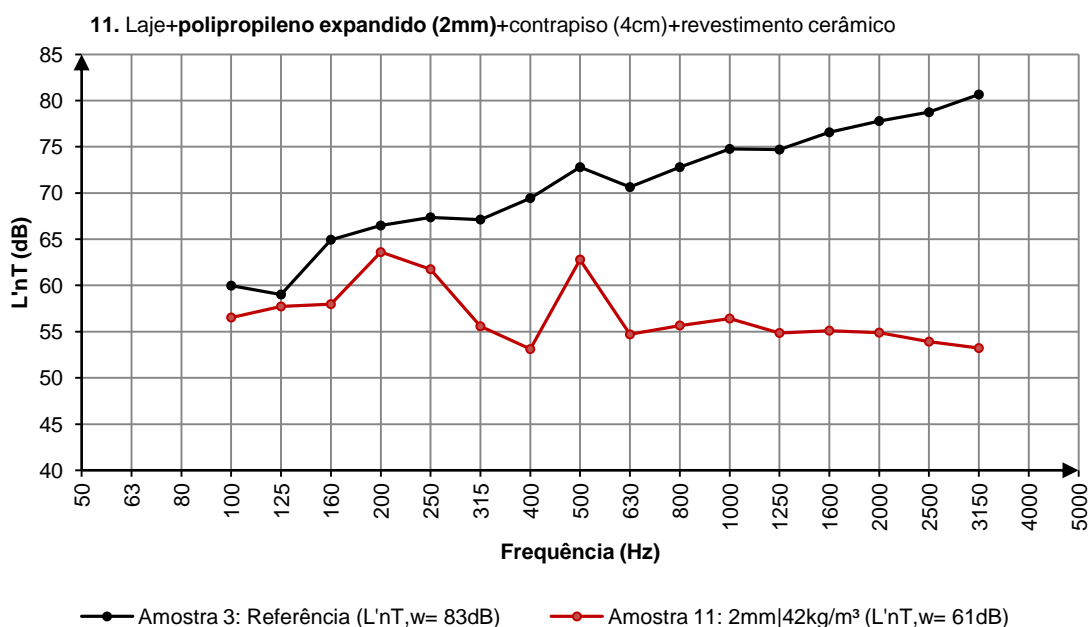
10 se destaca em relação às outras. Com um L'_{nT_w} de 54 dB, a amostra alcança a classificação superior pela norma de desempenho.

Considerando os resultados obtidos, juntamente com as espessuras e densidades dos materiais resilientes utilizados nas amostras de piso flutuante, pode-se dizer que: a manta na amostra 7, mesmo com a menor espessura (5 mm), porém com a maior densidade (80 kg/m^3), levou ao mesmo resultado final das amostras 5 e 6 com mantas de espessura 8 mm e densidades de 30 kg/m^3 e 36 kg/m^3 , respectivamente. Na mesma linha, tem-se a amostra 10 com manta de espessura de 10 mm e densidade de 60 kg/m^3 , cujo aumento tanto da espessura quanto da densidade levou à obtenção de um resultado superior.

4.2.3. Amostra 11: piso flutuante com polipropileno expandido (EPP)

A Figura 4.12 exhibe o gráfico do desempenho acústico para o arranjo: laje + polipropileno expandido (2 mm) + contrapiso (4 cm) + revestimento cerâmico.

Figura 4.12 - Desempenho da amostra 11: piso flutuante com polipropileno expandido (EPP)



f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1k	1,25k	1,6k	2k	2,5k	3,15k
REF	60	59	65	66	67	67	69	73	71	73	75	75	77	78	79	81
L'_{nT} 11	57	58	58	64	62	56	53	63	55	56	56	55	55	55	54	53

Para o sistema de piso flutuante com manta de polipropileno expandido tem-se grande parte da curva próxima aos 55 dB. O desempenho cai nas baixas frequências, onde a curva fica muito próxima da curva da amostra de referência, também ocorrendo picos de perda de desempenho nas frequências de 200 Hz e 500 Hz, para a qual o valor está perto de 65 dB. O desempenho melhora após os 630 Hz, com a curva estabilizando perto dos 55 dB.

Ao equiparar com a amostra 3, nota-se que a diferença entre os resultados para baixas frequências não chega a 10 dB, já a partir dos 630 Hz a amostra melhora a performance, levando a uma diferença de 20 dB.

O $L'_{nT,w}$ da amostra é de 61 dB, com classificação no nível intermediário pela norma de desempenho, e uma diferença de 22 dB entre a amostra 11 e a amostra 3.

4.2.4. Amostras 12 a 15: piso flutuante com polietileno expandido (EPE)

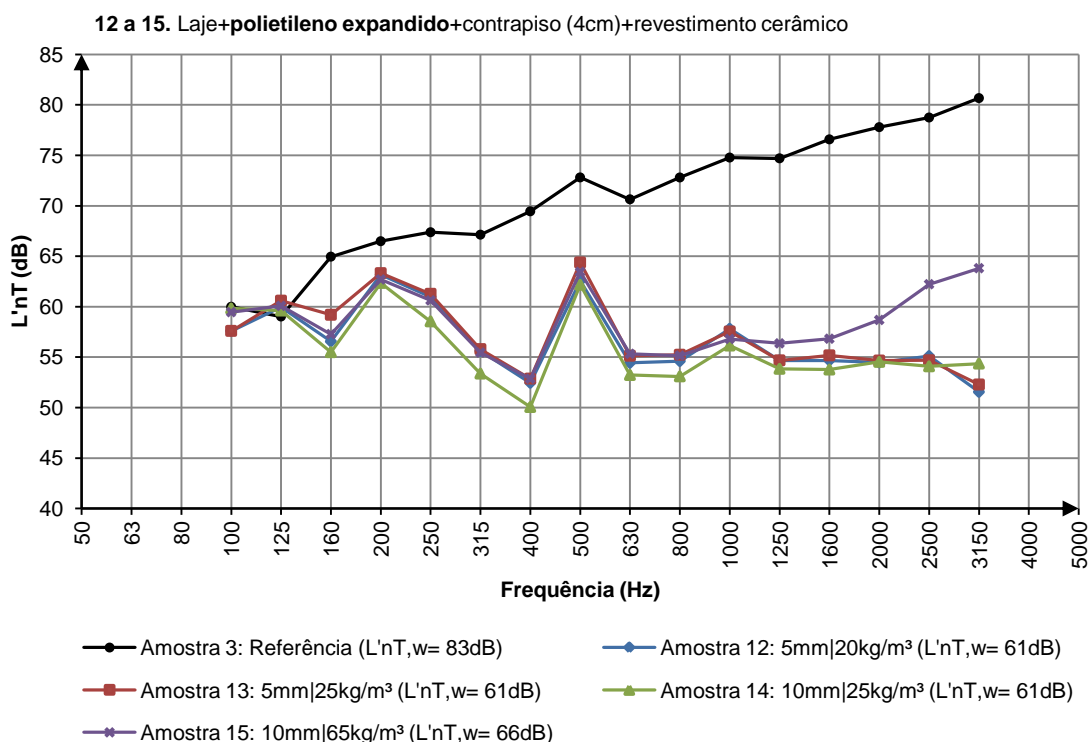
As curvas de desempenho para a configuração: laje em osso + polietileno expandido (5 mm e 10 mm) + contrapiso (4 cm) + revestimento cerâmico podem ser visualizadas na Figura 4.13.

As amostras de piso flutuante com polietileno expandido (EPE) também possuem curvas com comportamento similar, mantendo-se abaixo dos 65 dB. Ocorrem picos de perda de desempenho nas frequências de 200 Hz e 500 Hz, com valores entorno dos 65 dB. Já os picos de isolamento se encontram nas frequências de 400 Hz e 3,15 kHz, com valores perto dos 50 dB. A partir de 1,25 kHz, as curvas estabilizam próximas aos 55 dB, com exceção da amostra 15 que se mostra ascendente e chega perto dos 65 dB, dado que a o material resiliente utilizado na amostra possui uma densidade de 65kg/m³, enquanto os demais materiais utilizados possuem densidade em torno de 25kg/m³.

Em relação à amostra 3, nas frequências de 100 Hz e 125 Hz o desempenho é igual ao da referência. Após essas faixas tem-se uma melhora, onde a diferença é pequena, em torno de 5 dB até 250 Hz. Depois dos 630 Hz, o desempenho aumenta e a diferença chega a 20 dB entre as curvas.

O $L'_{nT,w}$ das amostras 12, 13 e 14 é de 61 dB, classificam-se no nível intermediário da norma de desempenho. Já amostra 15, cuja curva em alta frequência possui um desvio ascendente tem um $L'_{nT,w}$ de 66 dB, estando no nível mínimo, porém muito próxima ao intermediário pela referida norma.

Figura 4.13 - Desempenho das amostras 12 a 15: piso flutuante com polietileno expandido (EPE)



f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1k	1,25k	1,6k	2k	2,5k	3,15k
REF	60	59	65	66	67	67	69	73	71	73	75	75	77	78	79	81
L'nT 12	58	60	57	63	61	56	52	63	54	55	58	55	55	54	55	52
L'nT 13	58	61	59	63	61	56	53	64	55	55	58	55	55	55	55	52
L'nT 14	60	60	55	62	59	53	50	62	53	53	56	54	54	55	54	54
L'nT 15	59	60	57	63	61	55	53	63	55	55	57	56	57	59	62	64

4.2.5. Amostras 16 a 18: piso flutuante com borracha reciclada

O gráfico da Figura 4.14 expõe os valores do desempenho para a composição: laje em osso + borracha reciclada (espessuras e densidades variadas) + contrapiso (4 cm) + revestimento cerâmico.

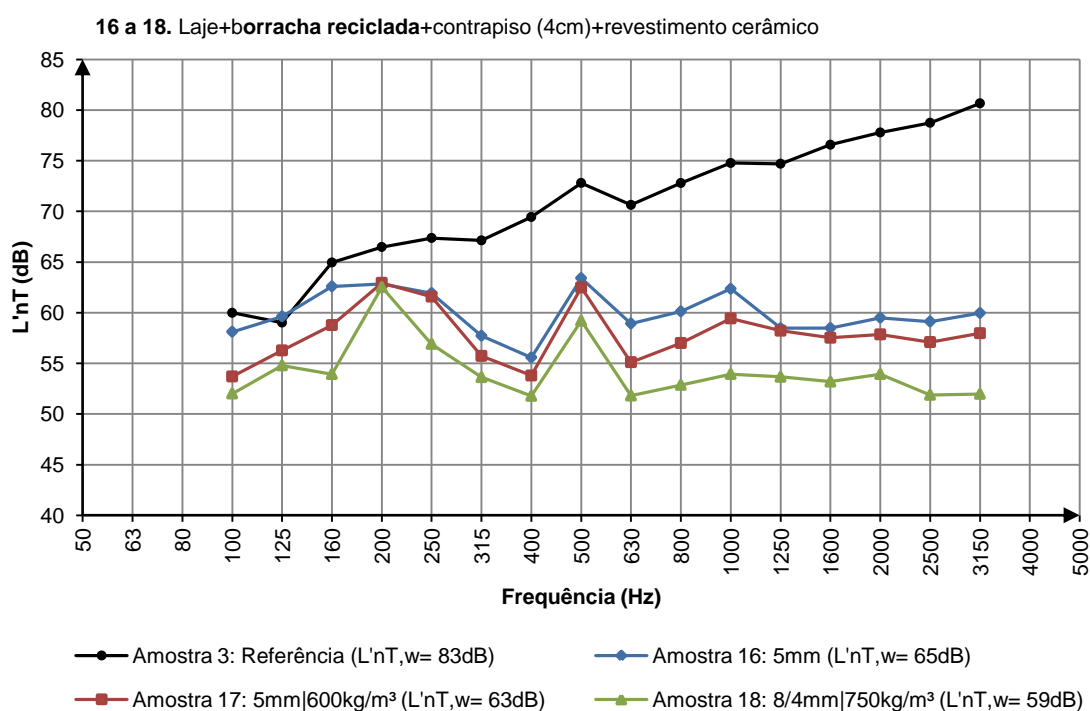
Diferente dos demais sistemas de piso flutuante com materiais resilientes analisados em conjunto, as amostras com manta de borracha reciclada não apresentam curvas tão similares. Isso ocorre devido ao formato das mantas serem distintos, com as mantas das amostras 16 e 17 possuindo as bases lisas e a da amostra 18 possuindo a base ondulada.

Entretanto, as três amostras de piso flutuante se mantêm abaixo dos 65 dB, e os picos de perda de isolamento são similares, ocorrendo nas frequências de 200 Hz e 500 Hz, bem como o pico de ganho de desempenho, nas frequências de 400 Hz e 630 Hz, estabilizando em altas frequências.

Em comparação com a amostra 3, constata-se que o desempenho da amostra 16 em baixa frequência é praticamente igual ao da referência. Posteriormente tem-se uma melhora, alcançando uma diferença de 10 dB, e em alta frequência essa diferença dobra. Já a amostra 17 mantém uma diferença menor que 5 dB em relação à amostra 16. Da mesma maneira que a amostra 18 mantém uma diferença menor que 5 dB em relação a amostra 17, o que em alta frequência se traduz em uma diferença de quase 30 dB em relação a amostra 3.

Logo, o $L'_{nT,w}$ da amostra 16 é de 65 dB, para amostra 17 o $L'_{nT,w}$ fica em 63 dB e a amostra 18 chega a $L'_{nT,w}$ de 59 dB, alcançando o nível intermediário pela norma de desempenho.

Figura 4.14 - Desempenho das amostras 16 a 18: piso flutuante com borracha reciclada



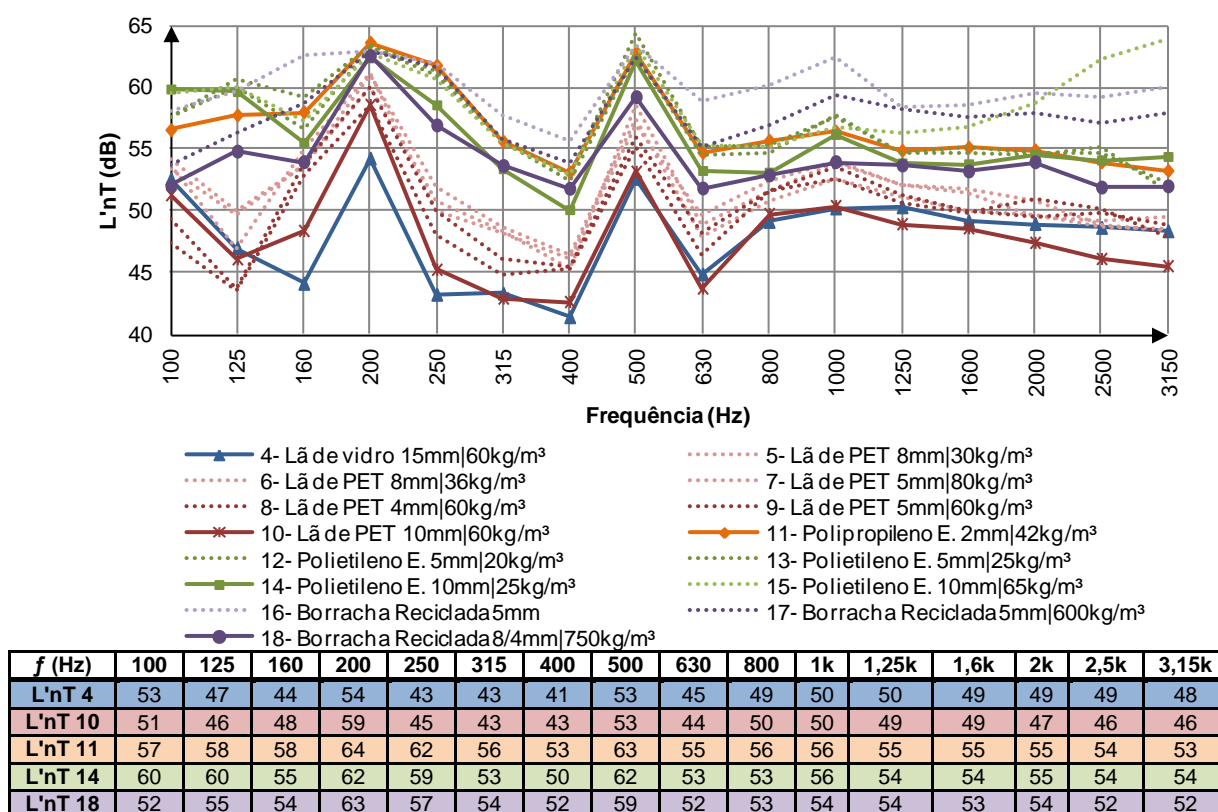
f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1k	1,25k	1,6k	2k	2,5k	3,15k
REF	60	59	65	66	67	67	69	73	71	73	75	75	77	78	79	81
L'nT 16	58	60	63	63	62	58	56	63	59	60	62	58	58	60	59	60
L'nT 17	54	56	59	63	62	56	54	62	55	57	59	58	58	58	57	58
L'nT 18	52	55	54	63	57	54	52	59	52	53	54	54	53	54	52	52

4.2.6. Comparação dos resultados das amostras de piso flutuante

Comparando os desempenhos dos sistemas de piso flutuante com diferentes materiais resilientes é possível entender como o conjunto atua no sistema

construtivo. A Figura 4.15 traz o gráfico com o comportamento de cada sistema de piso flutuante (ênfatisando o tipo de material resiliente utilizado) por faixa de frequência em bandas de terço de oitava, onde as amostras estão divididas por cores conforme o tipo de material resiliente, e estão destacadas as curvas que apresentam melhor desempenho por grupo.

Figura 4.15 - Comparação do desempenho acústico das amostras de piso flutuante com diferentes materiais resilientes



Ao observar o gráfico, fica evidente que os maiores picos de perda no isolamento acontecem nas frequências de 200 Hz e 500 Hz em todas as amostras. Já os picos de ganho no desempenho variam conforme o material.

As amostras de piso flutuante com manta de lã de vidro e lã de PET preenchem a parte inferior do gráfico. O sistema com lã de vidro geralmente possui o melhor desempenho, entretanto o sistema com lã de PET 10 mm teve um desempenho similar, com uma performance inferior ao sistema com lã de vidro em baixa frequência, mas que, se iguala nas médias frequências e ultrapassa em alta frequência, obtendo um resultado final superior. Os demais sistemas com lã de PET também possuem um bom desempenho, ficando muito próximos ao sistema com lã de vidro em alta frequência.

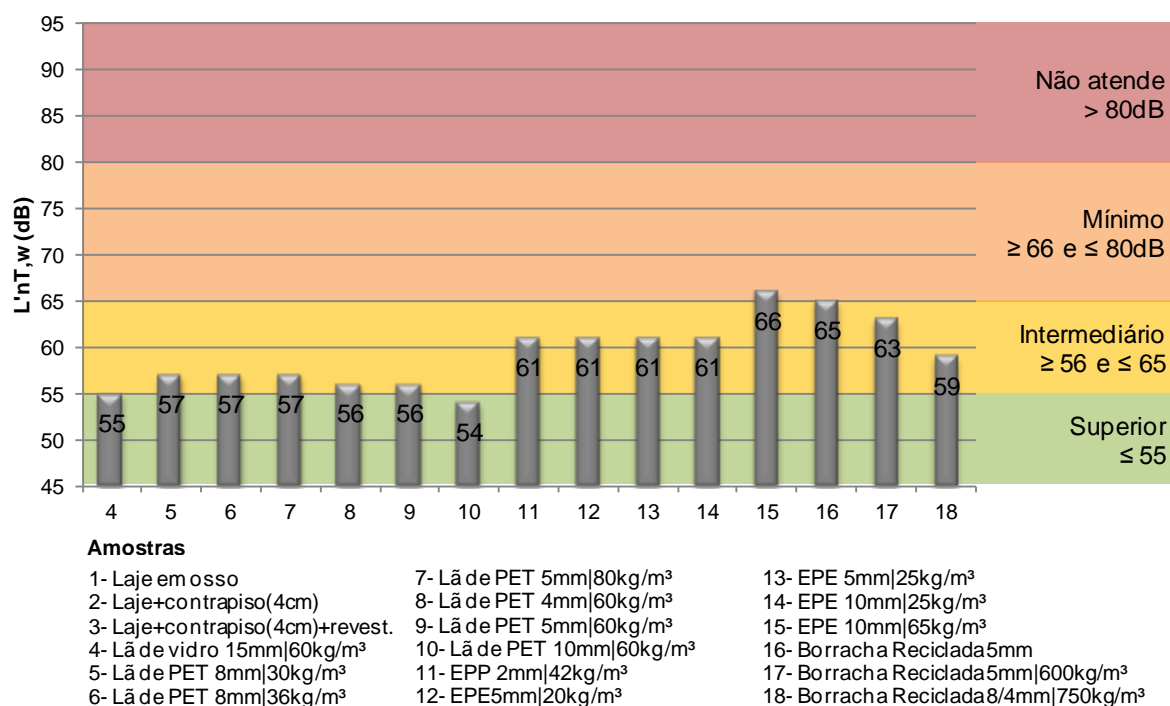
Em seguida tem-se a amostra de piso flutuante com manta de borracha reciclada ondulada 8/4mm, cujo desempenho se destaca devido à forma da manta, que aumenta o efeito de mola do sistema.

Mais acima no gráfico estão os sistemas de piso flutuante com mantas de polipropileno expandido (EPP) e polietileno expandido (EPE), os quais possuem curvas semelhantes e o mesmo $L'_{nT,w}$. Destaca-se que, o desempenho do sistema com polipropileno inicialmente é melhor em relação ao sistema com polietileno, em seguida as curvas seguem muito próximas.

Na parte intermediária do gráfico estão os sistemas de piso flutuante com mantas de borracha reciclada de 5 mm (lisas), que em grande parte acompanham as curvas dos sistemas de EPP e EPE, mas em alta frequência o desempenho é inferior a esses materiais.

A comparação e classificação dos resultados $L'_{nT,w}$ das amostras com os níveis apontados pela NBR 15575-3:2013 para o critério que leva em consideração o sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas, pode ser vista na Figura 4.16.

Figura 4.16 - Comparação dos resultados das amostras de piso flutuante com o critério para sistema de pisos separando unidades autônomas



Verifica-se que, a maior parte dos sistemas de piso flutuante encontra-se no nível intermediário (≥ 56 e ≤ 65 dB), tem-se uma amostra no nível mínimo (≥ 66 e ≤ 80 dB), e duas no nível superior (≤ 55 dB).

Os sistemas com mantas de lã de PET classificados no nível intermediário possuem um bom desempenho e ficam muito próximos ao nível superior com $L'_{nT,w}$ de 56 dB e 57 dB, e a amostra 10 com lã de PET atinge o nível superior com $L'_{nT,w}$ de 54 dB, junto com o sistema com lã de vidro $L'_{nT,w}$ de 55 dB. Já as amostras com polipropileno expandido (EPP) e polietileno expandido (EPE) estão centralizadas no nível intermediário com $L'_{nT,w}$ de 61 dB, com exceção da amostra 15 que devido à densidade do material resiliente fica no nível mínimo porém muito próxima ao intermediário com $L'_{nT,w}$ de 66 dB. Por fim têm-se as amostras com mantas de borracha reciclada com diferentes valores de $L'_{nT,w}$ em razão do formato da base das mantas. Para as amostras com mantas lisas o $L'_{nT,w}$ é de 65 dB e 63 dB, e o desempenho da amostra com manta ondulada melhora, atingindo um $L'_{nT,w}$ de 59 dB, classificando-se no nível intermediário.

Dessa maneira, todos os sistemas de piso flutuante testados, levando em consideração o local e a forma como a tipologia de laje nervurada pré-fabricada foi construída, enquadrando-se dentro da exigência da NBR 15575-3:2013 para sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas.

4.3. COMPARATIVO DOS DESEMPENHOS DAS AMOSTRAS ENSAIADAS

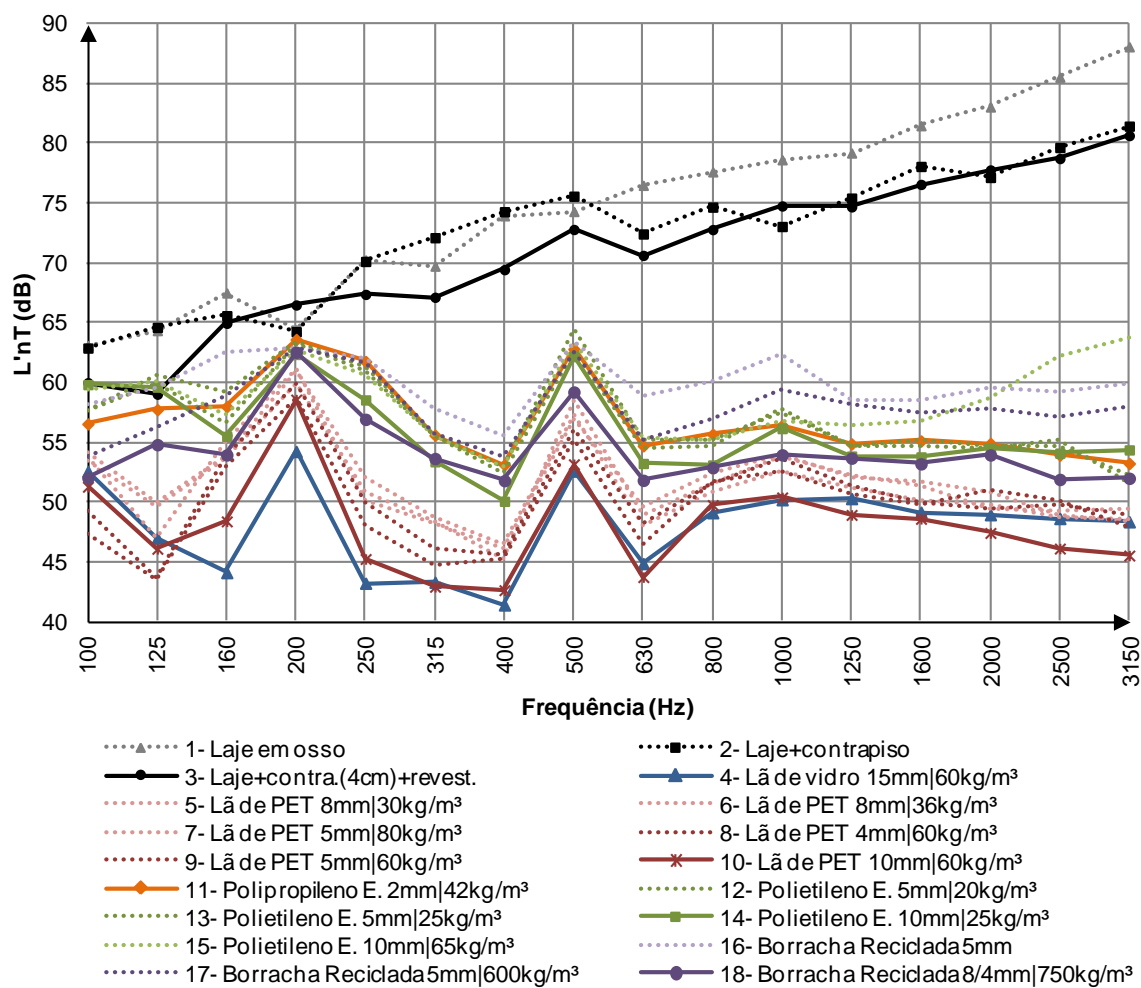
Analisando os resultados das amostras de referência juntamente com os das amostras de piso flutuante, verificam-se os ganhos no isolamento do sistema construtivo.

O gráfico da Figura 4.17 traz o comparativo das curvas de desempenho das amostras, onde é possível observar os ganhos por faixa de frequência em bandas de terço de oitava.

Nota-se que as amostras do sistema de piso flutuante com manta de polipropileno expandido e polietileno expandido em alguns pontos em baixa frequência atingem os mesmos valores das curvas de referência, bem como as amostras dos sistemas com borracha reciclada possuem valores muito próximos. A maior diferença entre essas amostras e as curvas de referência acontece em alta frequência, chegando-se a 20 dB.

Já a amostra do sistema com lã de vidro na parte mais próxima as curvas de referência possui uma diferença de 7 dB, enquanto para as amostras do sistema com de lã de pet a diferença chega a 3 dB, e a maior diferença em alta frequência chega aos 30 dB.

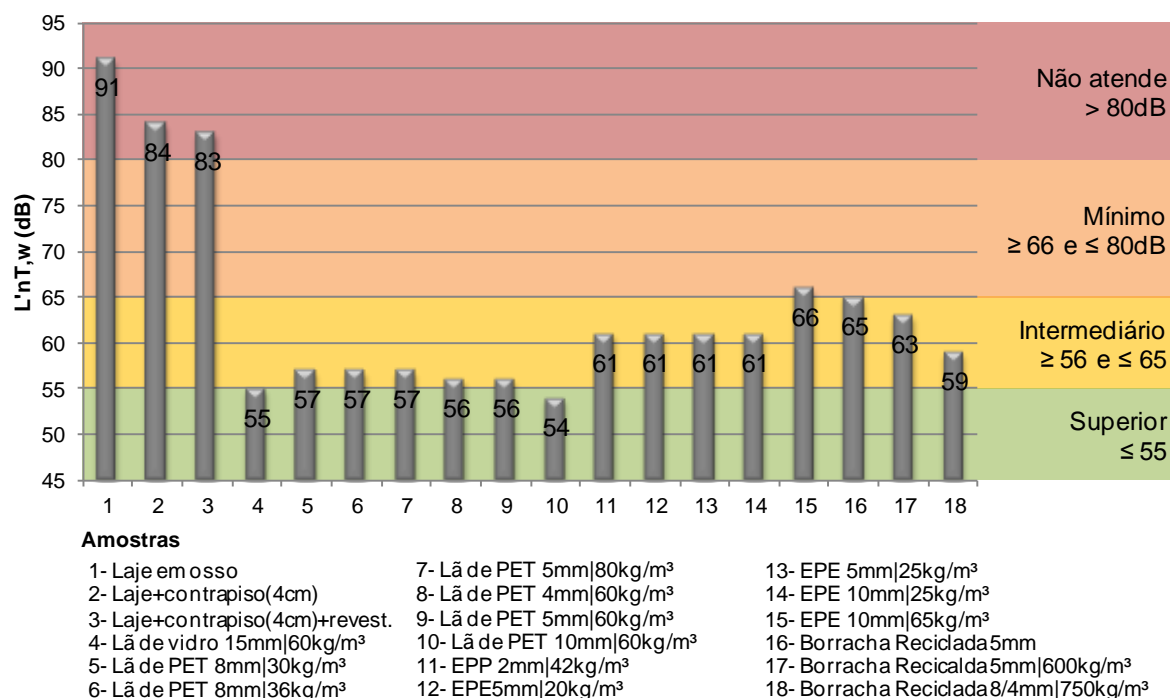
Figura 4.17 - Comparação do desempenho acústico das amostras



f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1k	1,25k	1,6k	2k	2,5k	3,15k
L'nT 1	63	64	67	64	70	70	74	74	77	78	79	79	81	83	83	88
L'nT 2	63	65	66	64	70	72	74	76	72	75	73	75	78	77	80	81
L'nT 3	60	59	65	66	67	67	69	73	71	73	75	75	77	78	79	81
L'nT 4	53	47	44	54	43	43	41	53	45	49	50	50	49	49	49	48
L'nT 5	53	50	54	60	51	48	45	59	49	52	54	52	51	49	49	49
L'nT 6	54	47	55	61	50	48	46	57	50	52	54	52	52	51	49	48
L'nT 7	54	50	54	61	52	49	46	57	48	51	53	51	50	50	49	49
L'nT 8	49	44	54	60	50	46	45	56	48	52	54	51	50	49	50	49
L'nT 9	47	44	53	59	48	45	45	55	46	52	53	51	50	51	50	48
L'nT 10	51	46	48	59	45	43	43	53	44	50	50	49	49	47	46	46
L'nT 11	57	58	58	64	62	56	53	63	55	56	56	55	55	55	54	53
L'nT 12	58	60	57	63	61	56	52	63	54	55	58	55	55	54	55	52
L'nT 13	58	61	59	63	61	56	53	64	55	55	58	55	55	55	55	52
L'nT 14	60	60	55	62	59	53	50	62	53	53	56	54	54	55	54	54
L'nT 15	59	60	57	63	61	55	53	63	55	55	57	56	57	59	62	64
L'nT 16	58	60	63	63	62	58	56	63	59	60	62	58	58	60	59	60
L'nT 17	54	56	59	63	62	56	54	62	55	57	59	58	58	58	57	58
L'nT 18	52	55	54	63	57	54	52	59	52	53	54	54	53	54	52	52

A Figura 4.18 apresenta a classificação dos resultados $L'_{nT,w}$ das amostras com os níveis apontados pela NBR 15575-3:2013 para o critério de sistema de piso, separando unidades autônomas, e permite visualizar o ganho no isolamento entre as amostras.

Figura 4.18 - Comparação dos resultados das amostras com o critério para sistema de piso separando unidades autônomas



Ao analisar o gráfico, têm-se as amostras de referência acima do nível mínimo da norma, que conforme ganham camadas ou espessura reduzem o valor de $L'_{nT,w}$. Dessa maneira, da amostra 1 para amostra 3, o ganho no isolamento fica em 8 dB. No nível mínimo tem-se a amostra 15 com polietileno expandido que tem um ganho de 17 dB em relação a amostra 3.

Já o ganho no isolamento em relação à amostra 3 para as amostras classificadas no nível intermediário classificam-se da seguinte forma: sistemas com uso de EPP, EPE chegam a 22 dB de diferença; sistemas com borracha têm ganhos que variam entre 18 dB e 24 dB; e sistemas com lã de PET ganhos de 26 dB e 27 dB. Por fim, no nível superior tem-se o sistema da amostra 4 com lã de vidro e da amostra 10 com lã de PET com um ganho no isolamento de 28 dB e 29 dB, respectivamente, em relação à amostra 3.

A norma 15575-3:2013 também apresenta o critério de classificação que leva em consideração sistema de pisos separando 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 autônomas, apontando $L'_{nT,w}$ mínimo exigido de 51 dB a 55 dB, nível intermediário de 46 dB a 50 dB e superior ≤ 45 dB. Nesse critério somente os sistemas de piso flutuante das amostras 4 com lã de vidro 15 mm e amostra 10 com lã de PET 10 mm alcançam nível mínimo.

5. CONCLUSÃO

O ruído de impacto é um dos principais fatores de desconforto entre os usuários de edificações de múltiplos pavimentos, estando relacionado diretamente ao sistema construtivo e aos materiais empregados na construção da edificação. Um problema que pode ser solucionado ainda em fase de projeto ao designar o tipo de sistema construtivo e os materiais utilizados. Para tanto, é necessário conhecer as características acústicas das tipologias construtivas e seu desempenho perante a normativa 15575-3:2013.

A realização dessa pesquisa possibilitou aprofundar o conhecimento sobre o desempenho acústico do sistema construtivo de laje pré-fabricada nervurada composta de vigota protendida e lajota cerâmica com revestimento cerâmico, e também sobre a utilização da técnica de piso flutuante como solução, testando diversos materiais resilientes encontrados no mercado.

Quanto ao desempenho do sistema construtivo, para laje em osso sem regularização ou contrapiso, identificada como amostra 1 obteve-se um $L'_{nT,w}$ de 91dB. Um valor elevado se comparado aos valores encontrados para diferentes tipologias de lajes testadas por outros autores, cujo trabalho foi apresentado no decorrer desse estudo. Ficando evidente como a escolha da tipologia construtiva influencia diretamente na qualidade da edificação e no tipo de solução que será recomendada.

A adição do contrapiso de 4 cm (amostra 2) na composição levou a obtenção de um $L'_{nT,w}$ de 84 dB, logo o aumento de espessura propiciou uma melhora no desempenho de 7 dB. E o acréscimo de 1 cm do revestimento cerâmico (amostra 3) levou a um $L'_{nT,w}$ de 83 dB. Mesmo com a melhora no desempenho propiciada pelo aumento da espessura do sistema, nenhuma das configurações para laje pré-fabricada nervurada composta de vigota protendida e lajota cerâmica atingem o nível mínimo exigido pela norma de $L'_{nT,w} \leq 80$ dB, diferentemente de outras tipologias de lajes cujos estudos foram elencados nessa pesquisa, que mesmo testadas em osso ficam dentro do nível mínimo, o que, no entanto, não significa que o ambiente está confortável acusticamente.

Com relação aos resultados obtidos utilizando a técnica de piso flutuante, comparados com o critério da NBR 15575-3:2013 para sistema de pisos separando unidades habitacionais autônomas, têm-se os sistemas com mantas de lã de PET

alcançando bons desempenhos, com valores de $L'_{nT,w}$ de 56 dB e 57 dB, classificados no nível intermediário, porém muito próximos ao nível superior, com destaque para a o sistema da amostra 10 com lã de PET 10 mm que obteve um $L'_{nT,w}$ de 54 dB, alcançando nível superior. Bem como o resultado para o sistema da amostra 4 com lã de vidro 15 mm de $L'_{nT,w}$ de 55 dB também alcança o nível superior.

Já os sistemas com mantas em polipropileno expandido (EPP) e polietileno expandido (EPE) alcançam nível intermediário com $L'_{nT,w}$ de 61 dB, com exceção do sistema da amostra 15 em EPE cuja densidade maior do material resiliente levou a um $L'_{nT,w}$ de 66 dB, ficando no nível mínimo, porém muito próxima ao intermediário.

Os resultados encontrados para os sistemas com mantas de borracha reciclada são influenciados diretamente pela forma da base do material resiliente utilizado. Para os sistemas com mantas de base lisas, o $L'_{nT,w}$ é de 65 dB e 63 dB, e para o com manta de base ondulada, o $L'_{nT,w}$ é de 59 dB, classificando-as no nível intermediário.

Portanto, todos os sistemas de piso flutuante avaliados enquadram-se dentro das exigências da NBR 15575-3:2013 para o critério de sistema de pisos separando unidades autônomas. Quanto ao critério de sistema de pisos separando áreas de uso coletivo sobre unidades autônomas, somente dois sistemas de piso flutuante alcançaram o nível mínimo exigido (≥ 51 dB e ≤ 55 dB), sistemas com lã de pet 10mm e com lã de vidro 15mm.

As informações obtidas com a realização dessa pesquisa, tanto para o sistema construtivo quanto para a solução em piso flutuante com materiais resilientes que buscaram melhorar o desempenho da laje finalizada, poderão ser adotados como respaldo para recomendações e intervenções na construção civil, melhorando a qualidade dos edifícios e a qualidade de vida do usuário, desde que, observe-se que os resultados podem sofrer alterações devido as diferentes condições do ambiente ensaiado (estrutura, área, volume, vedação, materiais, etc...).

5.1. SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Frente à importância que a obtenção desses dados representa para o mercado da construção civil e para qualidade de vida dos usuários, espera-se instigar estudos que busquem:

- Determinar o desempenho de diferentes revestimentos sobre o sistema de laje pré-fabricada nervurada composta de vigota protendida e lajota cerâmica em laboratório, e comparar os resultados, de modo a compreender a influência do revestimento sobre esse sistema construtivo;
- Conhecer e comparar o desempenho das diversas tipologias construtivas de laje, testadas em laboratório, usando vários tipos de revestimentos, visando determinar as características acústicas de cada tipologia;
- Entender quanto do ruído de impacto é transmitido através da vibração das paredes (transmissão secundária), e quais seriam as soluções viáveis;
- Compreender qual a relação entre a densidade do material resiliente com a frequência do ruído de impacto, e se a mistura de diferentes materiais levaria a uma solução que abrangesse todas as frequências;

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 3382-2** Acústica - Medição de parâmetros de acústica de salas. Parte 2: Tempo de reverberação em salas comuns. 2017. 19p.

—, **NBR 16313** Acústica - Terminologia. Rio de Janeiro, 2014. 11p.

—, **NBR 15575** Edificações habitacionais - Desempenho. Parte 3 - Requisitos para os sistemas de pisos. Rio de Janeiro, 2013. 42p.

BISTAFA, Sylvio R. **Acústica aplicada ao controle de ruído**. 2. ed. São Paulo: Bluncher, 2011.

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

CORNACCHIA, Gianni. **Investigação in-situ do isolamento sonoro ao ruído de impacto em edifícios residenciais**. 2009, 161p. Dissertação (mestrado em arquitetura e urbanismo) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2009.

CORNACCHIA, Gianni; ROSSI, Lucas; VIVEIROS, Elvira B.. **Medições de isolamento ao ruído de impacto em edificações residenciais**. 2009, Natal. In: X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. **Anais...** Natal: ENCAC, 2009. Disponível em: <http://www.infohab.org.br/encac/files/2009/ENCAC09_0096_105.pdf> Acesso em: 03 dez. 2017.

DI BELLA, Antonino; LUISON, Leonardo. **Impact noise reduction of underfloor heating systems**. 2011, Dinamarca. In: Forum acusticum. **Anais...** Denmark: Forum acusticum, 2011. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/255996044_Impact_Noise_Reduction_of_Underfloor_Heating_Systems> Acesso em: 08 abr. 2019.

DUARTE, Elisabeth de A. C.; VIVEIROS, Elvira B.. **Percepção do usuário em relação à qualidade do isolamento acústico - Um estudo de caso em Florianópolis**. 2010, Canela. In: XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. **Anais...** Canela: ENTAC, 2010. Disponível em: <<http://www.infohab.org.br/entac2014/2010/arquivos/334.pdf>> Acesso em: 03 dez. 2017.

FERRAZ, Rafaela. **Atenuação de ruído de impacto em pisos de edificações de pavimentos múltiplos**. 2008, 156p. Dissertação (mestrado em engenharia de estruturas) - Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2008.

GASPAR, Ricardo. **Análise da segurança estrutural das lajes pré-fabricadas na fase de construção**. 1997, 103p. Dissertação (mestrado em engenharia de estruturas e fundação) - Escola Politécnica de São Paulo. São Paulo, 1997.

INTERNACIONAL STANDARD. **ISO 16283-2:2018**: Acoustics - Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements. Part 2: Impact sound insulation. Switzerland, 2015. 42.

—. **ISO 717-2:2013**: Acoustics - Rating sound insulation in buildings and of building elements. Part 2: Impact sound insulation. Switzerland, 2013. 17.

LITTELEFIELD, David. **Manual do arquiteto: planejamento, dimensionamento e projeto**. 3. ed. Tradução: Alexandre Salvaterra. Porto Alegre: Bookman, 2014.

MERLIN, Andrei José. **Momentos fletores negativos nos apoios de lajes formadas por vigotas de concreto protendido**. 2002, 134p. Dissertação (mestrado em engenharia de estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2002.

NEUBAUER, Paola Mezzomo. **Estudo comparativo entre diversas composições com pisos flutuantes de madeira natural - assoalho e tacos - quanto ao isolamento do ruído de impacto**. 2009, 82p. Dissertação (mestrado em engenharia civil) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2009.

NUNES, Maria F. O.; PATRÍCIO, Jorge V. **Different input parameters in modelling for predicting impact noise of non-homogenous floors**. 2016, Buenos Aires. In: 22nd International Congress on Acoustics (ICA). **Anais...** Buenos Aires: ICA, 2016. Disponível em: <<http://www.ica2016.org.ar/ica2016proceedings/ica2016/ICA2016-0044.pdf>>. Acesso em: 08 abr. 2019.

Nunes, M. F. O.; ZINI, A.; PAGNUSSAT, D. T. **Desempenho acústico de sistemas de piso: estudos de caso para isolamento ao ruído aéreo e de impacto**. *Acústica e Vibrações*, nº 46, p. 13-19, dez. 2014. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/277305728_Desempenho_Acustico_de_Sistemas_de_Piso_Estudos_de_Caso_Para_Isolamento_ao_Ruido_Aereo_e_de_Impacto>. Acesso em: 10 abr. 2019.

PANOSSO, Andrielle da Silva. **Avaliação subjetiva do desempenho de soluções de isolamento sonoro ao ruído de impacto**. 2015, 279p. Dissertação (mestrado em engenharia civil) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2015.

PEDROSO, Miguel Angelo Teixeira. **Estudo comparativo entre as modernas composições de pisos flutuantes quanto ao desempenho no isolamento ao ruído de impacto**. 2007, 141p. Dissertação (mestrado em engenharia civil) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2007.

PEREYRON, Daniel. **Estudo de tipologias de lajes quanto ao isolamento ao ruído de impacto**. 2008, 106p. Dissertação (mestrado em engenharia civil) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2008.

PIERRARD, Juan Frias; AKKERMAN, Davi. **Manual Pro Acústica sobre a Norma de Desempenho**: Guia prático sobre cada uma das partes relacionadas à área de acústica nas edificações da Norma... 1. ed. São Paulo: Rush, 2013.

PITÁGORAS PÓS GRADUAÇÃO. **Curso de especialização em engenharia de segurança do trabalho**. Guia de estudo parte II - Exposição ocupacional ao ruído. Polígrafo didático. [S.l.], 2012.

SALIBA, Tuffi Messias. **Manual prático de avaliação e controle de ruído: PPR**. 8. ed. São Paulo: LTr, 2014.

SANTOS, Jorge Luiz Pizzutti dos. **Isolamento sonoro de partições arquitetônicas**. Santa Maria: Ed. da UFSM, 2012.

SEMPRINI, Giovanni.; BARBARESI, Luca. **Experimental results of flanking transmission in hollow brick and concrete-slab floor**. 2013, Merano. In: Conference on Acoustics, AIA-DAGA. **Anais...** Merano: AUA-DAGA, 2013. Disponível em: <http://pub.dega-akustik.de/AIA_DAGA_2013/data/articles/000610.pdf>. Acesso em: 08 abr. 2019.

SILVA, Bernard Rigão da. **Contribuições à análise estrutural de lajes pré-fabricadas com vigotas treliçadas**. 2012, 150p. Dissertação (mestrado em engenharia civil) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2012.

SIQUEIRA, Ana P. L.; PIRES, J. R.; HEISSLER, R. F.; e OLIVEIRA, M. F. **Análise do desempenho de camadas elásticas de pisos flutuantes**. 2018, Porto Alegre. In: XXVIII Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica. **Anais...** Porto Alegre: SOBRAC, 2018. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/327957913_ANALISE_DO_DESEMPENHO_ACUSTICO_DE_CAMADAS_ELASTICAS_DE_PISOS_FLUTUANTES>. Acesso em: 18 mar. 2019.

SOUZA, Léa Cristina; ALMEIDA, Manuela Guedes; BRAGANÇA, Luís. **Bê-á-bá da acústica arquitetônica**. 4º. São Carlos: EdUFSCar, 2012.

ZUCHETTO, Letícia K.; NUNES, Maria F. de O.; PATRÍCIO, Jorge V. **Influence of the compression conditions in the acoustic performance of resilient layers of floors**. Buenos Aires, 2016. In: 22nd International Congress on Acoustics (ICA). **Anais...** Buenos Aires: ICA, 2016. Disponível em: <<http://www.ica2016.org.ar/ica2016proceedings/fia2016/FIA2016-0067.pdf>>. Acesso em: 08 abr. 2019.

ANEXO A

Exemplo de formato para expressar os resultados usando a máquina de impacto

Nível de pressão sonora padronizado, L'_{nT} , de acordo com a ISO 16283-2																																			
Medições em campo para isolamento de ruído de impacto de piso usando máquina de impacto padrão																																			
Cliente:																																			
Data do teste:																																			
Descrição e identificação do prédio construído e arranjo de testes																																			
Volume da sala de recepção: - m ³																																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Frequência f - Hz</th> <th>L'_{nT} Terça de oitava - dB</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>100</td><td></td></tr> <tr><td>125</td><td></td></tr> <tr><td>160</td><td></td></tr> <tr><td>200</td><td></td></tr> <tr><td>250</td><td></td></tr> <tr><td>315</td><td></td></tr> <tr><td>400</td><td></td></tr> <tr><td>500</td><td></td></tr> <tr><td>630</td><td></td></tr> <tr><td>800</td><td></td></tr> <tr><td>1000</td><td></td></tr> <tr><td>1250</td><td></td></tr> <tr><td>1600</td><td></td></tr> <tr><td>2000</td><td></td></tr> <tr><td>2500</td><td></td></tr> <tr><td>3150</td><td></td></tr> </tbody> </table>	Frequência f - Hz	L'_{nT} Terça de oitava - dB	100		125		160		200		250		315		400		500		630		800		1000		1250		1600		2000		2500		3150		<p>----- faixa de frequência de acordo com a — curva dos valores de referência (ISO 717-2)</p>
Frequência f - Hz	L'_{nT} Terça de oitava - dB																																		
100																																			
125																																			
160																																			
200																																			
250																																			
315																																			
400																																			
500																																			
630																																			
800																																			
1000																																			
1250																																			
1600																																			
2000																																			
2500																																			
3150																																			
Avaliação de acordo com a ISO 717-2:																																			
$L'_{nT,w}(C1) = ()$ dB; C1.50-2500=dB																																			
Avaliação baseada em resultados de medição de campo obtidos por um método de engenharia																																			
Nº relatório do teste:	Nome do instituto do teste:																																		
Data:	Assinatura:																																		