

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

**ESTUDO DE TIPOLOGIAS DE LAJES QUANTO AO
ISOLAMENTO AO RUÍDO DE IMPACTO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

DANIEL PEREYRON

**Santa Maria, RS, Brasil
2008**

ESTUDO DE TIPOLOGIAS DE LAJES QUANTO AO ISOLAMENTO AO RUÍDO DE IMPACTO

por

Daniel Pereyron

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

Orientador: Prof. Dr. Jorge Luiz Pizzutti dos Santos

Santa Maria, RS, Brasil

2008

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**ESTUDO DE TIPOLOGIAS DE LAJES QUANTO AO ISOLAMENTO AO
RUÍDO DE IMPACTO**

elaborada por
Daniel Pereyron

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Civil

COMISSÃO EXAMINADORA:

Jorge Luiz Pizzutti dos Santos, Dr. Eng. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Dinara Xavier da Paixão, Dr^a. Eng^a. (UFSM)

Flávio Maya Simões, Dr. Arq. e Urb. (UNIRITTER)

Santa Maria, 24 de outubro de 2008.

AGRADECIMENTOS

De uma maneira muito especial, gostaria de agradecer a esta instituição, por estar sempre de braços abertos a receber e fornecer conhecimento, infra-estrutura e tempo para a realização não somente deste como também do curso de minha graduação em arquitetura e urbanismo.

Ao Prof. Dr. Jorge Luiz Pizzutti dos Santos, pela orientação e pela amizade, serei sempre grato pela oportunidade, confiança, respeito, incentivo e compreensão que possibilitou a realização deste trabalho.

Aos meus pais Roger e Ruth, pela educação, incentivo e apoio necessário para desenvolvimento deste.

A Cristina, minha esposa, pelo apoio e compreensão em todos os momentos importantes.

À Letícia minha irmã, pela paciência em ler e corrigir este trabalho em tão pouco tempo.

Aos colegas de trabalho pelo apoio e paciência diária, em especial, às arquitetas Tércia Kapp e Nivia da Costa, pelo tempo cedido e compreensão nos momentos de ausência para cumprimento deste trabalho.

Aos engenheiros Bruno Brondani, Milton Kohlrausch, Assis Visoto, Eugênio Bolzan e Luis Fernando Correia pela cedência de seu tempo e contribuição indispensável para este estudo.

Ao Laboratório de Termo Acústica (La.T.A.) da UFSM pela infra-estrutura fornecida e, em especial, ao Sr. Juraci Bortoluzzi, Jordan Mendes, Alisson Dondé e Lívia Pavanello pela disponibilidade de tempo para a realização dos ensaios de campo.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Universidade Federal de Santa Maria

ESTUDO DE TIPOLOGIAS DE LAJES QUANTO AO ISOLAMENTO AO RUÍDO DE IMPACTO

AUTOR: DANIEL PEREYRON

ORIENTADOR: PROF. DR. JORGE LUIZ PIZZUTTI DOS SANTOS

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 24 de outubro de 2008.

A presente pesquisa concentra-se na área de conforto ambiental na construção civil e refere-se a uma análise comparativa quanto ao desempenho do isolamento acústico de tipologias de lajes submetidas a ruído de impacto. Os ensaios foram realizados “in situ”, em conformidade com as normas da ISO-140/VII, utilizando equipamentos adequados para este fim.

Para o desenvolvimento desta dissertação, escolheram-se como objetos de medição obras ainda em fase de construção que tivessem utilizado como sistema estrutural as lajes maciça, nervurada, pré-moldada convencional e pré-moldada treliçada, possibilitando assim a medição das lajes em “osso”, ou seja, sem o revestimento de piso. Dessa forma, foi permitida uma melhor avaliação do desempenho dessas, relacionando o isolamento sonoro ao ruído de impacto, evidenciando assim o desempenho acústico deste sistema.

A análise e interpretação dos resultados foram realizadas através de tabelas e gráficos que, de acordo com a ISO 717-2, demonstram o desempenho de cada laje, permitindo-nos assim traçar um comparativo entre essas, o que contribui como ferramenta de trabalho para os profissionais da construção civil e serve como base de dados para um melhor conhecimento do desempenho destes materiais. Desse modo, valores mínimos de conforto acústico ao usuário da construção civil podem vir a serem traçados futuramente.

Palavras-chaves: Acústica; conforto acústico; lajes, ruído de impacto.

ABSTRACT

Master's degree dissertation
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Universidade Federal de Santa Maria

STUDY OF TYPOLOGIES OF FLOOR-SUPPORT IN REGARD TO ISOLATION OF NOISE IMPACT

AUTHOR: DANIEL PEREYRON

ADVISOR: JORGE LUIZ PIZZUTTI DOS SANTOS, P.H.D

Date and Place of the Defense: Santa Maria, october 24th, 2008.

The current research focuses on the environmental comfort in the civil construction and refers to a comparative analysis related to the acoustic isolation of reinforced concrete pavement which is submitted to noise of impact. According to the standards ISO-140/VII, the measurements were taken "in situ" by using appropriate equipment for this purpose.

In order to achieve the aims of this dissertation, unfinished constructions which used different typologies of floor-support (slab) in their structural system were chosen as the object of measurement and, this way, uncovered slabs could be measured. Therefore a better evaluation of their performance was possible and the sound isolation was related to the impact noise, providing evidence of the acoustic isolation.

The analysis and interpretation of the results were undertaken through tables and graphs that, according to ISO 717-2, show the performance of each slab and a possible comparison among them. This is also a contributing factor to civil construction professionals as being a working instrument and it serves as a data base for a better understanding towards these materials performance. In this way, minimal values of acoustic comfort may be estimated in a near future.

Key-words: Acoustics; acustic comfort; floor-support (reinforced concrete slab), noise impact.

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Critérios de Nível de Pressão Sonora de Impacto Padronizado Ponderado, $L'_{nt,w}$ para ensaios de campo. Fonte: Adaptado da Tabela 5 da Norma NBR 15575-3 (2008).....	46
TABELA 2 - Ruído de fundo (RF) e tempo de reverberação (T) da sala receptora...	70
TABELA 3 - Nível de pressão sonora de impacto (L_i) e Nível de pressão sonora de impacto padronizado (L'_{nT})	71
TABELA 4 - Ruído de fundo (RF) e tempo de reverberação (T) da sala receptora...	73
TABELA 5 - Nível de pressão sonora de impacto (L_i) e Nível de pressão sonora de impacto padronizado (L'_{nT})	73
TABELA 6 - Ruído de fundo (RF) e tempo de reverberação (T) da sala receptora...	75
TABELA 7 - Nível de pressão sonora de impacto (L_i) e nível de pressão sonora de impacto padronizado (L'_{nT})	75
TABELA 8 - Ruído de fundo (RF) e tempo de reverberação (T) da sala receptora...	77
TABELA 9 - Nível de pressão sonora de impacto (L_i) e Nível de pressão sonora de impacto padronizado (L'_{nT})	77

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – Ruído de Impacto. Fonte: Meisser, 1973, p. 188.....	23
FIGURA 2 – Ruído Aéreo. Fonte: Meisser, 1973, p. 188.....	23
FIGURA 3 – Transmissão de ruídos de impacto e vibrações. Fonte: Souza, 2003, p. 97.....	27
FIGURA 4 – Critérios para os máximos níveis sonoros admissíveis. Fonte: De Marco, 1990, p. 72.....	28
FIGURA 5 – Curvas típicas de isolamento ao ruído de impacto. Fonte: Sancho, 1982, p.67.....	29
FIGURA 6 – Isolamento do nível global ponderado (A) do ruído de impacto normalizado transmitido L_n . Fonte: Rougeron, 1977.....	30
QUADRO 1 – Redução na transmissão de ruídos de impacto por uso de revestimentos. Fonte: Tadeu, 2000, apud Souza, 2003, p. 100.....	32
QUADRO 2 – Melhoria na transmissão de ruídos de impacto com revestimentos flexíveis e pavimentos flutuantes. Fonte: Tadeu, 2000, apud Souza, 2003, p. 101.....	32
FIGURA 7 – Revestimento de piso com material elástico. Fonte: Meisser, 1973, p.192...	33
QUADRO 3 – Desempenho dos materiais ensaiados. Fonte: Conrad, 2002, p. 93.	35
FIGURA 8 – Esquema de piso flutuante.....	36
FIGURA 9 – Ensaio realizado pelo IPT/SP. Fonte: Akkerman, 1996.	37
FIGURA 10 – Ensaio realizado por Brondani. Fonte: Brondani, 1999, p.51.....	38
FIGURA 11 – Ensaio realizado por Ferraz. Fonte: FERRAZ, 2007, p. 725.....	40
FIGURA 12 – Resultados dos ensaios realizados com revestimento final de piso em porcelanato. Fonte: PEDROSO, 2007, p. 77.....	42
FIGURA 13 – Resultados dos ensaios realizados com revestimento final de piso laminado de madeira. Fonte: PEDROSO, 2007, p. 87.....	43
FIGURA 14 – Manifestações e pontes acústicas. Fonte: Meisser, 1973, p.193,194.....	44

QUADRO 4 – Critérios para isolamento sonoro aéreo e de impacto piso-teto entre unidades construídas.....	47
FIGURA 15 – Evolução dos sistemas construtivos para lajes. Fonte: Silva Filho, 2002, p. 2.	48
FIGURA 16 – Laje pré-moldada convencional. Fonte: Silva Filho, 2002, p. 18.	50
FIGURA 17 – Vigota tipo convencional. Fonte: Silva Filho, 2002, p. 19.	50
FIGURA 18 – Laje pré-moldada convencional. Fonte: Silva Filho, 2002, p. 20.	51
FIGURA 19 – Laje pré-moldada com vigotas treliçadas. Fonte: Silva Filho, 2002, p. 21...51	
FIGURA 20 – Vigota treliçada. Fonte: Silva Filho, 2002, p. 23.....	52
FIGURA 21 – Laje nervurada.....	54
FIGURA 22 – Representação esquemática do sinal que a máquina gera, em condições ideais, no domínio do tempo e da freqüência. Fonte: Méndez, <i>et al.</i> , 1995, p.131.....	57
FIGURA 23 – Perfil deslizante – Norma ISO 717.....	59
FIGURA 24 – Medidor de nível sonoro de integração e registro de dados. Fonte: Manual técnico Blue Solo 01, 2003, p. 1.	60
FIGURA 25 – Máquina geradora de ruído de impacto.	61
FIGURA 26 – Calibrador.....	61
FIGURA 27 – Planta baixa da sala receptora, tipologia de laje: Laje maciça.....	63
FIGURA 28 – Planta baixa da sala receptora, tipologia de laje: Pré-Laje.	65
FIGURA 29 – Planta baixa da sala receptora, tipologia de laje: Laje treliçada.....	67
FIGURA 30 – Planta baixa da sala receptora, tipologia de laje: Laje nervurada.	69
FIGURA 31 - Gráfico com os resultados do ensaio de ruído de impacto da laje maciça em “osso”.....	72
FIGURA 32 - Gráfico com os resultados do ensaio de ruído de impacto da laje pré-moldada treliçada em “osso”.....	74
FIGURA 33 - Gráfico com os resultados do ensaio de ruído de impacto da laje pré-moldada convencional em “osso”.....	76
FIGURA 34 - Gráfico com os resultados do ensaio de ruído de impacto da laje nervurada em “osso”.....	78
FIGURA 35 - Gráfico comparativo com os resultados dos ensaios de ruído de impacto das lajes pré-moldada convencional e pré-moldada treliçada, ensaiadas em “osso”.....	79

FIGURA 36 - Gráfico comparativo com os resultados dos ensaios de ruído de impacto das lajes maciça e nervurada, ensaiadas em “osso”.....	80
FIGURA 37 - Gráfico comparativo com os resultados dos níveis de pressão de ruído de impacto padronizado (L'_{nT}) para as tipologias de lajes ensaiadas em “osso”.....	81
FIGURA 38 - Gráfico comparativo com os resultados dos níveis de pressão de ruído de impacto padronizado ponderado ($L'_{nT,w}$) para todas as tipologias de lajes ensaiadas em “osso”.....	82
FIGURA 39 - Gráfico comparativo com os resultados dos níveis de pressão de ruído de impacto padronizado (L'_{nT}) para a tipologia de laje pré-moldada convencional em “osso” e com o piso laminado de madeira.....	83
FIGURA 40 - Gráfico comparativo com os resultados dos níveis de pressão de ruído de impacto padronizado (L'_{nT}) para a tipologia de laje nervurada em “osso” e com o piso laminado de madeira e forro de gesso.....	84

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
B&K – Brüel & Kjaer
CSTB – Centre Scientifique et technique du Batiment
CTSA - Classe de transmissão sonora aérea
CTSI - Classe de transmissão sonora de impacto
dB – decibel
EVA – Ethylene-vinyl acetate
HUD – *Housing and Urban Development*
Hz – Hertz
ISO – International Organization for Standardization
La.T.A. – Laboratório de Termo-Acústica
L – Nível de pressão sonora médio
Li – Nível de pressão sonora de impacto ou nível de ruído de impacto
Ln – Nível de pressão sonora de impacto normalizado
 $\Delta L'_{n,w}$ – Diferença entre níveis de pressão sonora de impacto normalizado ponderado
 L'_{nT} – Nível de pressão sonora de impacto padronizado
 $L'_{nT,w}$ – Nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado
NBR – Norma Brasileira
NPS – Nível de Pressão Sonora
Pa – Pascal
RF – Tempo de reverberação
T – Tempo de reverberação
 T_0 – Tempo de reverberação de referência
UFSM – Universidade Federal de Santa Maria

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE A – Tratamento matemático segundo a ISO 717-2 e gráficos com perfil deslizante.....	94
APÊNDICE B – Tratamento matemático da ISO 717-2, Planilhas de cálculo.....	100

SUMÁRIO

RESUMO	4
ABSTRACT	5
LISTA DE TABELAS	6
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	7
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	10
LISTA DE APÊNDICES	11
1. INTRODUÇÃO	15
1.1 Justificativa da pesquisa	15
1.2 Objetivos	18
1.2.1 Objetivo Geral.....	18
1.2.2 Objetivos específicos.....	18
1.3 Hipóteses	19
1.3.1 Hipótese geral.....	19
1.3.2 Hipótese específica.....	19
1.4 Metodologia da pesquisa	19
1.5 Estrutura da dissertação	20
2. REVISÃO DA LITERATURA	21
2.1 Som e sua transmissão	21
2.2 Isolamento Acústico	22
2.2.1 Isolamento ao ruído aéreo.....	24
2.2.2 Ruído de impacto e sua transmissão.....	25
2.2.3 Isolamento ao ruído de impacto.....	27
2.2.3.1 Isolamento através de recobrimentos elásticos.....	31
2.2.3.2 Isolamento através de pisos flutuantes.....	35
2.2.3.3 Isolamento através de forros falsos.....	43

2.3	Legislação relacionada ao conforto do usuário	45
2.4	Lajes	47
2.4.1	Tipologias de lajes.....	48
2.4.1.1	Lajes pré-moldadas.....	49
2.4.1.2	Lajes pré-moldadas convencionais.....	49
2.4.1.3	Lajes pré-moldadas treliçadas.....	51
2.4.1.4	Lajes pré-moldadas protendidas.....	52
2.4.1.5	Elementos de enchimento.....	52
2.4.1.6	Lajes maciças.....	53
2.4.1.7	Lajes nervuradas.....	53
2.4.1.8	Lajes mistas.....	54
2.4.1.9	Lajes grelhas.....	54
2.4.1.10	Lajes duplas.....	54
3.	METODOLOGIA	55
3.1	Considerações sobre a normalização	55
3.1.1	Processamento dos resultados conforme a norma ISO 140-7 (1978) “ <i>Field measurements of impact sound insulation of floors</i> ”.....	55
3.1.2	Processamento dos resultados conforme a norma ISO 354 (2003) “ <i>Measurement of sound absorption in a reverberation room</i> ”.....	58
3.1.3	Processamento dos resultados conforme a norma ISO 717-2 (1996) “ <i>Impact sound insulation</i> ”.....	58
3.2	Equipamentos utilizados	60
3.3	Critério de escolha das obras para realização dos ensaios	61
3.4	Considerações sobre os locais de ensaio	62
3.4.1	Laje maciça.....	62
3.4.2	Laje Pré-moldada convencional.....	64
3.4.3	Laje Pré-moldada treliçada.....	65
3.4.4	Laje nervurada.....	67
4	RESULTADOS OBTIDOS E ANÁLISE DOS DADOS	70
4.1	Resultados do ensaio de ruído de impacto para laje maciça em “osso”	70
4.2	Resultados do ensaio de ruído de impacto para a laje pré-moldada treliçada (280 mm) em “osso”	72

4.3	Resultados do ensaio de ruído de impacto para a laje pré-moldada convencional em “osso”	74
4.4	Resultados do ensaio de ruído de impacto para a laje nervurada em “osso”	76
4.5	Análise comparativa do desempenho das tipologias de lajes.....	78
4.6	Análise comparativa do desempenho de duas tipologias de lajes com acabamento final de piso.....	82
5.	CONCLUSÕES.....	85
5.1	Conclusões finais.....	85
5.2	Sugestões para futuros trabalhos de pesquisa.....	88
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	89
	BIBLIOGRAFIA CONSULTADA.....	92
	APÊNDICES.....	93

1 INTRODUÇÃO

1.6 Justificativa da pesquisa

Hoje, a preocupação acústica não é apenas uma questão de condicionamento acústico do ambiente, mas também de controle de ruído e preservação da qualidade ambiental. A questão da acústica urbana passa a ter mais importância do que até então, pois o número de fontes produtoras de ruído é cada vez maior e as conseqüências desses ruídos para o homem são cada vez mais prejudiciais. Para as edificações, uma série de novos materiais são empregados e, muitos deles, materiais leves, de baixo isolamento acústico. Associa-se a isso um traçado urbano que vem sofrendo expansões em várias etapas da história, marcando a tendência de crescimento de cada cidade e cuja configuração espacial pode, muitas vezes, representar um elemento agravante de muitos problemas acústicos (SOUZA, et al. 2003, p. 23).

A crescente verticalização das cidades e a constante evolução das tecnologias desenvolvidas pelo homem trouxeram consigo um aumento significativo no nível de ruído proveniente das mais variadas fontes e com ele os malefícios causados ao ser humano.

A civilização moderna vem, ao passar dos tempos, estabelecendo exigências crescentes e propondo materiais antes desconhecidos, associados a novos métodos de execução. Essa busca por novas tecnologias visa alcançar um menor custo e uma maior agilidade no tempo de construção, muitas vezes em detrimento da qualidade e de um nível mínimo de conforto acústico proporcionado ao usuário, onde tem-se percebido uma deficiência muito grande no que diz respeito ao isolamento acústico.

¹Si siempre ha habido ruido, nunca ha sido tan intenso y tan omnipresente como en nuestra época. La concentración urbana hace disminuir, cada día, el número de privilegiados que pueden vivir a cubierto de las fuentes de ruido.

¹ Se sempre houve ruído, nunca foram tão intenso e tão onipresente como na nossa época. A concentração urbana faz com que diminua, cada dia, o número de privilegiados que podem viver resguardados das fontes de ruído.

Em vez de poder dormir com as janelas abertas e ter um sono reparador de forças novas para nosso trabalho diário, nos vemos obrigados a buscar o sono por meios artificiais. Nossa resistência se recente e nosso rendimento decresce. (tradução livre do autor)

En lugar de poder dormir con las ventanas abiertas y encontrar un sueño reparador de fuerzas nuevas para nuestro trabajo diario, nos vemos obligados a buscar el sueño por medios artificiales. Nuestra resistencia se resiente y nuestro rendimiento decrece (Rougeron, 1977, p.105).

No mesmo sentido, Tambara (2006), afirma que as empresas estão investindo cada vez mais em ações que visam à eficiência e à competitividade, características estas intrinsecamente relacionadas à qualidade, ou seja, um padrão mais elevado de construção (maior confiabilidade no processo). Visam também ao preço, ou seja, uma forma mais econômica ao longo da vida útil do produto, e, ao prazo, isto é, formas de construir mais rapidamente. Portanto, podemos concluir que é errônea a idéia de que o conforto acústico é uma característica que deve ser relacionada apenas a grandes investimentos.

Percebe-se que são várias as tentativas de melhoria empregadas pelas empresas da construção civil. Pode-se citar a implantação de ações voltadas à racionalização da produção; à adoção de sistema de gestão de qualidade nos projetos e em canteiro; à implantação de novas tecnologias, isto é, diferentes da técnica tradicional de construção local.

Entretanto, observa-se que as iniciativas por parte das empresas construtoras, nem sempre são avaliadas rigorosamente quanto à efetividade, viabilidade de implantação e adequação da solução para ela. Também se não pode esquecer que muitas das “novas tecnologias” lançadas no mercado, podem estar em fase de observação e estudo, não apresentando a confiabilidade adequada. Apenas com o uso, pode-se dimensionar realmente todos os condicionantes e as patologias. Tampouco deve-se esquecer que mesmo tecnologias já concretizadas e validadas nem sempre se adaptam a determinados estágios de desenvolvimento da empresa construtora, pois elas podem não atender a requisitos como as expectativas do usuário final ou, até mesmo, a legislação (Tambara, 2006, p.5).

Esses avanços permitiram o desenvolvimento de novos materiais de acabamento e de sistemas estruturais que possibilitassem uma maior flexibilidade de projeto e estruturação da edificação. O advento dessas novas tecnologias faz-nos refletir quanto ao seu desempenho e qualidade oferecida ao consumidor.

Gerges (1992) alerta para os efeitos nocivos do ruído sobre o corpo humano e descreve que a exposição prolongada aos ruídos pode manifestar-se na forma de aceleração da pulsação e aumento da pressão sangüínea, além de causar, em determinados casos, uma perda auditiva. Tal exposição pode manifestar-se em

forma de mudança de comportamento podendo chegar a distúrbios mentais e emocionais, em casos mais graves.

Em países mais desenvolvidos existem legislações que regulamentam os níveis de isolamento ao ruído aéreo e ao ruído de impacto. Já no Brasil, tem-se a NBR 10151 (ABNT, 2000), que determina as condições exigíveis para avaliação da aceitabilidade do ruído em comunidades e especifica um método para a medição de ruído, onde há a aplicação de correções nos níveis medidos se o ruído apresentar características especiais e uma comparação dos níveis corrigidos com um critério que leva em conta vários fatores. Além disso, é a NBR 10152 (ABNT, 1987) que fixa os níveis de ruído para conforto acústico relacionados às diferentes atividades e seus compartimentos, contudo, nenhuma lei brasileira regulamenta os índices relativos ao ruído de impacto.

Assim, com a falta de uma legislação específica para estabelecer parâmetro aos níveis mínimos a serem respeitados e seguidos no que se refere ao ruído de impacto, podemos concluir que, com o passar dos anos e com o advento das novas tecnologias de construção, o conforto acústico tem assumido um caráter insatisfatório. O que se espera que venha a mudar com a publicação em 2008 das novas normas de desempenho para a construção civil, NBR 15575 Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - Desempenho, que estabelece requisitos e critérios de desempenho a serem aplicados a edifícios habitacionais de até cinco pavimentos e passarão a ter validade a partir de 2010.

Jobim (1997) constatou em seu estudo “Caracterização das preferências dos potenciais compradores de imóveis em Santa Maria”, que 95,47% dos entrevistados importa-se de alguma maneira com o conforto acústico da edificação, constatando que a maior insatisfação dos usuários de imóveis, em Santa Maria, é relacionado ao ruído gerado no imóvel vizinho.

A preocupação com o conforto oferecido ao usuário deve ser determinante nas escolhas do profissional da área da construção civil e, para tanto, devemos dispor de dados que possibilitem traçar o desempenho desses materiais. Com base nisso, estabeleceu-se o objetivo desta pesquisa: medir e conhecer o desempenho acústico de diferentes tipologias de lajes, quanto ao seu potencial de isolamento ao ruído de impacto, traçando um perfil comparativo entre as variadas tipologias, o que possibilita o fornecimento de dados aos profissionais da área de acústica, auxiliando

na definição de parâmetros que possam contribuir com a melhora do conforto acústico ao usuário da construção civil.

A maior motivação para a realização desta pesquisa é a escassez de dados existentes nas bibliografias, relativos ao desempenho acústico das estruturas de entrespisos, principalmente no que se refere ao isolamento ao ruído de impacto.

Com a realização deste trabalho, procura-se contribuir para a seleção sobre o melhor sistema construtivo a ser adotado, considerando-se o isolamento ao ruído de impacto nas lajes analisadas.

Almeja-se que este estudo venha a contribuir para seleção estratégica, uma vez que a escolha do sistema construtivo a ser adotado poderá ser determinante para a qualidade do conforto acústico da edificação. Espera-se também que os dados coletados contribuam de forma mais ampla, motivando a pesquisa e a busca pela qualidade e desempenho em todos os setores da cadeia produtiva da construção civil. Este estudo volta-se aos colegas técnicos da construção civil que são os maiores responsáveis pela escolha destes sistemas construtivos que serão utilizados em suas obras.

1.7 Objetivos

1.7.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo principal medir “*in situ*” e avaliar o isolamento sonoro ao ruído de impacto em determinadas tipologias de lajes utilizadas na região.

1.7.2 Objetivos específicos

Medir a isolamento sonoro ao impacto das seguintes lajes: maciça de concreto armado, pré-moldada convencional, pré-moldada treliçada e laje nervurada, medidas *in situ* em osso.

Avaliar os diferentes resultados obtidos, comparando o desempenho das lajes, relacionando o isolamento sonoro ao ruído de impacto, evidenciando assim o desempenho acústico das diferentes tecnologias empregadas.

1.8 Hipóteses

1.8.1 Hipótese geral

Adota-se a hipótese de que é possível demonstrar o desempenho, em relação ao isolamento ao ruído de impacto, de diferentes tipologias de lajes empregadas na construção civil como, por exemplo, lajes de entrespos, através de testes realizados *in situ*, que seguem a metodologia especificada na Norma ISO 140/VII.

1.8.2 Hipótese específica

No rol das lajes pesquisadas, conforme a Norma ISO 140-7 e a Norma ISO 717-2, é possível estabelecer uma classificação quanto à eficiência do isolamento ao ruído de impacto.

1.9 Metodologia da pesquisa

A pesquisa é composta de duas etapas. A teórica, em que foi realizada uma revisão de literatura, com o objetivo de investigar os principais tópicos e conceitos pertinentes ao tema desta dissertação e buscar a bibliografia que referenciasse o

tema abordado através de publicações e produções científicas. Esta etapa da pesquisa refere-se às técnicas, materiais e tecnologias adotadas como sistemas construtivos na cidade e região, para a determinação das tipologias de lajes a serem pesquisadas.

Na outra etapa, de caráter prático, foram selecionadas as obras que utilizaram os sistemas construtivos de interesse da pesquisa e que estivessem em um estágio de acabamento que permitisse a realização das medições para que então fossem submetidas aos ensaios de ruído de impacto.

1.10 Estrutura da dissertação

Esta dissertação está estruturada em cinco capítulos, descritos a seguir:

O **Capítulo I** é o capítulo introdutório que justifica o tema escolhido e expõe os objetivos, as hipóteses adotadas e a estrutura deste trabalho.

O **Capítulo II** apresenta a revisão da literatura, embasando conceitos pertinentes ao assunto desta dissertação e buscando estudos já realizados na área de ruído de impacto.

O **Capítulo III** desenvolve a estrutura da metodologia empregada para os ensaios, onde descreve-se detalhadamente todos os procedimentos e as técnicas realizadas, equipamentos utilizados, bem como as lajes ensaiadas.

No **Capítulo IV** são expostos os resultados, sendo as lajes separadas em grupos com as mesmas características estruturais e a análise comparativa dos mesmos.

O **Capítulo V** apresenta as conclusões, as sugestões para os futuros trabalhos.

2 REVISÃO DA LITERATURA

4.4 Som e sua transmissão

Na prática, a geração do ruído é causada pela variação da pressão ou da velocidade das moléculas do meio. O som é uma forma de energia que é transmitida pela colisão das moléculas do meio, umas contra as outras, sucessivamente. Portanto, o som pode ser representado por uma série de compressões e refrações do meio em que se propaga, a partir da fonte sonora (GERGES, 1992, p.2)

Méndez et al. (1994) definiu como “som” todos aqueles sinais acústicos que nos produzem sensações agradáveis e como “ruído” todos que nos produzem sensações desagradáveis.

Rougeron (1977) cita “O som tem, por vez, uma causa: a vibração, e um efeito: a sensação fisiológica”, considerando-se esta afirmação, pode-se definir conceitualmente a palavra som de duas formas distintas: uma seria o som como vibração – perturbação física transmitida por um meio físico; e outra o som como sensação - perturbação psico-fisiológica captada pelos nossos ouvidos. No primeiro caso, trata-se do deslocamento de moléculas que uma onda sonora produz em um meio qualquer de propagação. No nosso caso, o meio mais comum é o ar e trata-se do som propriamente dito, a sensação que é captada pelo nosso ouvido.

As vibrações sonoras propagam-se pelo ar devido a pequenas alterações provocadas na pressão atmosférica, configurando-se como ondas sonoras. Ao sofrer um estímulo sonoro (vibração) as partículas do ar são submetidas a sucessivas compressões e rarefações de forma que o movimento de uma partícula provoca a vibração da partícula vizinha, resultando na propagação sonora. Em outras palavras, as partículas não se deslocam, se o meio não estiver em movimento, mas sim vibram em torno de seu centro de equilíbrio, transmitindo a energia sonora até se extinguir a flutuação da pressão sonora (SOUZA et al., 2003, p. 25).

Fernandes (2002) afirma que o **Princípio Huygens-Fresnel** se aplica a essa propagação, em que cada molécula de ar, ao vibrar, transmite para a vizinha a sua oscilação, comportando-se como uma nova fonte sonora.

Segundo Méndez et al. (1994), para que exista a propagação do som é imprescindível que haja um meio elástico, seja ele um material sólido, líquido ou gasoso.

Pode-se afirmar, teoricamente, que a propagação do som se dá de forma esférica a partir de uma fonte geradora. Quando o som é percebido através de dois ambientes, que possuam uma superfície separadora entre eles, pode-se dizer que esta superfície é um meio vibrante.

Souza et al. (2003) descreve que o comportamento do som sobre uma superfície assemelha-se ao da luz, sendo assim, na maioria das vezes o som que percebemos é a composição do som direto, ou seja, aquele que parte da fonte geradora e chega ao receptor sem influência das superfícies, e as subseqüentes reflexões sofridas pela onda sonora em um ambiente. Dessa forma, pode-se afirmar que as diversas reflexões reforçam o som direto.

4.4 Isolamento Acústico

Segundo Souza et al. (2003), os ruídos existentes em um ambiente são decorrentes das atividades internas e externas à edificação. As fontes de ruído determinam conjuntamente um nível sonoro mínimo nos ambientes internos e externos, denominado ruído de fundo.

As diferenciadas formas de tratamento para a redução de ruídos variam conforme o tipo de ruído considerado, que pode ser classificado de acordo com a origem e propagação das ondas sonoras.

As fontes de ruído podem ser propagadas sob a forma de ruídos aéreos, ou seja, quando a fonte geradora de som atua diretamente sobre o ar, e também quando a fonte geradora de ruído é uma vibração, contínua ou de impacto, gerada diretamente sobre uma estrutura e que se transmite por via sólida.

A seguir, demonstradas nas Figuras 1 e 2, estão as formas de transmissão do ruído através de uma estrutura rígida.

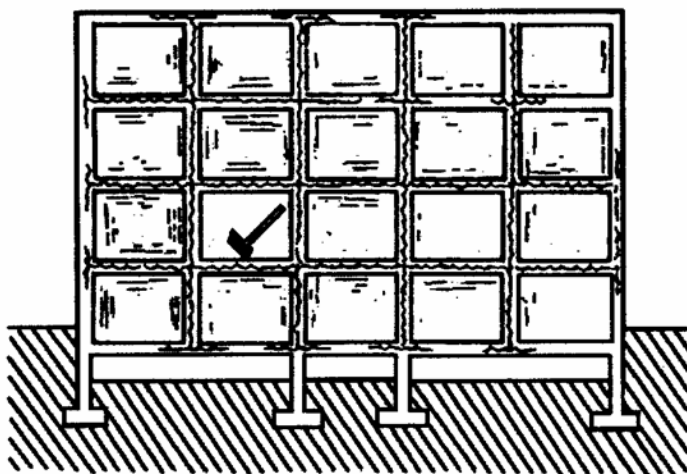


Figura 1 – Ruído de Impacto (Meisser, 1973, p. 188)

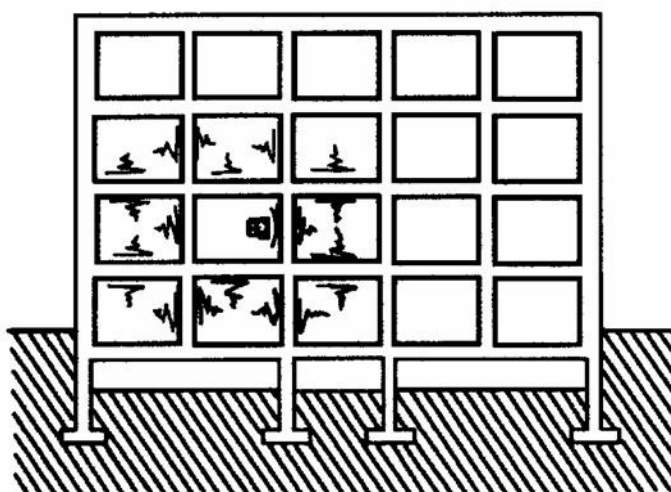


Figura 2 – Ruído Aéreo (Meisser, 1973, p. 188)

Os diversos materiais empregados para os diferentes casos têm objetivos e características diversas entre si. As funções “isolar” e “absorver” podem ser complementares, mas requerem dos materiais diferentes características. Nem sempre um bom material isolante é um bom material absorvente, ou vice-versa.

Rougeron (1977) faz uma distinção entre os materiais antivibratórios, que são materiais que se opõem à transmissão das vibrações, e os materiais absorventes,

que têm a propriedade física de não refletir a onda sonora incidente e sim de absorver grande parte de sua energia, transformando-a em energia térmica por efeito de sua porosidade. Os primeiros são amplamente utilizados para evitar vibrações geradas por máquinas e ruídos de impacto, comumente empregados em pisos flutuantes, já os materiais absorventes são mais, de modo comum, empregados junto à correção acústica de ambientes.

Gerges (1992, p. 5) afirma que para impedir a passagem de som, barreiras devem ser colocadas perto da fonte ou do receptor, e suas dimensões devem ser três a cinco vezes o comprimento de onda do som envolvido.

No mesmo sentido, Gerges (1992, p.175) diz que “a propagação de uma onda acústica no ar se dá apenas por ondas do tipo longitudinal, isto é, a vibração das partículas de ar ocorre na mesma direção da propagação da onda. Em sólidos existem vários tipos de ondas”, como por exemplo, ondas de cisalhamento, ondas torcionais e ondas de flexão.

2.2.1 Isolamento ao ruído aéreo

Rougeron (1977) define como isolamento acústico ao ruído aéreo como o conjunto de medidas que se aplicam para opor-se à transmissão do som e cita as formas de transmissão da energia sonora de um local ao outro:

- através dos fechamentos que os separam, esta por via direta;
- pelas paredes e fechamentos adjacentes, quando o isolamento próprio é insuficiente. Esta é uma via indireta de transmissão;
- Eventualmente através de dutos e canalizações que passam pelos locais, esta é outra forma indireta de transmissão.

Todo o material possui a capacidade de reduzir a intensidade sonora, esta capacidade de isolar varia conforme a frequência dos sons. A capacidade dos materiais de isolar os ruídos é indicada em um valor específico para algumas frequências definidas, expressa em decibels e chamada de índice de atenuação.

O isolamento promovido por uma superfície depende da sua massa, da inflexibilidade e da capacidade de amortecimento das ondas sonoras. A importância da massa do material varia conforme a frequência sonora. Para sons de baixa frequência, o aumento da massa é menos eficiente do que para sons de alta frequência. Considerando isso, é correto afirmar que os sons de baixa frequência são mais difíceis de serem isolados do que os de alta frequência.

2.2.1 Ruído de impacto e sua transmissão

A transmissão de ruído de impacto em prédios depende de vários fatores que podem levar uma laje a vibrar, transmitindo ruído ao ambiente inferior, ou as vezes até amplificando o ruído de impacto gerado no andar superior. Ondas de impacto podem se propagar a longas distâncias sem atenuação, devido aos altos valores de densidade e de velocidade do som nos materiais sólidos (Gerges, 1992, p. 213).

Os ruídos de impacto são causados por contato ou atrito mecânico de um corpo sobre o outro, uma excitação mecânica de curta duração aplicada diretamente sobre a estrutura de um edifício que se transmite por via sólida.

Em uma edificação, os elementos mais suscetíveis à ação de uma força de impacto ou vibração são as lajes entre pavimentos. Excluindo eventuais situações de impacto que podem estar submetidas às paredes, estas mais comumente expostas a ruídos aéreos, os princípios para o isolamento de quaisquer dos elementos da edificação são os mesmos.

As vibrações de sólidos e impactos são transmitidos diretamente sobre uma estrutura e posteriormente provocam a vibração do ar. Vibrações são normalmente associadas a movimentos de máquinas e fricções. A vibração é percebida enquanto movimento ou a fricção estiver atuando. Se há uma alteração, com diminuição da velocidade, a intensidade do som percebido é menor. Por isso a escolha adequada de uma máquina é uma atuação acústica sobre a fonte sonora. Quanto mais lento o movimento da máquina menor o ruído gerado.

Impactos também são vibrações que se propagam pelas estruturas, mas apresentam como característica uma rápida queda na sua intensidade. São vibrações com grande quantidade de energia, apresentando picos e se propagando sobre os sólidos com pouca atenuação. Impactos como a ação de um martelo sobre a parede faz com que esta superfície vibre e o ruído

seja transmitido para o ambiente adjacente, provocando a vibração do ar (Souza et al., 2003, p. 96).

Quando a fonte geradora do ruído é uma máquina e o objetivo é seu isolamento, pode ser feito o seu enclausuramento. São construídas superfícies ao redor da máquina com o objetivo de formar uma blindagem acústica, as características para esta blindagem devem ser semelhantes às adotadas para os tratamentos de lajes e paredes. Devem ser utilizados materiais resilientes para o amortecimento das vibrações e materiais absorventes no interior das paredes de enclausuramento para auxiliar na diminuição dos níveis de ruído.

Os mesmos princípios podem ser considerados para o isolamento de instalações de tubulações e dutos, uma vez que esses elementos também se caracterizam por serem fonte geradora e de transmissão de ruídos. Souza et al. (2003) destaca algumas formas de minimizar a transmissão desses ruídos como, por exemplo, minimizar as conexões entre a estrutura e dutos e a adoção de materiais resilientes nos pontos de conexão, não os tornando pontos rígidos.

A irradiação dos raios sonoros gerados por vibrações de estruturas depende da dimensão da estrutura em relação ao comprimento de onda. Geralmente quanto maior a dimensão, maior é a transmissão, afirma Souza et al. (2003). O autor destaca também que a lei da massa nem sempre é uma medida satisfatória para esses casos, exemplificando com a laje de concreto armado, que apesar desse material apresentar grande massa e bom isolamento de ruídos aéreos, não apresenta boa capacidade de isolamento de vibrações.



Figura 3 – Transmissão de ruídos de impacto e vibrações (Souza et al., 2003, p. 97).

2.2.1 Isolamento ao ruído de impacto

O isolamento ao ruído de impacto de uma laje é indicado pelo nível sonoro transmitido, ou seja, quanto maior o nível indicado, menor o seu isolamento. Dentre as alternativas mais utilizadas objetivando a melhora do isolamento das vibrações, pode-se destacar a utilização de materiais resilientes, forros falsos, lajes-flutuantes ou descontinuidade das estruturas.

Méndez et al. (1994) destacam que geralmente as estruturas dos edifícios não possuem uma rigidez suficiente (relacionada à quantidade de massa) para proporcionar um isolamento adequado ao ruído de impacto. Por esse motivo, deve-

se recorrer a formas construtivas especiais a fim de garantir um bom desempenho neste ponto de vista.

Nesse sentido, Rougeron (1977) cita que a massa dos fechamentos e dos pisos tem pouca influência sobre a condução do ruído e cita, ainda, que muitos dos materiais utilizados na construção civil, como metais e cerâmicas, tendem a conduzir facilmente as vibrações.

Pode-se destacar os estudos relacionados à utilização de materiais isolantes na construção Civil, realizados pelo *Building Research Station* da Grã-Bretanha. Esses estudos definem várias curvas típicas de isolamento, que representam o mínimo isolamento necessário para pertencer a um certo grau, designados como Grau I (de maior exigência) e Grau II (de menor exigência). Os materiais que não atingem o Grau II não são acusticamente aptos.

Segundo Méndez et al. (1994) deve-se comparar o gráfico da medição efetuada com o gráfico do Grau II, a fim de saber se o material em questão é acusticamente apto.

No mesmo sentido, De Marco (1990) apresenta o gráfico mostrado na Figura 4, para os máximos níveis sonoros admissíveis, no local de recepção, provenientes de ruído de impacto no pavimento superior produzidos por uma máquina de impacto normalizada. O autor alerta para o fato de que o critério se refere aos níveis admissíveis e não a isolantes necessários.

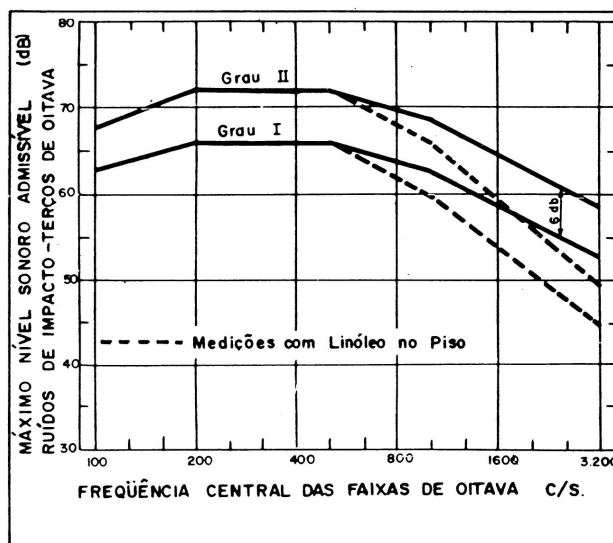


Figura 4 – Critérios para os máximos níveis sonoros admissíveis (De Marco, 1990, p. 72).

Pode-se afirmar que os materiais acusticamente pobres têm uma curva mais alta, constatando que as diferenças desfavoráveis ocorrem quando a curva medida está acima da curva. Destaca-se a importância de conhecer o processo pelo qual a energia é produzida na hora do impacto e a forma como ela é transmitida inicialmente à laje e posteriormente à camada de ar do compartimento inferior.

A Figura 5, a seguir, compara as curvas típicas de isolamento ao ruído de impacto, considerando a laje estrutural sem revestimento e a combinação de piso flutuante com revestimento.

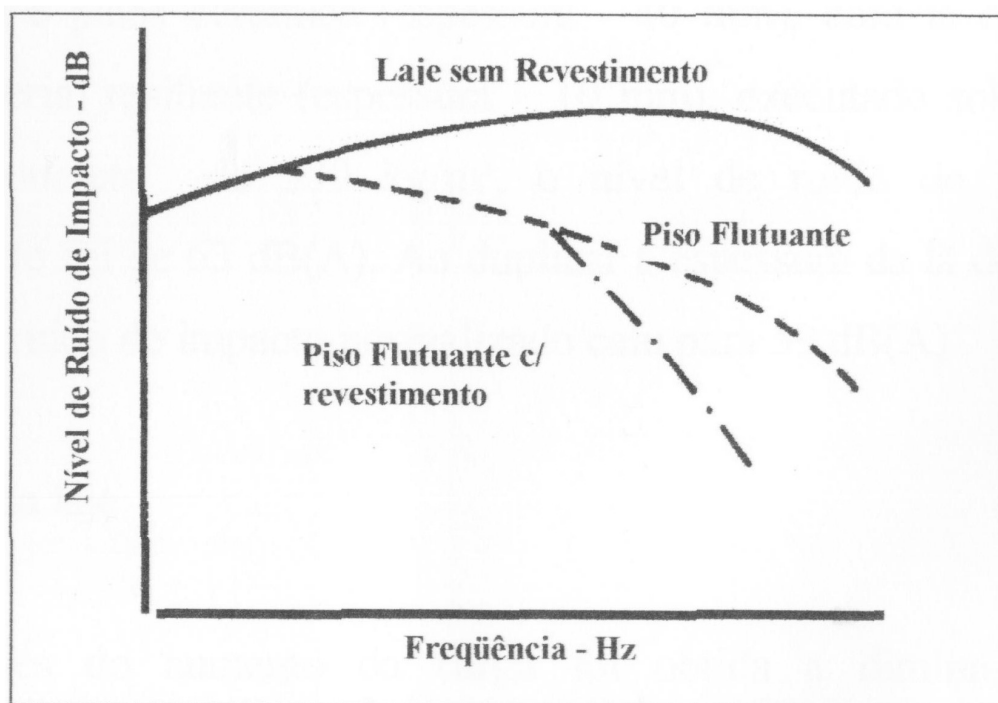


Figura 5 – Curvas típicas de isolamento ao ruído de impacto (Sancho, 1982, p.67).

O *Centre Scientifique et technique du Batiment* (CSTB) realizou uma série de estudos comparativos entre diversos tipos de revestimentos e de pisos flutuantes. A Figura 6, a seguir, demonstra o nível global ponderado (A) do ruído de impacto normalizado transmitido L_n . Na coluna onde estão expressos os valores de L_n a laje tipo, de referência é de concreto armado de 350 Kg/m².

<i>Revestimientos</i>	<i>Nivel del ruido de choque normalizado L_n sobre losa tipo. L_n expresado en dB (A)</i>
Moqueta corriente sobre arpillera	40 a 55
Tapiz de terciopelo o implantado	54 a 55
Tapiz vinílico homogéneo colocado por tensión entre rastreles sobre arpillera de fieltro de 800 g/m ²	52
Losa flotante de 4 cm de hormigón armado sobre 1 cm de fibras minerales	55 a 60
Tapiz de caucho con subcapa celular de 4 mm.	51 a 60
Parquet por tableros, flotante sobre 2 cm de serrín impregnado de betún.	58
Parquets con rastreles flotantes sobre bandas de fieltro con corcho bituminoso (granos de corcho de 4 mm), o sobre tableros ligeros de 1 cm de espesor de fibras de madera impregnados con brea	60 a 66
Parquet por tableros, flotantes sobre tableros ligeros de 1 cm de espesor de fibras de madera impregnadas con brea	
Losa flotante de 4 cm de hormigón armado sobre granos de corcho encolados sobre fieltro bituminoso (espesor de la subcapa 13 mm)	62
Capa de PVC flexible sobre espuma de PVC de 3,5 mm	67
Parquet colocado directamente sobre el suelo o con interposición de arena o paneles ligeros de fibras de madera	63 a 68
Losa flotante de 4 cm de hormigón armado sobre granos de corcho encolados sobre fieltro bituminoso (espesor de la subcapa, 8 mm)	66
Capa vinílica sobre soporte de corcho aglomerado armado con un tejido de yute	70
Capa vinílica aplicada sobre fieltro 700 g/m ²	67 a 75
Losa flotante de 4 cm de hormigón armado sobre 2 cm de paja de arroz ligada con betún	70
Capa vinílica sobre tableros de fibra de madera comprimida de 0,4 cm y paneles ligeros de 2 cm de espesor de fibras de madera	70
Capa termoplástica sobre cartón afieltrado 700 g/m ²	70
Tapiz multicapa, capa de plástico o caucho, sobre subcapa celular	56 a 72
Parquet a la inglesa sobre rastreles simplemente apoyados sobre el suelo o fijos en él (por clavado especial o empotrados con yeso o con betún)	71
Parquet en mosaico, encolado sobre tableros ligeros de 1 cm de espesor de fibras de madera impregnados con brea	70 a 72
Losetas vinílicas sobre subcapa de 1,5 cm en hormigón de corcho y fibras de madera	
Parquet de roble colocado con un baño de betún sobre arena	
Losa flotante de 4 cm de hormigón armado sobre capa de fibras vegetales de 1 cm	71 a 73
Parquet en mosaico encolado sobre corcho aglomerado 0,4 cm.	
Parquet en mosaico encolado sobre capa de hormigón de serrín, espesor 4 cm, colado directamente sobre la losa	
Capa de caucho macizo, 4 mm	
Capa vinílica enlucida sobre fieltro 500 g/m ²	74
Parquet en mosaico encolado	78
Linoleum	
Capa vinílica sobre soporte textil	76 a 78
Capa o losetas plásticas sin soporte textil ni subcapa elástica incorporada	80

Figura 6 – Isolamento do nível global ponderado (A) do ruído de impacto normalizado transmitido L_n (Rougeron, 1977).

2.2..1. Isolamento através de recobrimentos elásticos

²Consiste en colocar sobre el piso un recubrimiento blando, como por ejemplo una alfombra o una carpeta de goma blanda. El principio se basa en aumentar la duración de la fuerza aplicada con lo que se logra una disminución en su valor máximo (Méndez et al., 1994, p.133).

Souza et al. (2003) descreve que os materiais resilientes, flexíveis como as borrachas, têm uma maior capacidade de absorver o impacto, amortecendo a onda sonora. A eficiência desses materiais está relacionada a sua capacidade de elasticidade, ou seja, a capacidade de não deformar após o término da aplicação de uma força sobre ele. Quando utilizados, deve-se cuidar para que o peso sobreposto ao material não exerça uma compressão superior à capacidade de absorção do material, tornando-o um material rígido, o que elimina a sua função como isolante acústico.

Para cumprir um desempenho adequado, os materiais resilientes devem possuir determinadas características:

- Ter boa resistência mecânica, não devendo enrijecer ou amolecer;
- Ter boa resistência química, não devendo decompor-se por ação da umidade;
- Ter alta resistência à perfuração;
- Ser incombustível;
- Ser elástico, ter baixa rigidez mecânica.

² Consiste em colocar sobre o piso um recobrimento resiliente, como por exemplo, um tapete ou um carpete. O princípio se baseia em aumentar a duração da força aplicada objetivando uma diminuição no seu valor máximo. (tradução livre do autor)

Natureza do revestimento de piso			ΔL (dB)
Designação	Características		
	Massa volumétrica (Kg/m ³)	Espessura (mm)	
Aglomerado composto de cortiça	400	6	16
	490	12	15
	750	3	11
Tapete	Estufada com base de látex		33
	Estufada com base de borracha		35
	Flocada sobre juta		23
Feltro	Polipropileno fibrado		21

Quadro 1 – Redução na transmissão de ruídos de impacto por uso de revestimentos (Tadeu, 2000, apud Souza et al., 2003, p. 100).

Solução construtiva	Melhoramento de isolamento em dB(A)
Em pavimentos:	
• Plástico (PVC, amianto, vinílico)	6
• Flutuante de concreto sobre feltro	7
• Plástico sobre cortiça	8
• Plástico sobre feltro	10
• Parquet de cortiça plástico sobre espuma	11
• Flutuante de concreto sobre fibra mineral	15
• Flutuante de concreto sobre placas de poliestireno expandido	18
• Tapete	16
• Flutuante de parquet	18
• Tapete sobre feltro	20
• Tapete sobre espuma	22
Em tetos:	
• Forro falso	10

Quadro 2 – Melhoria na transmissão de ruídos de impacto com revestimentos flexíveis e pavimentos flutuantes (Tadeu, 2000, apud Souza et al., 2003, p. 101).

De Marco (1990) destaca que a sonoridade que os impactos ocasionam no local contíguo depende da construção do piso e, especialmente, de sua superfície. O autor também salienta que a melhor forma de inibir o ruído de impacto é agir diretamente na superfície do piso utilizando materiais que possam absorver o impacto como, por exemplo, tapetes, placas de borracha ou cortiça.

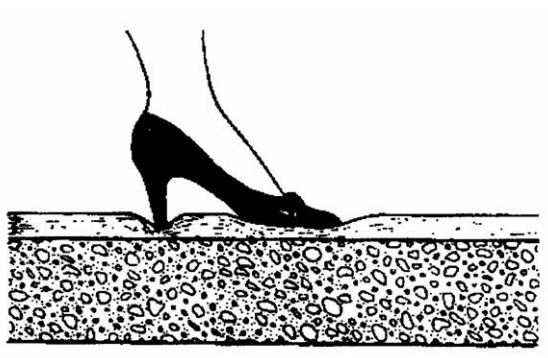


Figura 7 – Revestimento de piso com material elástico (Meisser, 1973, p.192)

Após a geração do ruído de impacto em uma estrutura uniforme, a vibração propaga-se com alguma perda através dessa, variando conforme a amplitude inicial da vibração, da massa da estrutura e da sua capacidade de amortecimento interior, ou seja, estruturas maciças e amortecedoras são menos suscetíveis a excitações significativas do que estruturas mais leves e menos amortecedoras.

Pujolle (1978) ainda destaca a classificação do *Centre Scientifique et Technique du Batiment (CSTB)* para revestimentos de pisos, a qual indica como o revestimento é apropriado ao uso, considerando-se a estanqueidade, durabilidade e resistência a agentes mecânicos e químicos.

Cada tipologia de revestimento recebe uma classificação com as letras **U**, **P**, **E** e **C**, acompanhados dos índices 0, 1, 2, 3 ou 4.

A letra **U** classifica o piso quanto ao tráfego:

- U_1 para local com tráfego moderado;
- U_2 para tráfego normal em local privado;
- U_3 tráfego normal em local coletivo;
- U_4 para local com tráfego intenso.

A letra **P** classifica o piso quanto ao afundamento provocado pelo mobiliário, fixo e móvel, queda de objetos, ação de saltos finos e solas de sapatos rígidos:

- P₁ designa revestimento que pode ser colocado em local onde não é previsto mobiliário fixo normal, sem precauções particulares;
- P₂ designa revestimento que pode ser colocado em local onde é previsto mobiliário fixo normal, sem precauções particulares;
- P₃ designa revestimento que pode ser colocado em local onde utiliza-se mobiliário que se movimenta com rodas, mesmo com uso intenso.

A letra **E** classifica a apropriação do local e seu revestimento quanto à umidade:

- E₀ para ser utilizado em local seco e com limpeza por via seca;
- E₁ para ser utilizado em local seco onde admite-se manutenção por via úmida;
- E₂ para ser utilizado em local úmido onde admite-se manutenção e limpeza por via úmida;
- E₃ local constantemente úmido.

A letra **C** classifica o local quanto à resistência a agentes químicos:

- C₀ designa revestimento de locais onde não se manipulam agentes químicos, salvo excepcionalmente os produtos normalmente empregados no uso doméstico, como produtos alimentares, de limpeza e medicamentos;
- C₁ designa revestimento de locais que podem ser manchados por produtos alimentares, de limpeza e farmacêuticos, podendo ser removidos por meios apropriados;
- C₂ usado para os revestimentos insensíveis a manchas e que podem ser removidas com água;

Conrad (2002) testou o desempenho de diversos tipos de revestimentos para pisos, traçando um comparativo entre os mesmos. A autora concluiu que quanto mais espesso for o carpete, melhor é o seu desempenho e destaca, ainda, que a

utilização da base para carpetes, combinada aos mesmos, melhora o isolamento independente da espessura que possuem.

O Quadro 4, a seguir, apresenta um resumo geral da melhora que se obtém com o uso dos revestimentos de pisos ensaiados em relação ao isolamento oferecido por uma laje de concreto armado com 12 cm de espessura:

<i>Revestimentos de piso</i>	$\Delta L - dB (A)$
Borracha	2,5 a 13,9
Sintéticos	1,3 a 3,0
Carpetes	7,6 a 27,7
Carpetes com base isolante	33 a 39,1
Lam. de madeira c/ piso flutuante	11,0
Lam. de madeira + p. flut. + tapetes	22,4 a 30,2

Quadro 3 – Desempenho dos materiais ensaiados (Conrad, 2002, p. 93).

2.2..2. Isolamento através de pisos flutuantes

Outra forma de isolamento é a utilização de lajes flutuantes, também denominadas pisos flutuantes. Trata-se de uma laje estruturalmente apoiada na edificação com o contrapiso apoiado sobre um material elástico, sem contato direto com nenhuma parte da estrutura. Trata-se de duas superfícies construídas uma sobre a outra, porém com material resiliente aplicado entre elas para amortecer a onda sonora. Na aplicação desse sistema deve-se observar que o contato entre as superfícies seja feito estritamente através do material resiliente, pois qualquer ponto rígido de contato pode ocasionar pontes acústicas.

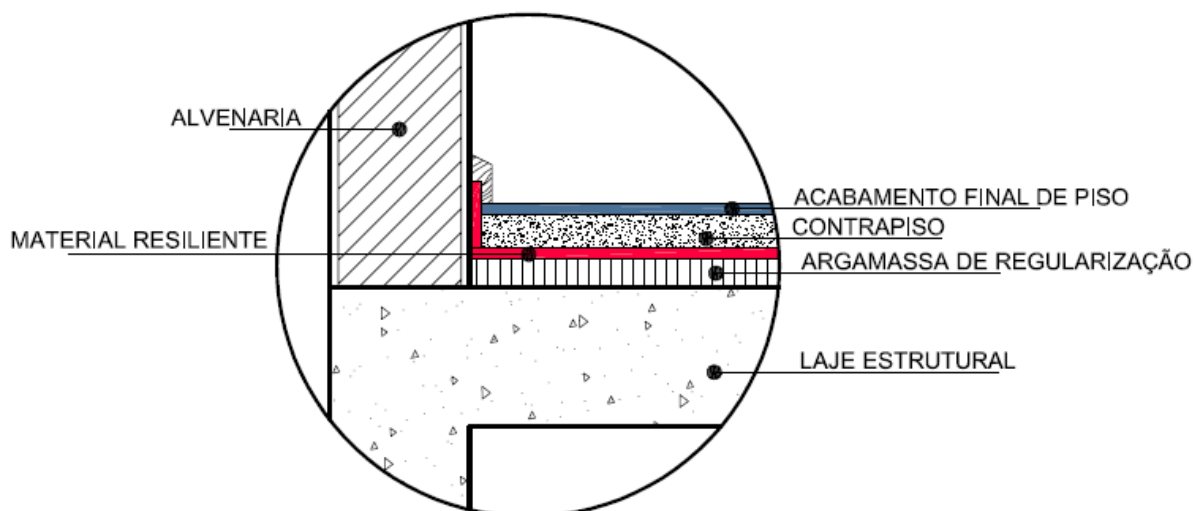


Figura 8 – Esquema de piso flutuante (desenho do autor).

Uma laje flutuante de concreto deve ter pelo menos 40 mm de espessura e apoiar-se sobre uma capa de material flexível, que inclusive contornará os bordos da laje, a fim de preservar o isolamento do sistema estrutural. Uma boa mistura para o concreto é 1:2:4, cimento, areia, brita, sendo esta de não mais de 1 cm de tamanho. As lajes flutuantes de concreto não podem ser utilizadas em locais de mais de 15m², ou de comprimento de mais de 5m, devido às possíveis deformações na secagem do material (Acústica – LABCON – UFSC, acesso em 11/2006).

Akkerman (1996) demonstrou, através de ensaios realizados pelo IPT/SP (Instituto de Pesquisas Tecnológicas), o sistema de piso flutuante, utilizando como material resiliente placas de lâ-de-vidro.

Os ensaios foram realizados *in situ*, tendo como base uma laje de concreto armado de 120 mm de espessura, sobre a qual foi assentado o material resiliente em diferentes densidades. Nos ensaios foram medidos os desempenhos de dois tipos de pisos, sobre o material resiliente:

- piso acabado em madeira ipê;
- piso acabado em argamassa de cimento e areia;

A Figura 9, a seguir demonstra os resultados dos ensaios.

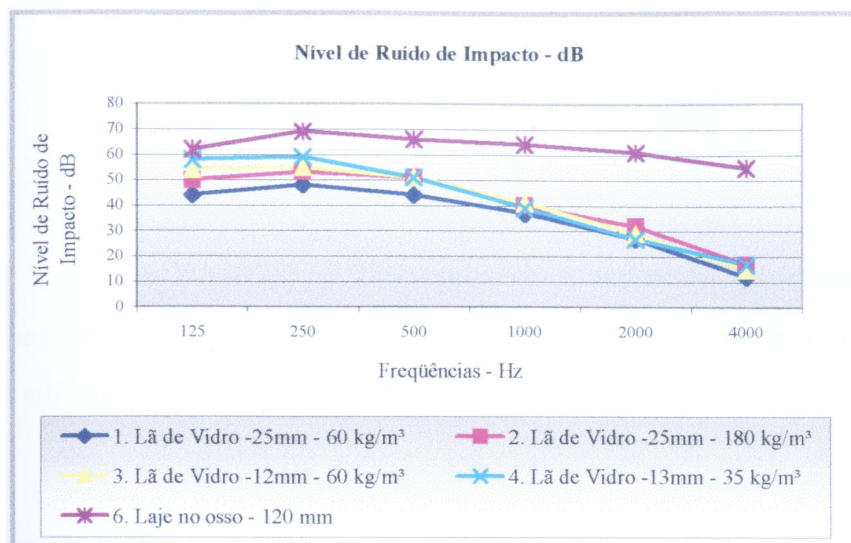


Figura 9 – Ensaio realizado pelo IPT/SP (Akkerman, 1996).

Brondani (1999) testou diversos materiais resilientes normalmente utilizados como “recheios” para pisos flutuantes e também outros materiais considerados alternativos, com o objetivo de traçar um comparativo entre seus desempenhos e também descobrir novos materiais com potencial de uso para o isolamento ao ruído de impacto, são eles:

- Espuma de Polietileno Extrudada com células fechadas – espuma industrial (Ethafom);
- Lã de vidro;
- Lençol Mercur de Borracha Pulsômetro;
- poliéster Bidim OP 60;
- EVA: Poli – (Etileno-co-vinil acetato)
- Poliestireno Expandido – Styropor (BASF).

Os materiais acima relacionados foram testados individualmente como recheios de dois tipos de pisos, alternadamente, cerâmico e assoalho de madeira. A laje suporte (entrepiso) foi executada em concreto armado e regularizada, com 15 cm de espessura.

Brondani (1999) concluiu que os resultados das performances apresentadas dependem do coeficiente de resiliência de cada material. Sobressaindo-se a lã de vidro com o melhor resultado obtido, conforme apresentado na Figura 10. O poliestireno, mesmo tendo pouca espessura, comparado aos demais materiais

ensaiados, apresentou resultados satisfatórios quanto ao seu desempenho. Dentre os materiais alternativos ensaiados, o EVA (Etileno-co-vinil Acetato), que é resíduo da indústria calçadista e considerado “lixo industrial”, apresentou resultados muito encorajadores como isolador a ruídos de impacto, podendo ser definido como “proposta ecológica”.

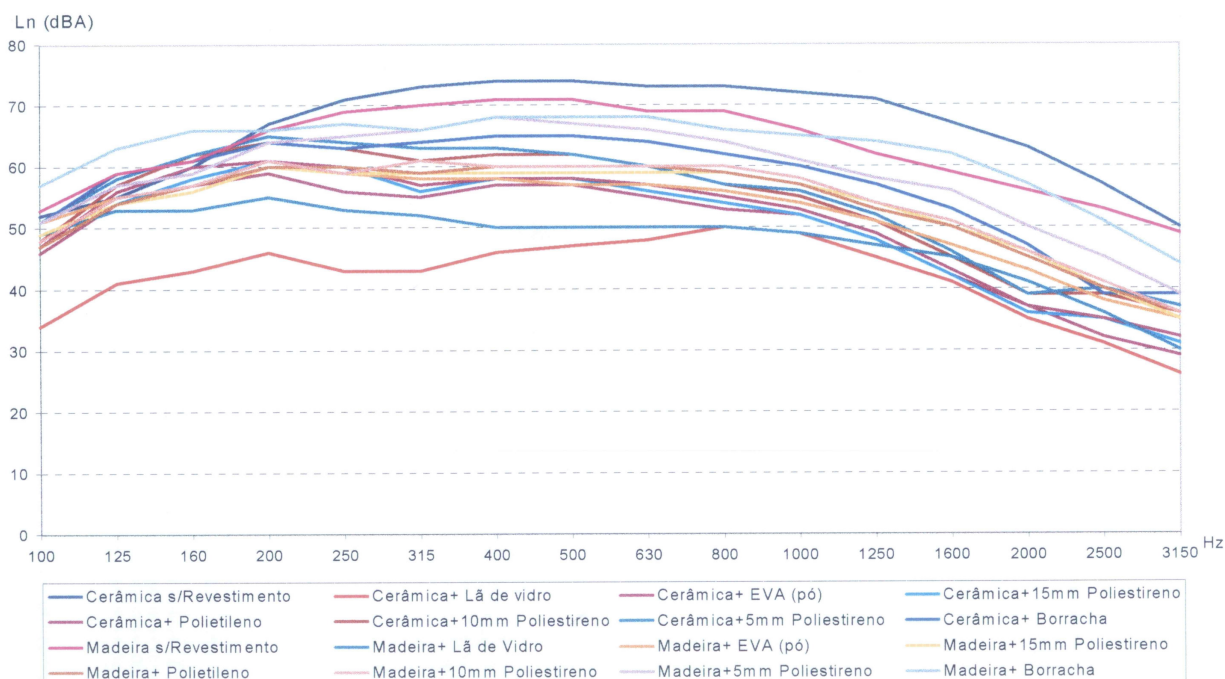


Figura 10 – Ensaios realizados por Brondani (Brondani, 1999, p.51).

Também sobre o desempenho de materiais alternativos a serem empregados como materiais resilientes para pisos flutuantes, Hax (2002) realizou uma série de ensaios a fim de traçar um comparativo entre os desempenhos e definir seu potencial para o isolamento ao ruído de impacto.

Os ensaios foram realizados nas câmaras de impacto do Laboratório de Termo-Acústica (La.T.A.) da Universidade Federal de Santa Maria, com amostras de 1 m² cada. As amostras foram ensaiadas com o piso acabado do tipo assoalho de madeira e do tipo placa cerâmica, tendo como base uma laje de concreto armado com 12 cm de espessura sobre a qual foram assentados materiais resilientes com diversas composições; EVA inteiro e granulado, em diferentes espessuras, associados à composição de cimento e areia, Resina Fenólica e Resina Sintética.

Foram ensaiados também, para efeito comparativo, ambos os acabamentos de piso, em madeira e cerâmico, sobre lâ-de-vidro com espessura de 25 mm e densidade de 100 Kg/m³ e sem qualquer material resiliente.

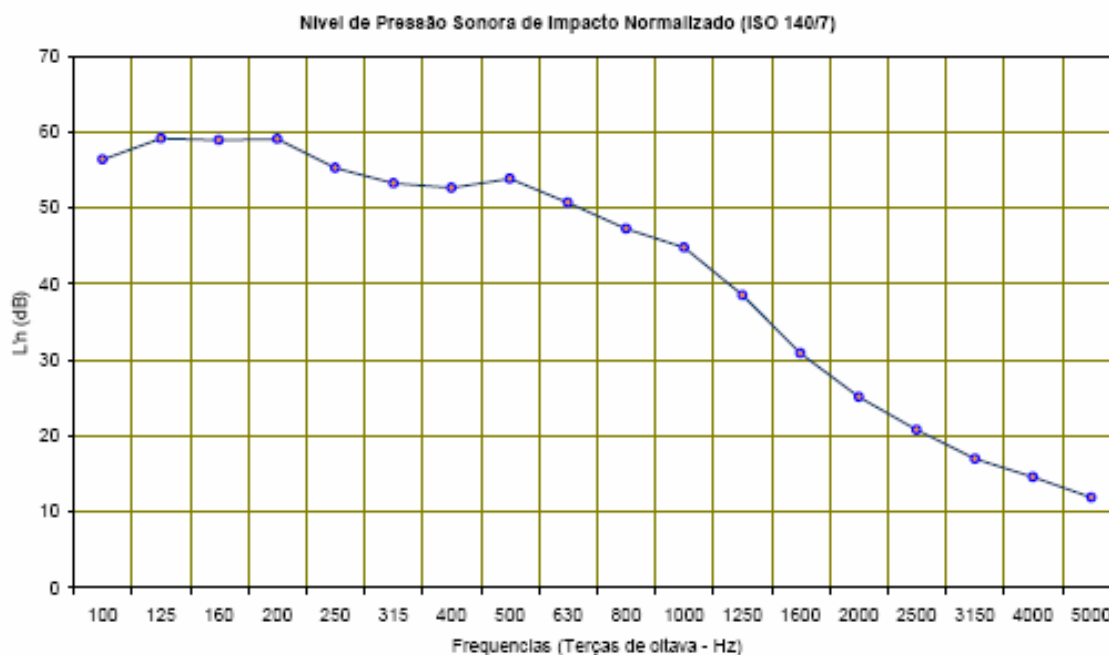
Após os ensaios e análise dos dados, chegou-se a conclusão de que quanto maior o teor de EVA nas formulações, melhor é o comportamento da amostra e que quanto maior a espessura do material resiliente, mais eficaz é o desempenho. Hax (2002) também concluiu que para os piso de madeira, as amostras com EVA apresentaram isolamento superior à lâ-de-vidro.

Ferraz (2007) publicou em *Análise de atenuação de ruído de impacto em piso de edificações* um estudo de caso no qual avalia um sistema de piso flutuante, constituído por um piso de tábua corrida com espessura de 2,5 cm, contrapiso de regularização de 4 cm, manta de polietileno de 1 cm, instalado sobre um laje nervurada de concreto com $F_{ck} = 20\text{MPa}$. Abaixo deste piso foi instalado, na sala receptora, um forro suspenso em gesso com espessura de 1,25 cm afastado 25 cm da laje e sobre este foi colocado uma camada de 5 cm de lâ de vidro. Os ensaios foram realizados em um dormitório com área de 15,76 m², volume de 42,55 m³ e pé-direito de 2,70 m.

A pesquisadora avaliou o desempenho do sistema e apresentou o resultado do nível de pressão sonora de impacto normalizado ponderado (L'_{nw}) utilizando como referência os valores recomendados pelo FHA do *Housing and Urban Development* (HUD).

Estes critérios foram estabelecidos em 1967 pelo FHA e, desde então, vêm se constatando que as edificações e sistemas construtivos que estão em conformidade com os mesmos possuem boas condições de isolamento sonoro entre unidades habitacionais e, em geral, satisfazem às exigências da maioria dos seus ocupantes (FERRAZ, 2007, p. 725).

Ferraz (2007) pode concluir que o nível de pressão sonora de impacto normalizado ponderado, L'_{nw} , e a Classe de Isolamento de Impacto, CII, foram 51 e 59 respectivamente, conforme apresentado na Figura 11.



f	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1k	1,25k	1,6k	2k	2,5k	3,15k	4k	5k
L'n	56	59	59	59	55	53	53	54	51	47	45	39	31	25	21	19	16	13

$$L'_{nw} = 51$$

$$CII = 59$$

Figura 11 – Ensaio realizado por Ferraz (FERRAZ, 2007, p. 725).

Recentemente Pedroso (2007) ensaiou novas composições de pisos flutuantes, acrescentando ao rol de ensaios realizados elementos mais modernos disponíveis no mercado e outros já testados, contudo com nova apresentação. Os sistemas ensaiados de pisos flutuantes foram montados utilizando porcelanato e laminado melamínico de madeira como revestimentos finais.

Os materiais resilientes ensaiados como recheio foram:

- a. Placas de lã-de-vidro, revestidas de material plástico impermeável, com o nome-fantasia Optima Piso, com dimensões de 1,0mx1,0m, espessura de 15,0mm e densidade de 60 kg/m³;
- b. Manta de borracha reciclada (EVA), acelerada com cola- Rubberflex, em rolos de 10,0mx1,0m, com o nome comercial de Rubberflex, com espessura de 8,0mm e densidade de 130,0 kg/m³;

- c. Manta de borracha reciclada, acelerada com cola- Densiflex, em rolos de 10,0mx1,0m, com o nome comercial de densiflex, espessura de 4,0mm e densidade de 260,0 kg/m³;
- d. Poliestireno expandido em placas com dimensões variáveis, nome comercial de Isopor, espessura de 25 mm e densidade de 27,5 kg/m³;
- e. Poliestireno expandido em placas com dimensões de 0,50mx0,50m, nome comercial de Isofoan, espessura de 25mm e densidade de 32,5 kg/m³;
- f. Manta de espuma polietileno laminadas com dimensões de 1,30m x 60,00m, cores variadas, com o nome comercial de Stratocell, espessura de 5,0 mm e densidade: 27,0 kg/m³.

Conforme Pedroso (2007) pôde concluir, o revestimento de porcelanato teve desempenho negativo apenas para freqüências abaixo dos 115 Hz, apresentando desempenho positivo em todo o restante do espectro de freqüência com a melhoria total de isolamento representada por um $\Delta L'_{n,w}$ de 5 dB em relação à laje sem revestimento, significando 1 dB para cada centímetro de aumento da espessura. O revestimento de laminado melamínico de madeira demonstrou desempenho negativo para freqüências abaixo de 315Hz, apresentando desempenho positivo em todo o restante do espectro de freqüência com a melhoria total de isolamento representada por um $\Delta L'_{n,w}$ de 3 dB. Dessa maneira, o autor demonstra que o desempenho do laminado de madeira para as freqüências acima de 315 Hz é mais eficaz do que o porcelanato.

Pedroso (2007) conclui que, dentre os materiais ensaiados no sistema de piso flutuante com o revestimento de porcelanato, os melhores desempenhos foram para a lâ-de-vidro em todas as freqüências, com $L'_{n,w}=50$ dB e $\Delta L'_{n,w}=23$ dB, seguido do rubberflex e isopor, com $L'_{n,w}=62$ dB e $\Delta L'_{n,w}=11$ dB, isofoan, com $L'_{n,w}=64$ dB e $\Delta L'_{n,w}=9$ dB e, por último, densiflex e stratocell, com $L'_{n,w}=65$ dB e $\Delta L'_{n,w}=9$ dB, conforme apresentado na Figura 12.

Para os materiais ensaiados no sistema de piso flutuante com o revestimento laminado melamínico de madeira, os melhores desempenhos foram para a lâ-de-vidro em todas as freqüências, com $L'_{n,w}=56$ dB e $\Delta L'_{n,w}=19$ dB, seguido do isopor, com $L'_{n,w}=63$ dB e $\Delta L'_{n,w}=12$ dB, isofoan, com $L'_{n,w}=64$ dB e $\Delta L'_{n,w}=11$ dB e, por

último, rubberflex, densiflex e stratocell, com $L'_{n,w}=67$ dB e $\Delta L'_{n,w}=8$ dB, conforme apresentado na Figura 13.

Considerando os valores anteriores, Pedroso (2007) pode concluir que, para todos os elementos testados e independente do revestimento ensaiado, a lâ-de-vidro foi a que apresentou o melhor desempenho e todos os demais materiais tiveram desempenhos semelhantes.

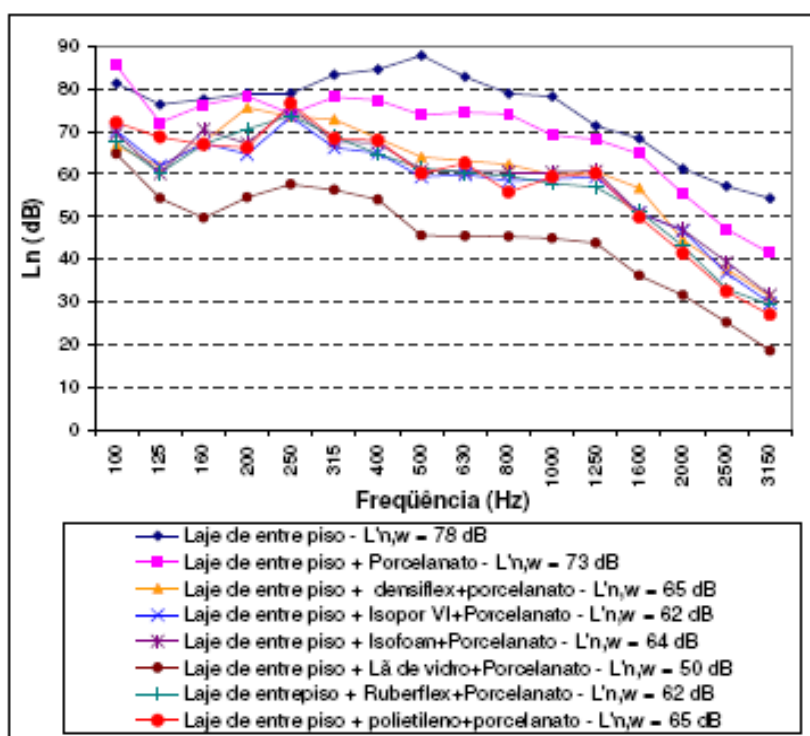


Figura 12 – Resultados dos ensaios realizados com revestimento final de piso em porcelanato (PEDROSO, 2007, p. 77).

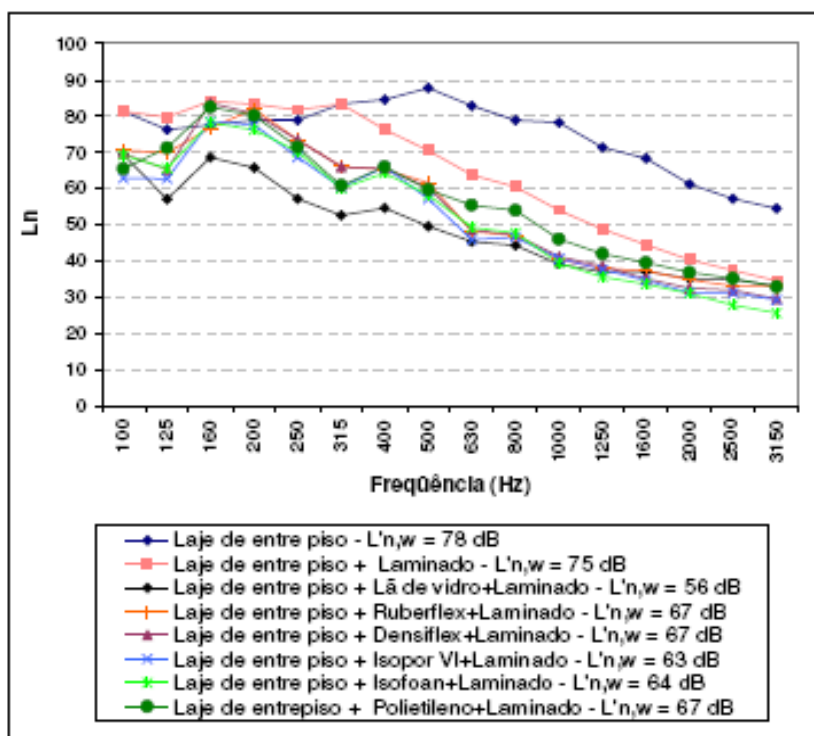


Figura 13 – Resultados dos ensaios realizados com revestimento final de piso laminado de madeira (PEDROSO, 2007, p. 87).

2.2..3. Isolamento através de forros falsos

O forro suspenso pode aumentar consideravelmente o isolamento de um piso a respeito dos ruídos aéreos, porém, geralmente, não acrescenta isolamento aos ruídos de impacto. Todavia, deverá cumprir certas condições: pesar mais de 25kg/m², não ser exageradamente rígido, ser totalmente hermético com respeito ao ar e os elementos de suspensão devem ser tão poucos e flexíveis quanto possível (Acústica – LABCON – UFSC, acesso em 11/2006).

Conforme descreve Méndez et al. (1994), tal solução não é tão efetiva como as anteriores e deve-se aplicar unicamente quando não se pode atuar sobre a sala geradora. Ainda segundo o autor, o sistema de forro falso consiste na colocação de um novo forro de material poroso e com boa quantidade de massa (Lei da Massa) para obter-se um melhor desempenho no isolamento do ruído aéreo.

Na execução de forros falsos, deve-se deixar uma camada de ar entre o forro e a estrutura, podendo ser usado uma camada de material absorvente como, por exemplo, lã de vidro.

A Figura 14 apresenta a forma da propagação do ruído de impacto em uma estrutura rígida com e sem o forro falso suspenso. Esta solução não é muito eficiente, pois não é possível evitar as pontes acústicas geradas pelas ligações físicas da estrutura.

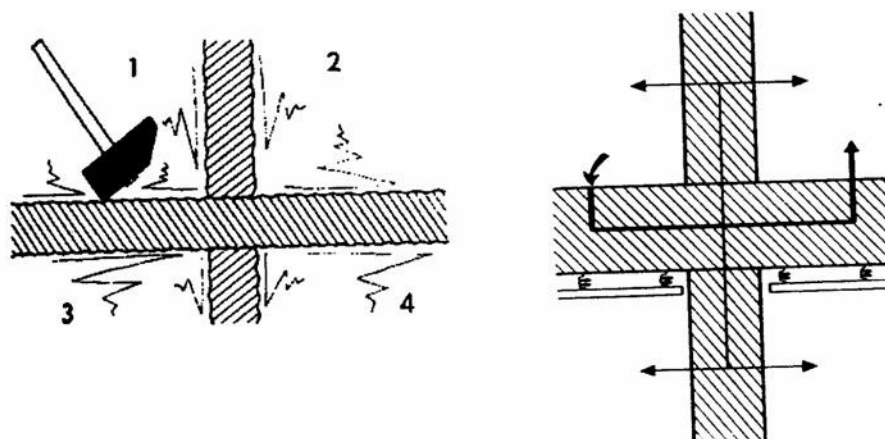


Figura 14 – Manifestações e pontes acústicas (Meisser, 1973, p. 193, 194)

Recentemente Medeiros (2003) ensaiou diversas composições de forro de gesso acartonado, que variam desde forros simples com uma única camada de gesso acartonado até forros múltiplos, com duas e três camadas de gesso acartonado, com e sem adição de manta absorvente (lã de rocha), em diferentes afastamentos entre a laje e o forro de gesso. Sobre a laje de forro foram testados dois tipos de revestimento de piso, placas cerâmicas e piso flutuante de madeira laminada.

O autor pôde constatar em seus ensaios que, para os sistemas de forros falsos, quanto maior a camada de ar entre a laje de teto e o forro simples ou sistema conjugado de forros múltiplos, com a adição de material absorvente, maior o desempenho no isolamento de ruído de impacto. Medeiros (2003) concluiu que para os sistemas simples de forro de gesso acartonado há um ganho médio de 3,0 dB para a redução do ruído de impacto e com adição de material absorvente pode-se chegar a 5,0 dB. Para o sistema com forros múltiplos de gesso acartonado pode-se chegar a um desempenho positivo de 2,0 dB, podendo atingir 6,0 dB quando associados aos materiais absorventes.

De outro modo, Méndez et al. (1994) conclui que embora o sistema de forro falso, para obter-se isolamento ao ruído de impacto, não seja tão eficiente quanto o tratamento do piso no próprio ambiente gerador do ruído, a utilização desta técnica ainda é a única alternativa que dispomos quando não se pode realizar nenhum tipo de tratamento na sala geradora do ruído.

4.4 Legislação relacionada ao conforto do usuário

No Brasil foi publicada pela ABNT em maio de 2008, para começar a ser implantada a partir de 2010 a NBR 15575 *Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho*, que estabelece requisitos e critérios de desempenho a serem aplicados a edifícios habitacionais de até cinco pavimentos, a parte referente ao ruído de impacto é a *NBR 15575-3 Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - Desempenho - Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos internos*.

Como instrumento que visa considerar as diferentes possibilidades de agregação de qualidade aos sistemas, elementos e componentes, para além dos desempenhos mínimos estabelecidos, tal norma fixa níveis classificatórios, a fim de que sirvam de parâmetro para as construções, são os níveis “M” (mínimo), “I” (intermediário) e “S” (superior).

Conforme recomenda, o piso da habitação deve proporcionar isolamento acústico adequado entre unidades distintas contíguas, bem como entre dependências de uma mesma unidade, quando destinada ao repouso, ao lazer e ao trabalho intelectual.

A norma estabelece também os métodos recomendados para os ensaios de campo para obtenção do isolamento acústico, referenciando as normas ISO 140-7 e ISO/DIS 10052 e a norma ISO 717-2 para a obtenção do nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado ($L'_{nT,w}$) que determina os níveis de desempenho dos sistemas.

A Tabela 1, a seguir, traça os níveis de desempenho para o ruído de impacto em lajes de entrepiso. Os valores são demonstrados em $L'_{nT,w}$, e apresentam três situações para as lajes de entrepiso.

Tabela 1 – Critérios de Nível de Pressão Sonora de Impacto Padronizado Ponderado, $L'_{nt,w}$ para ensaios de campo

Elemento	$L'_{nt,w}$ [dB]	Nível de Desempenho
Laje, ou outro elemento portante, com ou sem contrapiso, sem tratamento acústico	66 a 80	M
Laje, ou outro elemento portante, com ou sem contrapiso, com tratamento acústico	56 a 65	I
Laje, ou outro elemento portante, com ou sem contrapiso, com tratamento acústico especial	≤ 55	S

Fonte: Adaptado da Tabela 5 da Norma NBR 15575-3 (2008) Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - Desempenho - Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos internos.

O valor mínimo exigido corresponde a valores representativos de ensaios realizados em edifícios habitacionais brasileiros, em lajes maciças de concreto armado, sem acabamento superficial, com espessura entre 10cm e 12cm. Considera-se que o valor, apesar de não ser o ideal, representa a prática construtiva adequada à realidade atual do país. Na prática, esperasse que os valores de $L'_{nt,w}$ (dB) sejam menores pela colocação de acabamentos como carpetes, tacos ou assoalhos de madeira, etc.” (ABNT - Desempenho - Parte 3, 2005, p.10).

Critério de isolamento sonoro recomendada nos EUA,

Classe I - É aplicável (principalmente) em áreas residenciais periféricas e suburbanas, as quais são consideradas "silenciosas", onde os níveis de ruídos externos nunca ultrapassaram de 35 a 40 dB(A). O ruído ambiental permissível recomendado é caracterizado pelo critério de ruído NC 20-25. Este critério é aplicável em certos casos especiais como residências com menos de 8 andares ou nas residências de luxo.

Classe II - É a mais importante categoria e é aplicável principalmente em residências urbanas e áreas urbanas consideradas como tendo um ruído ambiental "médio". O nível do ruído noturno não maior que 40 a 45 dB(A) é o ruído interno ambiental permissível não podendo exceder as características de NC 25 - 30.

Classe III - Esta categoria é considerada como de recomendação mínima e é aplicada em algumas áreas urbanas que geralmente são consideradas como locais "ruidosos" e o ruído ambiental externo está em torno de 55 dB(A) ou mais (Berehd, R.D.; Winzer, G.E. and Burroughs, C.B. **Airbone, Impact and Structure Borne Noise Control in Multifamily Dwellings** - V.S. Dep¹⁰ of Housing and Urban Development, Washington, D.C. (apud relacus, disponível em: <http://geocites.com/relacus>).

Função partição entre unidades construídas		Classe I		Classe II		Classe III	
Apto. A p/	Apto. B	CTSA	CTSI	CTSA	CTSI	CTSA	CTSI
quarto p/	quarto	55	55	52	52	48	48
Sala de estar p/	quarto	57	60	54	57	50	53
Cozinha p/	quarto	58	65	55	62	52	58
Sala de jantar p/	quarto	60	65	56	62	52	58
Corredor p/	quarto	55	65	52	62	48	58
Quarto p/	Sala de estar	57	55	54	52	50	48
Sala de estar p/	Sala de estar	55	55	52	52	48	48
Cozinha p/	Sala de estar	55	60	52	57	48	53
Sala de jantar p/	Sala de estar	58	62	54	60	52	56
corredor p/	Sala de estar	55	60	52	57	48	53
quarto p/	Cozinha	58	52	55	50	52	46
Sala de estar p/	Cozinha	55	55	52	52	48	48
Cozinha p/	Cozinha	52	55	50	52	46	48
toalete	Cozinha	55	55	52	52	48	48
Sala de jantar p/	Cozinha	55	60	52	58	48	54
Corredor p/	Cozinha	50	55	48	52	46	48
quarto p/	Sala de jantar	60	50	56	48	52	46
Sala de estar p/	Sala de jantar	58	52	54	50	52	48
Cozinha p/	Sala de jantar	55	55	52	52	48	50
Toalete p/	Toalete	57	52	50	50	48	48
Corredor p/		50	50	48	48	46	46

CTSA - Classe de transmissão sonora aérea
CTSI - Classe de transmissão sonora de impacto

Quadro 4 - Critérios para isolamento sonoro aéreo e de impacto piso-teto entre unidades construídas.

4.4 Lajes

O processo construtivo vem sofrendo constante desenvolvimento com o passar do tempo. Com esta evolução destacam-se as tecnologias empregadas para a confecção das lajes, principalmente quando analisadas sob os aspectos de racionalização e melhoria no seu desempenho.

Silva Filho (2002, p. 2) afirma que “com o aprimoramento das lajes maciças surgiram as lajes nervuradas, mais baratas que as lajes maciças, porém ainda com custo elevado”. O autor destaca ainda que a partir do desenvolvimento das lajes nervuradas surgiram as lajes pré-moldadas com vigotas de concreto armado, que apresentam um custo inferior, entretanto apresentam problemas de desempenho para uso em grandes vãos. Com a finalidade de vencer os problemas de desempenho das lajes pré-moldadas convencionais, surgem no mercado as lajes treliçadas que, além de terem custo reduzido, apresentam maior capacidade de carga.

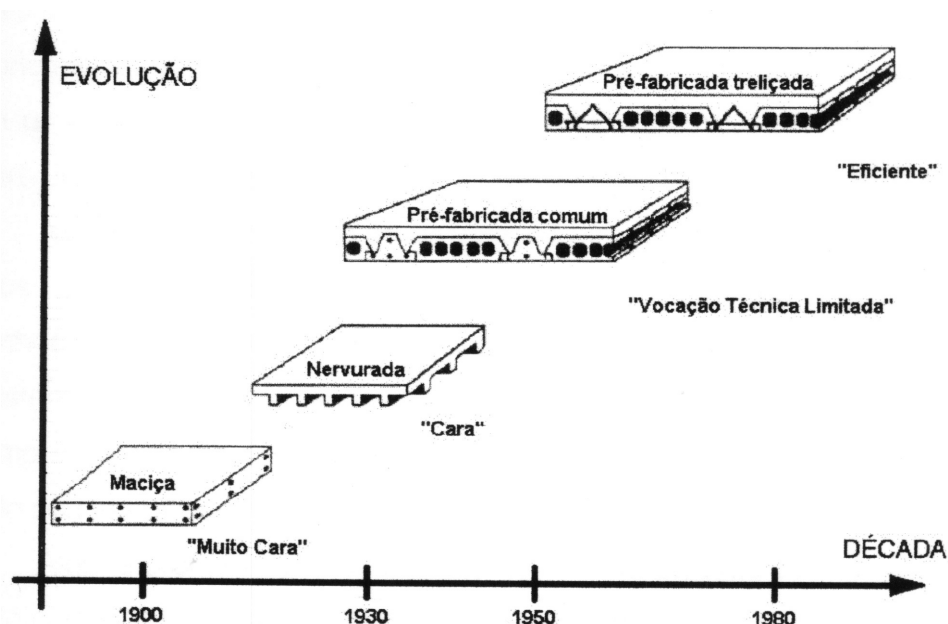


Figura 15 – Evolução dos sistemas construtivos para lajes (Silva Filho, 2002)

2.2.1 Tipologias de lajes

Dutra (2005, p. 6) conceitua as lajes em concreto da seguinte forma: “lajes são placas de concreto, elementos de superfície plana que estão sujeitos a ações em seu plano”.

Dutra (2005) também classifica as lajes de concreto armado quanto à forma, quanto ao tipo de apoio, quanto ao tipo de armação e quanto à natureza.

- Quanto à forma, as lajes podem ser apresentadas nas mais variadas geometrias, podendo ser poligonais (retangulares, quadradas, triangulares, em T, em L, em Z, etc.) ou elípticas (circulares e anelares).
- Quanto à natureza, ou seja, conforme o sistema construtivo a ser adotado, elas podem ser: lajes maciças, nervuradas, mistas, em grelha, duplas, cogumelo, pré-moldadas, etc.
- Quanto ao tipo de apoio a ser utilizado, as lajes podem ter apoio contínuo sobre uma linha (alvenaria, viga ou parede de concreto), apoio discreto (direto sobre pilares) e apoio proporcionado por determinado trecho de sua área, que esteja em contato com o solo (também denominado *radiers*).
- Quanto ao tipo de armação a ser adotado, as lajes podem ser armadas em cruz (em duas direções) e armadas em uma única direção.

2.2..1. Lajes pré-moldadas

Conforme define Silva Filho (2002, p. 12), “as lajes pré-moldadas são estruturas compostas por vigotas, blocos vazados (elementos de enchimento ou tabelas), malha de distribuição e capa de concreto moldada *in loco*”. Tais lajes podem ser classificadas conforme o tipo de vigota adotado, podendo ser divididas em três tipos: laje pré-moldada convencional, laje pré-moldada treliçada e laje pré-moldada protendida.

2.2..2. Lajes pré-moldadas convencionais

As lajes pré-moldadas convencionais são compostas por vigotas pré-fabricadas de concreto, elementos de enchimento (tabelas), capeamento de concreto moldado *in loco* e armadura de distribuição. Também conhecidas como laje tipo T

invertido, laje tipo trilho, laje volterrana ou laje BETA-N, encontram-se ilustradas na Figura 16.

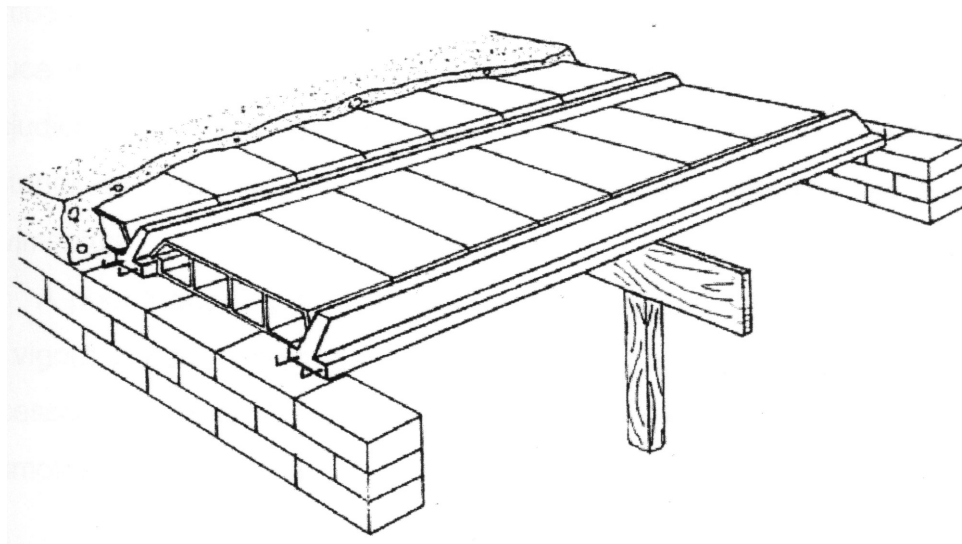


Figura 16 – Laje pré-moldada convencional (Silva Filho, 2002, p. 18).

As vigotas das lajes pré-moldadas convencionais são constituídas apenas da armadura longitudinal de aço CA-50 ou CA-60, envolvida totalmente por concreto com resistência superior a 18 MPa. Sua seção se assemelha a um T invertido conforme ilustrado na figura 17.

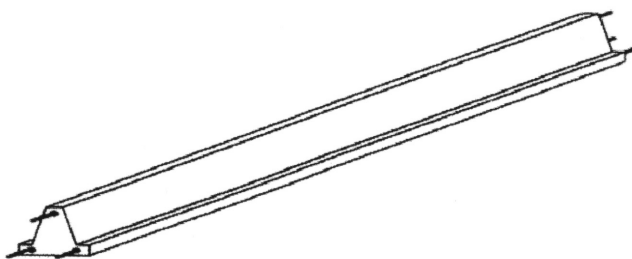


Figura 17 – Vigota tipo convencional (Silva Filho, 2002, p. 19).

Segundo Silva Filho (2002, p. 20) “As lajes pré-moldadas convencionais são classificadas em função da sua altura, a qual está diretamente ligada ao vão a ser vencido e ao nível de carregamento que esta será submetida”.

A Figura 18 apresenta as diversas variações que as lajes pré-fabricadas convencionais podem apresentar.

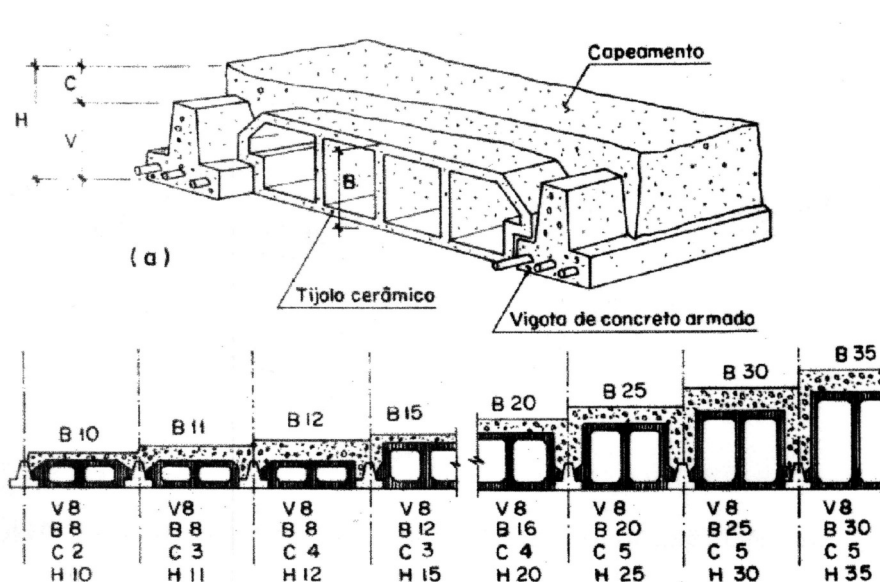


Figura 18 – Laje pré-moldada convencional (Silva Filho, 2002, p. 20).

2.2.3. Lajes pré-moldadas treliçadas

Este tipo de laje pré-moldada é constituída de semi-vigotas de concreto com armadura treliçada, elemento de enchimento e armadura de distribuição, ilustrado na Figura 19.

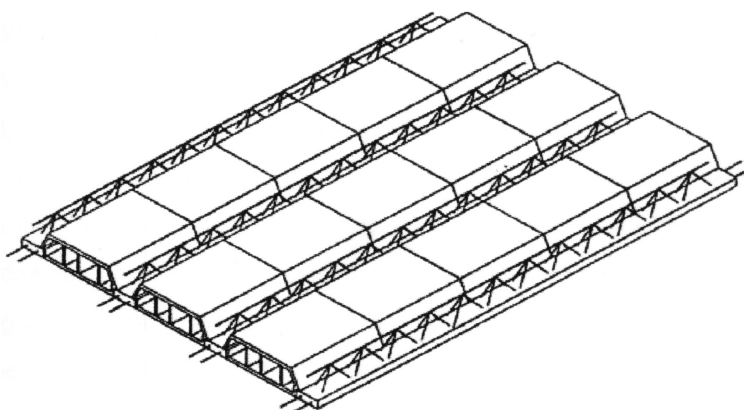


Figura 19 – Laje pré-moldada com vigotas treliçadas (Silva Filho, 2002, p. 21).

As vigotas são constituídas de uma pequena base retangular de concreto com armadura em forma de treliça espacial composta por fios de aço eletrosoldados fabricados em escala industrial. A base da vigota pode variar entre 120 a 150 mm, dependendo do tipo de treliça utilizado, conforme demonstrado na Figura 20.

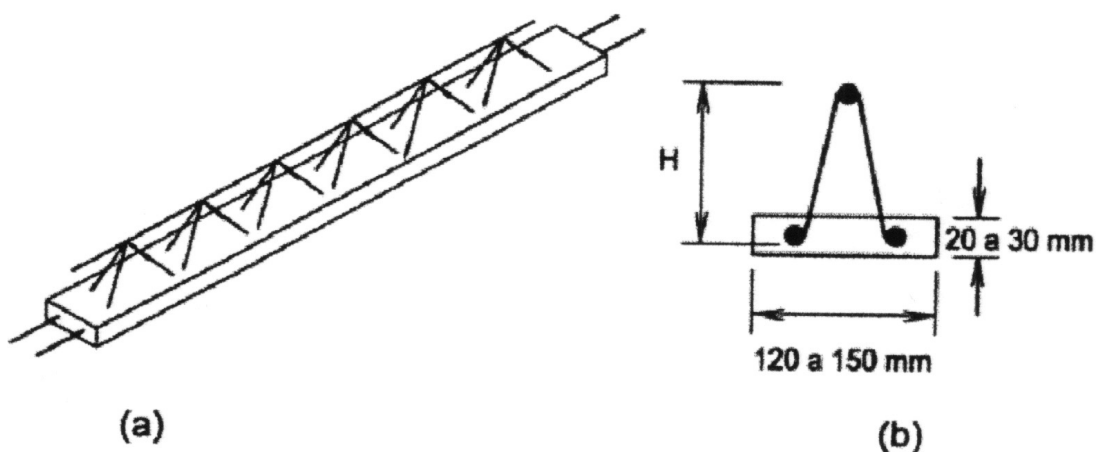


Figura 20 – Vigota treliçada (Silva Filho, 2002, p. 23).

2.2.4. Lajes pré-moldadas protendidas

As lajes pré-moldadas protendidas são compostas por vigotas com seção transversal de concreto semelhante a um T invertido, assim como as lajes pré-moldadas convencionais, em que a fabricação dá-se pelo processo de protensão com aderência inicial, na qual a armadura é tracionada antes do lançamento do concreto.

2.2.5. Elementos de enchimento

Para as diferentes tipologias de lajes descritas anteriormente, são empregados diversos tipos de enchimentos, também conhecidos como tabelas, que

podem ser vazados ou maciços e cuja finalidade é a de substituir uma parcela do concreto que se localiza na zona tracionada da laje pré-moldada. As tabelas não são consideradas como material estrutural, ou seja, não desempenham resistência estrutural, embora contribuam na transferência da carga do concreto lançado.

As tipologias conhecidas de enchimento para as lajes pré-moldadas são: enchimento cerâmico, concreto leve (concreto com poliestireno expandido incorporado) e elemento de enchimento de EPS.

2.2..6. Lajes maciças

Conforme descreve Dutra (2005, p. 10), as lajes maciças “são placas monolíticas de concreto armado ou protendido, concretadas sobre uma fôrma de madeira ou metálica que é removida após a cura do concreto”.

2.2..7. Lajes nervuradas

Segundo Dutra (2005) as lajes nervuradas são lajes compostas por nervuras na zona de tração e por uma mesa maciça de concreto na zona de compressão. As nervuras são espaçamentos semelhantes a alvéolos, obtidos durante a concretagem, utilizando-se como forma materiais inertes como blocos cerâmicos ou EPS.

A armadura da laje encontra-se nas nervuras e este tipo de laje mostra-se bastante eficaz para grandes vãos livres ou quando tem carregamentos especiais. Na Figura 21, percebe-se um corte transversal de uma laje nervurada de concreto com EPS.

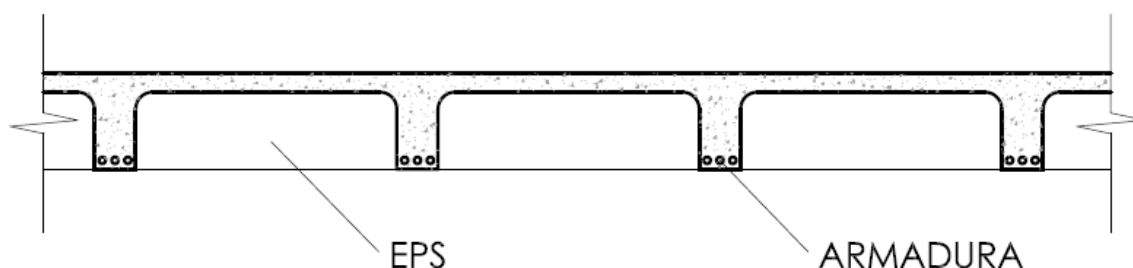


Figura 21 – Laje nervurada.

2.2.8. Lajes mistas

São lajes constituídas de elementos cerâmicos que participam com uma parcela na resistência à compressão, não sendo inertes. Outra característica é que o revestimento é assentado diretamente sobre as nervuras ortogonais e sobre a face superior dos blocos cerâmicos, não existindo a capa superior de concreto.

2.2.9. Lajes grelhas

São lajes similares às lajes nervuradas em que as nervuras são mais altas e afastadas entre si por mais de um metro. Tais lajes são utilizadas em construções que necessitam grandes vãos e sobrecargas elevadas, tais como prédios industriais.

2.2.10. Lajes duplas

Conforme descreve Dutra (2002, p. 12), “são lajes que apresentam duas capas de concreto, uma superior que trabalha a compressão e outra inferior. Entre as duas capas ficam as vigas ou nervuras de concreto que concentram as armaduras”.

3 METODOLOGIA

3.1 Considerações sobre a normalização

Para obtenção de um estudo comparativo entre as tipologias de lajes estudadas, foram realizados uma série de ensaios utilizando metodologia baseada na norma ISO 140/VII (1978) e ISO 354 (2003) e classificado em conformidade com as normas ISO 717-2 (1996).

3.1.1 *Processamento dos resultados conforme a norma ISO 140-7 (1978)* “Field measurements of impact sound insulation of floors”.

Esta norma determina os procedimentos para medições referentes ao isolamento ao ruído de impacto para edificações e seus elementos, medidos “*in situ*”, entre ambientes distintos e sobrepostos, a medição do Nível de Pressão Sonora de Impacto, ou Nível de Ruído de Impacto (L_i), é a média do nível de pressão sonora medido no ambiente receptor e gerada por uma fonte padrão. Os resultados obtidos podem ser utilizados para comparar os níveis de isolamento ao ruído de impacto dos elementos analisados.

- Nível de pressão sonora médio na sala (L):

$$L = 10 \log \frac{p_1^2 + p_2^2 + \dots + p_n^2}{np_0^2}. \text{ (dB)} \quad (1)$$

Onde:

p_1, p_2, \dots, p_n – são as pressões sonoras medidas em n diferentes posições no ambiente receptor;

$p_0 = 20 \mu\text{Pa}$ – pressão sonora de referência.

- Nível de pressão sonora de impacto padronizado (L'_{nT}):

Após a obtenção dos valores medidos na sala receptora, foram calculados os Níveis de pressão sonora de impacto padronizados (L'_{nT}), através da equação 2, os quais representam os níveis de pressão sonora de impacto (L_i) reduzidos da correção do tempo de reverberação para cada frequência.

A norma ISO 140 – 7 (1978) recomenda que se utilize o nível de pressão sonora de impacto padronizado (L'_{nT}) quando se deseja determinar os níveis de proteção proporcionados aos ocupantes da edificação.

$$L'_{nT} = L_i - 10 \log \frac{T}{T_0} \quad (\text{dB}) \quad (2)$$

Onde:

L_i – Nível de Pressão Sonoro de Impacto medido *in loco* (dB);

T – Tempo de Reverberação do compartimento (s);

T_0 – Tempo de Reverberação de referência, onde $T_0 = 0,5$ segundos, para habitações.

Todos os ensaios realizados foram, portanto, registrados em bandas de terços de oitavas, variando na faixa de frequência de 100 Hz até 3150 Hz.

Executou-se o levantamento das áreas de teste, como volume e forma de cada ambiente. Antes de cada ensaio de ruído de impacto foram realizadas as leituras dos dados ambientais, como a temperatura ambiente em graus Celsius e a umidade relativa do ar. Procedeu-se a calibragem do medidor de pressão sonora, feito em 94 dB na frequência de 1000 Hz.

A partir desse momento, efetuaram-se com as medições de ruído de fundo na sala receptora, tomadas em quatro diferentes posições, pelo período de 60 segundos, em que ficou constatado não haver a necessidade de correção para nenhuma frequência, uma vez que a diferença entre os níveis de pressão sonora de impacto (L_i) e os níveis de ruídos de fundo (**RF**) medidos na sala receptora foram superiores a 10 dB.

Utilizou-se uma máquina de impactos padronizada, constituída de cinco martelos de 500g cada um que caem em queda livre, seqüencialmente, até encontrar a superfície/base com uma freqüência de 10 golpes por segundo.

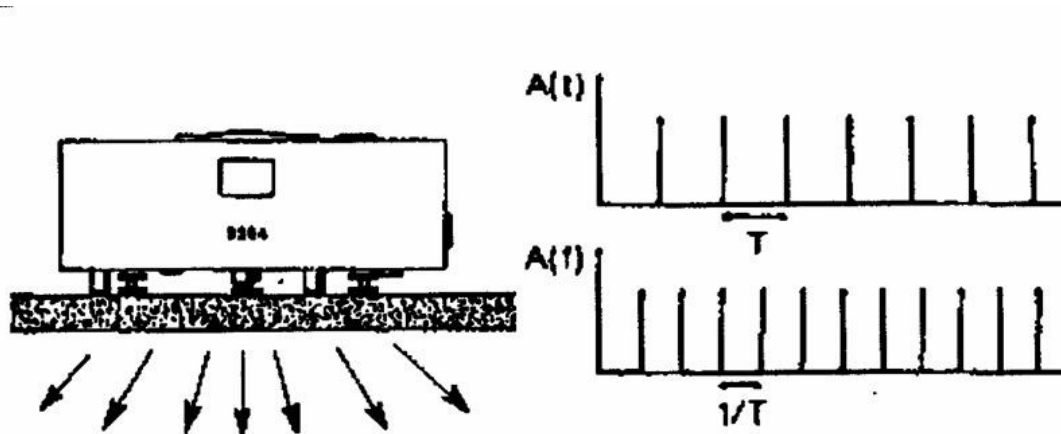


Figura 22 – Representação esquemática do sinal que a máquina gera, em condições ideais, no domínio do tempo e da freqüência (Méndez, *et al.*, 1995, p.131)

No pavimento imediatamente superior à sala receptora, denominado de sala emissora, posicionou-se a máquina geradora de ruído de impacto, em quatro diferentes posições, conforme mencionado anteriormente, dispostas em um ângulo de 45° em relação às paredes, sobre as lajes de piso a serem ensaiadas. Em seguida, foi ligada a máquina geradora de ruído de impacto e medido no pavimento inferior o ruído transmitido através das lajes, denominado de nível de pressão sonora (L_i), captado pelo medidor de nível sonoro de integração e registro de dados, tipo 1 (modelo Blue Solo 01) pelo tempo de 60 segundos, em quatro diferentes posicionamentos e afastadas no mínimo 0,5 m uma da outra. Todas as medidas foram realizadas com o medidor de nível sonoro (Blue Solo 01), segurados a uma altura do piso de aproximadamente 1,2 m, com distância mínima das paredes de 1,0 m.

3.1.2 *Processamento dos resultados conforme a norma ISO 354 (2003)* *“Measurement of sound absorption in a reverberation room”*

Para avaliar os níveis de pressão sonora de impacto padronizados, foram realizadas medições de absorção sonora de forma a quantificar a influência do ruído reverberante no ambiente da sala receptora. Por se tratar de ambientes pouco reverberantes, de acordo com a norma ISO 354 (2003), a análise do **T** foi realizada com uma fonte de ruído impulsiva, em que foi estourado um balão inflável para cada ponto determinado. Após o impulso acústico, seguiu-se a medição de decaimento sonoro conforme recomendação da norma. Os ensaios de reverberação foram efetuados em terços de oitava e foram realizadas quatro diferentes posições para cada ambiente.

Após realizados os ensaios, os dados foram transferidos do Blue Solo 01 para o software dBBATI32, que acompanha o equipamento e permite a visualização e manejo dos dados.

O procedimento descrito anteriormente foi realizado para cada uma das tipologias de lajes. Os dados finais apresentados, considerados para os níveis de pressão sonora (L_i), ruído de fundo (**RF**) e tempo de reverberação (**T**) foram obtidos através da tomada das médias aritméticas das diferentes medições realizadas, para que então se chegasse ao valor unitário do ruído de impacto transmitido através das lajes, que é expresso pelo nível de pressão sonora de impacto padronizado (L'_{nT}).

3.1.3 *Processamento dos resultados conforme a norma ISO 717-2 (1996)* *“Impact sound insulation”*

Após os cálculo das médias aritméticas e obtenção dos valores finais para os níveis de pressão de sonora de impacto padronizado (L'_{nT}), conforme descrito anteriormente, procedeu-se o tratamento dos resultados conforme a recomendação da norma ISO 717-2 (1996).

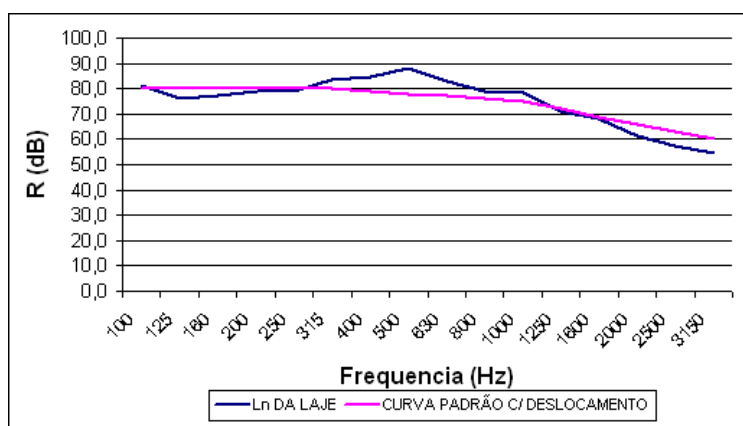
O objetivo desta norma é aplicar um tratamento aos dados obtidos, unificando os valores dos níveis de pressão sonora de impacto padronizado (L'_{nT}) de todo o

espectro de freqüências, através da determinação de um único valor global que é o nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado ($L'_{nT,w}$), que expressa o desempenho acústico do sistema ensaiado, em dB.

Esse valor é determinado através de um perfil deslizante de referência onde são considerados desfavoráveis todos os valores que ultrapassem este perfil.

A Figura 23 exemplifica o tratamento dos resultados segundo a Norma ISO 717, em que a curva em azul representa o Nível de Pressão Sonoro utilizado, seja $L'n$ ou L'_{nT} , e a curva rosa representa o perfil deslizante de referência.

FREQUENCIA	L'_{nT} DA LAJE
100	81,3
125	76,3
160	77,5
200	78,8
250	78,8
315	83,3
400	84,5
500	87,8
630	82,8
800	78,8
1000	78,2
1250	71,3
1600	68,3
2000	61,2
2500	57,2
3150	54,4
Incremento =	118
Diferença =	31,7
Obs.: Diferença Max <ou= 32	



$$L'_{nT,w} = \mathbf{78}$$

Figura 23 – Perfil deslizante – Norma ISO 717

Para fins da presente pesquisa, os ensaios realizados conforme a norma ISO 140 – parte VII (1978) determinaram o nível de pressão sonora de impacto padronizado (L'_{nT}), por faixas de terços de oitava, considerando os diferentes tipos

de lajes ensaiadas. Neste caso, o valor global para todo o espectro de freqüências é o nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado ($L'_{nT,w}$), segundo a ISO 717, expresso em dB.

3.2 Equipamentos utilizados

Os equipamentos disponibilizados pelo Setor de Acústica da UFSM para a realização dos ensaios de ruído de impacto foram:

- Medidor de nível sonoro de integração e registro de dados (*integrator sound level meter*), marca 01 dB Metravib, modelo Blue Solo 01, tipo 01, número de série 60266;
- Microfone MCE212 (classe 1);
- Fonte geradora de Impacto, também chamada de máquina de ruído de impacto: *Tapping Machine type 3204*, marca Brüel&Kjaer;
- Calibrador: *Sound Level Calibrator type 4230*, 94 dB – 1000 Hz marca Brüel&Kjaer;



Figura 24 – Medidor de nível sonoro de integração e registro de dados. (Manual técnico Blue Solo 01, 2003, p. 1).



Figura 25 – Máquina geradora de ruído de impacto.



Figura 26 – Calibrador.

3.3 Critério de escolha das obras para realização dos ensaios

Para elaboração desta dissertação, após escolhido o tema **estudo de tipologias de lajes quanto ao isolamento ao ruído de impacto** e vencidas as etapas iniciais de revisão de literatura e obtenção de informações a respeito das técnicas construtivas mais utilizadas na região para a elaboração de lajes armadas (estruturadas) entre pavimentos, determinou-se que os ensaios deveriam ser realizados “in situ”, uma vez que a execução das mesmas em um ambiente controlado teria um custo muito elevado e a necessidade de disponibilidade de

espaço físico muito amplo. Após análise das tipologias mais utilizadas na região, escolheram-se as lajes: maciça, pré-moldada convencional, pré-moldada treliçada e nervurada.

Uma vez definidas as tipologias de estudo, partiu-se para a segunda etapa desta dissertação, não mais de caráter teórico, mas prático. Foram escolhidas obras que utilizassem os sistemas construtivos de interesse da presente pesquisa e que estivessem em um mesmo estágio de acabamento, onde as esquadrias já estivessem instaladas e as lajes estivessem em “osso”, ou seja, ainda sem o assentamento do piso, para que então fossem submetidas aos ensaios de ruído de impacto.

3.4 Considerações sobre os locais de ensaio

Conforme descrito no item anterior, os locais das medições foram escolhidos segundo as tipologias das lajes, seu sistema construtivo e seus parâmetros de acabamento para a realização dos ensaios de ruído de impacto e posterior verificação e análise do desempenho de isolamento apresentado. A avaliação foi realizada através de comparativo entre as diferentes tipologias ensaiadas.

3.4.1 Laje maciça

- Localização da obra: Rua Duque de Caxias, esquina com a Avenida Nsa. Sra. Medianeira, bairro centro – Santa Maria/RS
- Data e dados ambientais: ensaio realizado na data de 05/05/08, temperatura média na hora da medição de 18°C e a umidade relativa do ar estava em 75%;
- Características da obra: edificação mista, composta por quatorze pavimentos, sendo os dois primeiros destinados a salas comerciais, dois subsolos de garagens e os demais pavimentos destinados ao uso residencial;

- Características construtivas:
 - Edificação construída com estrutura de concreto armado (pilares, lajes e vigas);
 - Paredes externas e internas: alvenaria de blocos cerâmicos de vedação (espessura aproximada de 20 cm);
 - Laje de entrepiso: Concreto armado com $F_{ck}=20$ MPa , espessura de 12 cm, massa unitária de 300 Kg/m², sem o contrapiso de regularização;
 - Esquadrias: portas semi-ocas de madeira, janelas de PVC com duas folhas de correr, com vidros de 4 mm e persianas externas de PVC;
- Características das salas receptora e emissora: os ensaios foram realizados em um pavimento tipo, onde a sala receptora localizava-se em um dormitório no sexto pavimento e a sala emissora no dormitório imediatamente acima daquele, localizado no sétimo pavimento, conforme a Figura 27. Tanto a sala receptora quanto a sala emissora apresentavam o mesmo estágio de acabamento, onde o reboco estava aplicado, faltando apenas os acabamentos de massa-corrída, pintura e assentamento do piso.

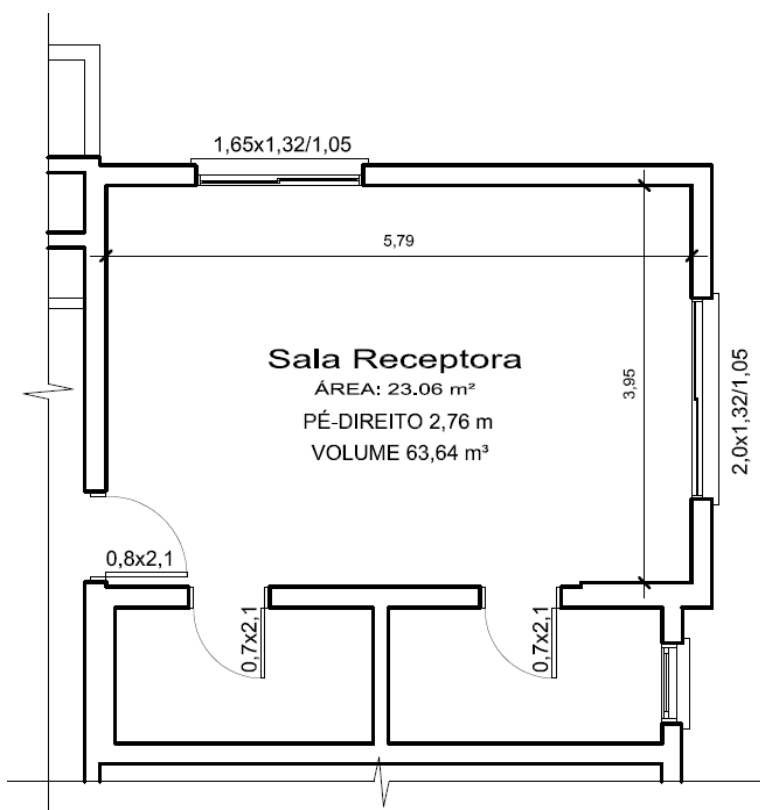


Figura 27 – Planta baixa da sala receptora, tipologia de laje: Laje maciça.

3.4.2 Laje Pré-moldada convencional

- Localização da obra: Rua Elpidio Menezes, esquina com a Rua Vicente do Prado, bairro Camobi – Santa Maria/RS;
- Data e dados ambientais: ensaio realizado na data de 28/09/07, temperatura média na hora da medição de 19°C e a umidade relativa do ar estava em 70%;
- Características da obra: edificação residencial, composta por três pavimentos;
- Características construtivas:
 - Edificação construída com paredes de alvenaria autoportante, vigas de concreto armado e lajes pré-moldadas convencionais;
 - Paredes externas: alvenaria de blocos cerâmicos de vedação (espessura aproximada de 20 cm);
 - Paredes internas: alvenaria de blocos cerâmicos de vedação (espessura aproximada de 15 cm);
 - Laje de entrepiso: laje pré-moldada convencional, com vigotas de concreto armado e tabelas cerâmicas, dispostas no sentido do menor vão (2,85 m), montadas e concretadas “in loco”, espessura de 12 cm, sendo 8 cm a espessura das vigotas de concreto armado e tabelas e 4 cm do concreto armado de distribuição com $F_{ck}=15$ MPa, massa unitária de 190 Kg/m²;
 - Esquadrias: janelas de madeira com duas folhas de correr, com vidros de 3 mm e venezianas externas de madeira, porta semi-oca de madeira;
- Características das salas receptora e emissora: os ensaios foram realizados em um pavimento tipo, onde a sala receptora localizava-se em um dormitório no segundo pavimento e a sala emissora no dormitório imediatamente acima daquele, localizado no terceiro pavimento, conforme a Figura 28. A sala receptora já estava com reboco, faltando apenas os acabamentos de massa-corrída e pintura; o piso cerâmico já estava assentado, bem como os roda-pés e as guarnições das portas. A sala emissora estava com o reboco aplicado,

faltando apenas os acabamentos de massa-corrída, pintura, assentamento do piso.

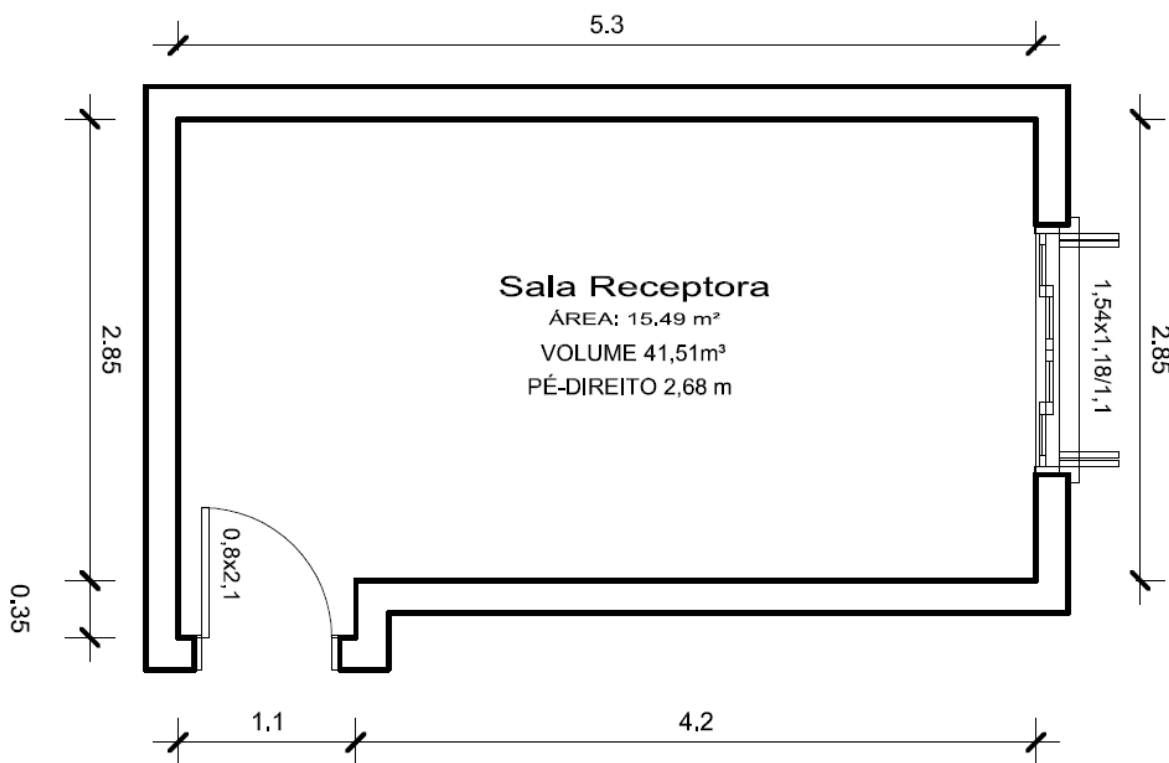


Figura 28 – Planta baixa da sala receptora, tipologia de laje: Pré-Laje.

3.4.3 Laje Pré-moldada treliçada

- Localização da obra: Av. Nsa. Sra. das Dores, esquina com a Rua Motorista Mariano, bairro Nsa. Sra. das Dores – Santa Maria/RS;
- Data e dados ambientais: ensaio realizado na data de 05/05/08, temperatura média na hora da medição de 18°C e a umidade relativa do ar estava em 75%;
- Características da obra: edificação mista, composta por duas torres de vinte e quatro pavimentos, sendo que os cinco primeiros desses eram subsolos destinados às garagens, três destinados ao uso comercial, um destinado à recreação e quinze destinados ao uso residencial;

- Características construtivas: edificação construída com estrutura de concreto armado (pilares e vigas) e lajes pré-moldadas treliçadas;
 - Paredes externas: alvenaria de blocos cerâmicos de vedação (espessura aproximada de 20 cm);
 - Paredes internas: alvenaria de blocos cerâmicos de vedação (espessura aproximada de 15 cm);
 - Laje de entrepiso: laje pré-moldada treliçada com treliças pré-fabricadas e tabelas cerâmicas, dispostas no sentido longitudinal do vão (7,17 m), montadas e concretadas “in loco”, espessura de 28 cm, massa unitária de 270 Kg/m²;
 - Esquadrias: a sala encontrava-se em “osso” e os fechamentos eram feitos de madeira compensada afixados sobre os vãos;
- Características das salas receptora e emissora: os ensaios foram realizados em um pavimento onde a sala receptora localizava-se no segundo subsolo da edificação e a sala emissora no pavimento imediatamente acima deste, conforme a Figura 29. Tanto a sala receptora quanto a sala emissora estavam no mesmo estágio de acabamento, onde o reboco ainda não havia sido desempenado, estando apenas o emboço aplicado e o piso era o concreto de recobrimento sobre a laje, ainda sem o assentamento do contrapiso de regularização.

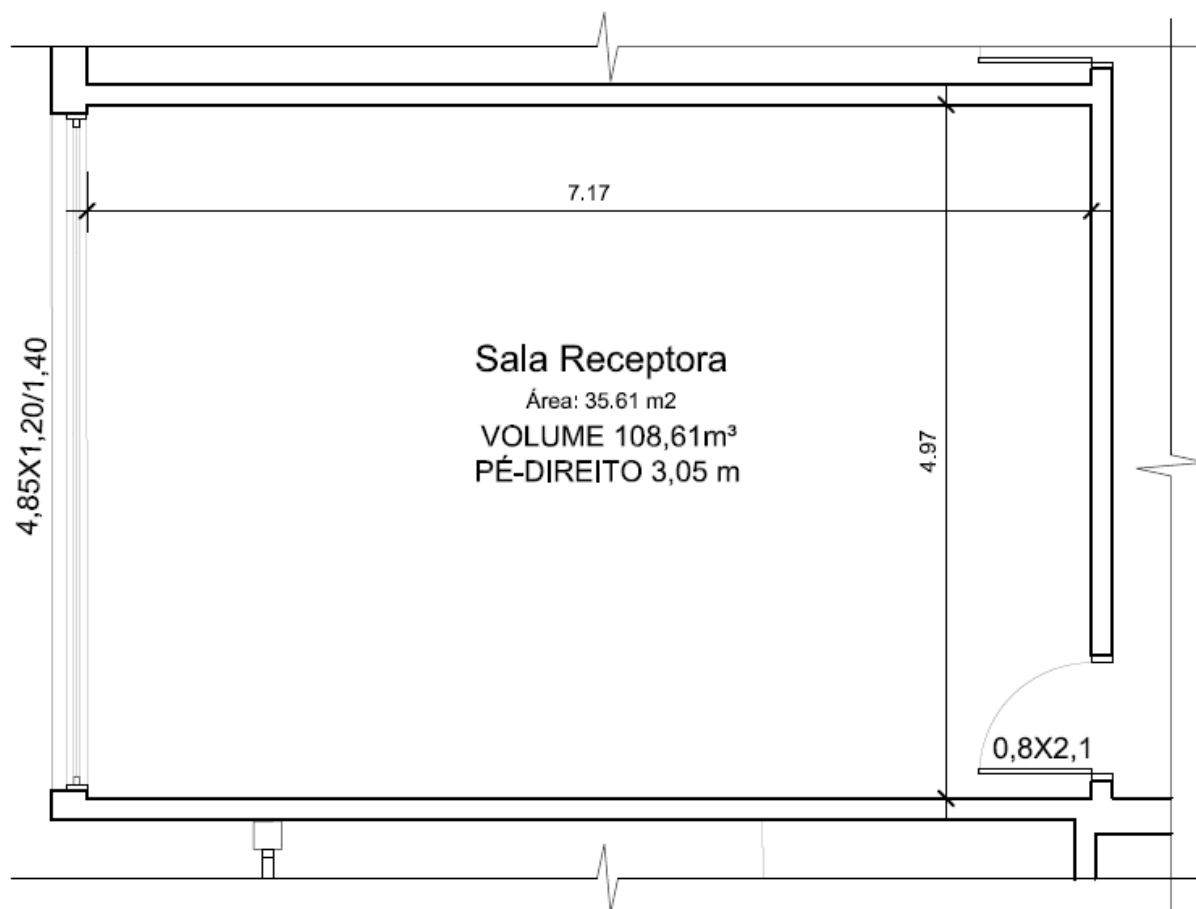


Figura 29 – Planta baixa da sala receptora, tipologia de laje: Laje treliçada.

3.4.4 Laje nervurada

- Localização da obra: Residencial Barão do Nonoai, Rua Paraíba, bairro Nonoai – Santa Maria/RS;
- Data e dados ambientais: ensaio realizado na data de 17/12/07, temperatura média na hora da medição de 27°C e a umidade relativa do ar estava em 57%;
- Características da obra: edificação residencial, composta por onze pavimentos;
- Características construtivas: edificação construída com estrutura de concreto armado (pilares, lajes e vigas);
 - Paredes externas: alvenaria de blocos cerâmicos de vedação (espessura aproximada de 20 cm);

- Paredes internas: alvenaria de blocos cerâmicos de vedação (espessura aproximada de 15 cm);
- Laje de entrepiso: laje nervurada de concreto armado com $f_{ck}=25$ MPa, com espessura de aproximadamente 28,0 cm, sendo a altura dos alvéolos (vigas) de 22,50 cm e 5,5 cm a espessura da laje propriamente dita e massa unitária de 276 Kg/m². A laje ainda não apresentava a camada de contrapiso de regularização;
- Esquadrias: porta interna semi-oca de madeira, porta / janelas da sacada de PVC, com duas folhas de correr, com vidros de 4 mm e persianas externas de PVC;
- Características das salas receptora e emissora: os ensaios foram realizados em um pavimento tipo, onde a sala receptora localizava-se em um dormitório no segundo pavimento e a sala emissora, no dormitório imediatamente acima daquele, localizado no terceiro pavimento, conforme a Figura 30. A sala receptora já estava com reboco aplicado, faltando apenas os acabamentos de massa-corrída e pintura; o contrapiso de regularização já estava assentado, faltando somente o piso. A sala emissora estava em osso, ou seja, ainda sem a aplicação do chapisco, emboço e reboco, a laje estava sem a aplicação do contrapiso de regularização. Em ambas as salas as esquadrias estavam instaladas.

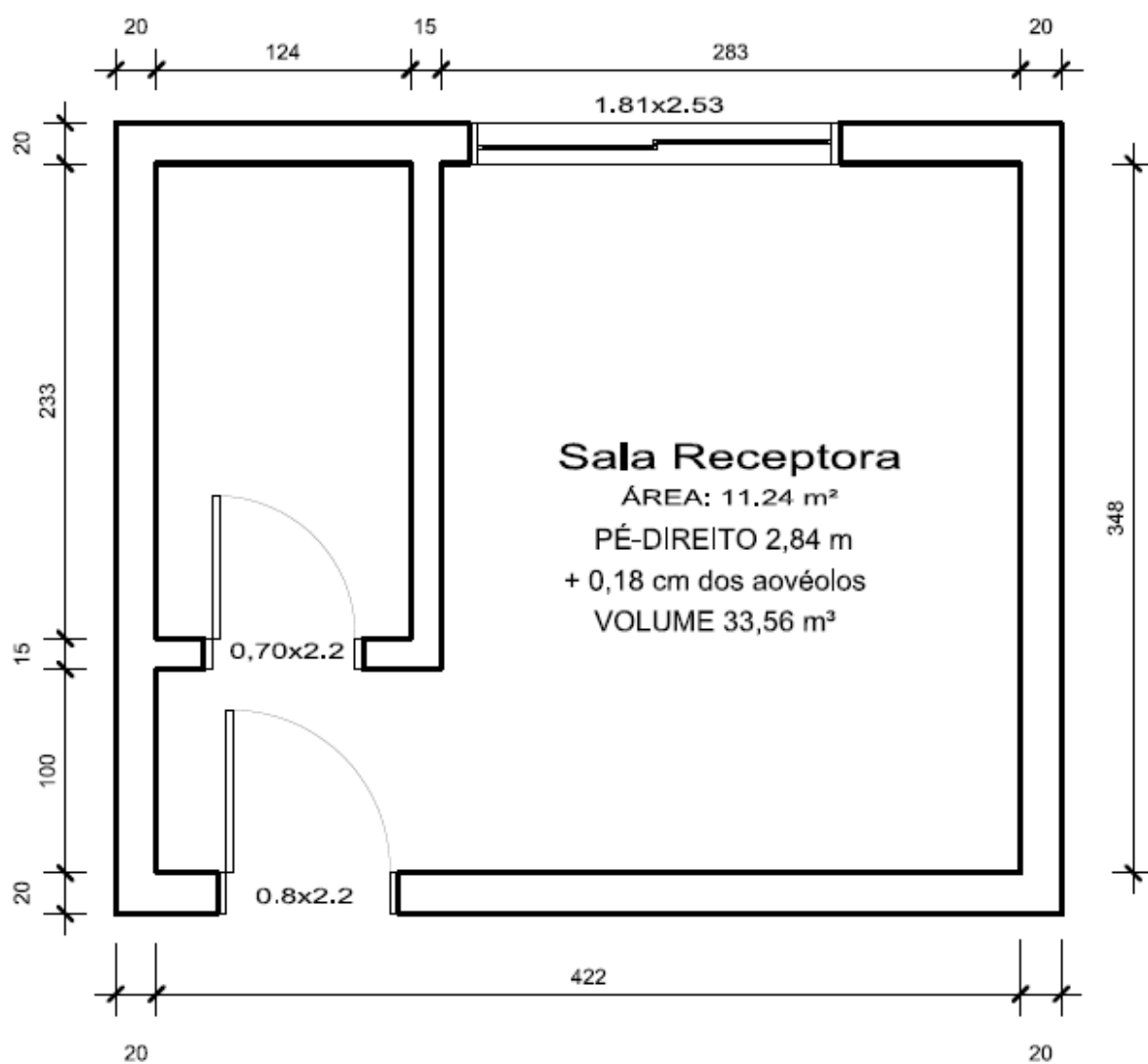


Figura 30 – Planta baixa da sala receptora, tipologia de laje: Laje nervurada.

4 RESULTADOS OBTIDOS E ANÁLISE DOS DADOS

Os ensaios realizados do presente trabalho, com relação ao desempenho para o ruído de impacto, têm seus resultados calculados e apresentados quanto ao isolamento das tipologias de lajes ensaiadas em osso, obtendo-se, assim, o valor do Nível de Pressão Sonora de Impacto Padronizado Ponderado ($L'_{nT,w}$), expresso em dB. Tanto a metodologia adotada nos ensaios quanto os cálculos adotados para obtenção do $L'_{nT,w}$, para apresentação e análise dos resultados, seguem as recomendações das normas ISO 140/VII e ISO 717.

Para a análise dos resultados obtidos, dividiram-se as lajes por tipologia para realização de uma análise parcial, a fim de obter-se então o estudo comparativo entre as tipologias agrupadas conforme o sentido da armadura estrutural e, por último, todas as tipologias analisadas em conjunto.

4.4 Resultados do ensaio de ruído de impacto para laje maciça em “osso”.

As Tabelas 02 e 03 apresentam os resultados obtidos nos ensaios para a laje maciça medidos na sala receptora.

Tabela 02 - Ruído de fundo (RF) e tempo de reverberação (T) da sala receptora

Frequência (Hz)	RF (dB)	T (s)
100	48	1,91
125	47	1,86
160	44	1,45
200	43	1,48
250	41	1,42
315	39	1,18
400	38	1,15
500	39	1,06
630	38	0,99
800	36	1,03
1000	36	0,91
1250	36	0,93

1600	34	0,92
2000	31	0,92
2500	29	0,88
3150	26	0,86

Tabela 03 - Nível de pressão sonora de impacto (L_i) e Nível de pressão sonora de impacto padronizado (L'_{nT})

Frequência (Hz)	L_i (dB)	L'_{nT} (dB)
100	60	54
125	65	59
160	67	62
200	66	61
250	66	61
315	67	63
400	65	61
500	66	63
630	65	62
800	65	62
1000	64	61
1250	62	59
1600	58	55
2000	52	49
2500	46	44
3150	39	37

A Figura 31 a seguir, apresenta o gráfico com os níveis de pressão sonora de impacto padronizado (L'_{nT}) para a laje maciça em “osso” medidos na sala receptora.

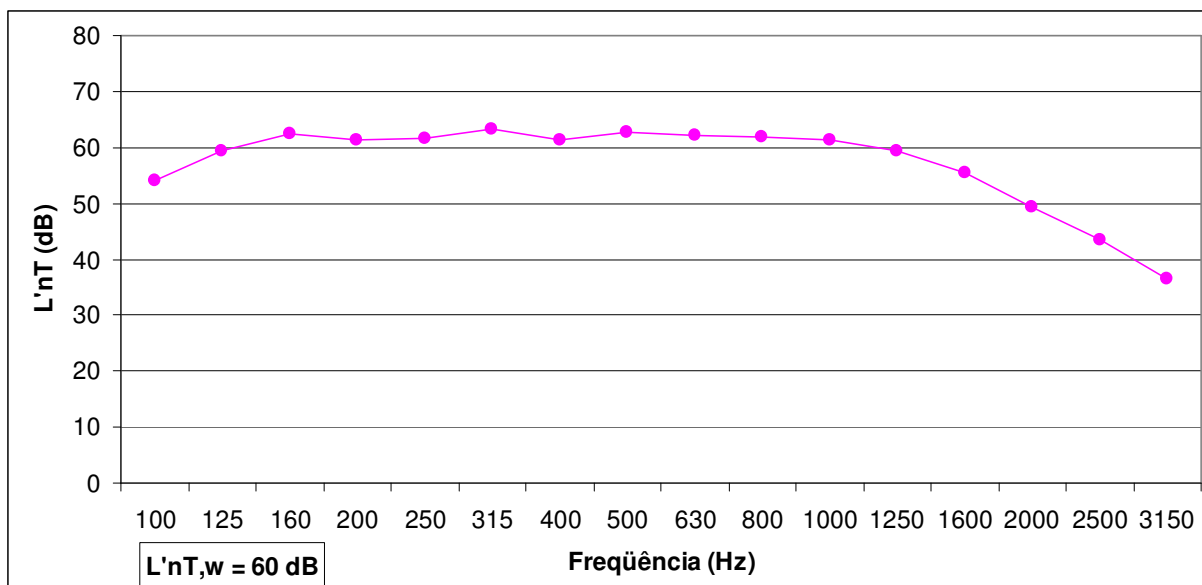


Figura 31 - Gráfico com os resultados do ensaio de ruído de impacto da laje maciça em “osso”.

No caso específico para a laje maciça, conforme apresentado na Figura 31, a tipologia demonstrou um desempenho que se manteve acima de 60 dB, basicamente constante entre as faixas de frequência de 160 Hz até 1000 Hz, apresentando uma pequena melhora no isolamento sonoro tanto para as baixas quanto para as altas frequências.

O nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado ($L'_{nT,w}$), medido conforme as recomendações da Norma ISO 717, foi de 60 dB.

4.4 Resultados do ensaio de ruído de impacto para a laje pré-moldada treliçada em “osso”.

Nas Tabela 04 e 05, estão demonstrados os resultados obtidos nos ensaios para a laje pré-moldada treliçada em “osso” medidos na sala receptora.

Tabela 04 - Ruído de fundo (RF) e tempo de reverberação (T) da sala receptora

Frequência (Hz)	RF (dB)	T (s)
100	45	0,72
125	44	0,75
160	41	0,85
200	37	0,67
250	35	0,9
315	35	0,89
400	37	1,13
500	37	1,46
630	37	1,48
800	37	1,43
1000	37	1,31
1250	36	1,19
1600	35	1,1
2000	33	0,91
2500	31	0,75
3150	28	0,7

Tabela 05 - Nível de pressão sonora de impacto (L_i) e Nível de pressão sonora de impacto padronizado (L'_{nT})

Frequência (Hz)	L_i (dB)	L'_{nT} (dB)
100	69	67
125	62	60
160	63	61
200	66	65
250	68	65
315	67	64
400	68	64
500	68	63
630	68	63
800	70	65
1000	70	66
1250	67	63
1600	59	56
2000	53	50
2500	53	51
3150	43	42

A Figura 32, apresenta o gráfico com os níveis de pressão sonora de impacto padronizado (L'_{nT}) para a laje pré-moldada treliçada em “osso” medidos na sala receptora.

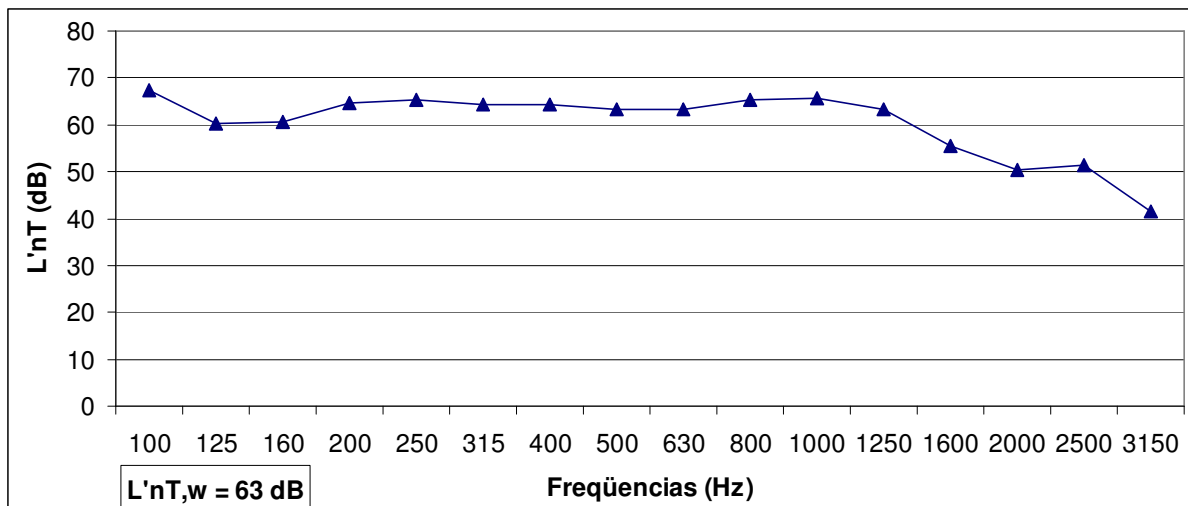


Figura 32 - Gráfico com os resultados do ensaio de ruído de impacto da laje pré-moldada treliçada em “osso”.

No caso específico para a laje pré-moldada treliçada em “osso”, conforme apresentado na Figura 32, a tipologia demonstrou um desempenho que se manteve superior aos 60 dB em quase todas as faixas de frequência, mantendo-se basicamente constante entre os 200 e 1000 Hz, só então apresentando uma melhora, aproximando-se a 40 dB na faixa de frequência de 3150 Hz.

O nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado ($L'_{nT,w}$), medido conforme as recomendações da Norma ISO 717, foi de 63 dB.

4.4 Resultados do ensaio de ruído de impacto para a laje pré-moldada convencional em “osso”

Nas Tabelas 06 e 07 estão demonstrados os resultados obtidos nos ensaios para a laje pré-moldada convencional em “osso”, medidos na sala receptora.

Tabela 06 - Ruído de fundo (RF) e tempo de reverberação (T) da sala receptora

Frequência (Hz)	RF (dB)	T (s)
100	27	4,35
125	31	8,08
160	34	4,70
200	31	5,28
250	33	4,08
315	32	3,86
400	35	3,21
500	34	3,30
630	32	3,02
800	30	2,55
1000	25	2,45
1250	25	2,32
1600	25	2,19
2000	26	2,04
2500	26	1,84
3150	27	1,64

Tabela 07 - Nível de pressão sonora de impacto (L_i) e nível de pressão sonora de impacto padronizado (L'_{nT}):

Frequência (Hz)	L_i (dB)	L'_{nT} (dB)
100	68	58
125	76	64
160	78	68
200	80	69
250	81	72
315	83	74
400	82	74
500	83	75
630	79	71
800	79	72
1000	75	68
1250	71	64
1600	66	60
2000	58	52
2500	50	45
3150	48	43

A Figura 33, apresenta o gráfico com os níveis de pressão sonora de impacto padronizado (L'_{nT}) para a laje pré-moldada convencional em “osso” medidos na sala receptora.

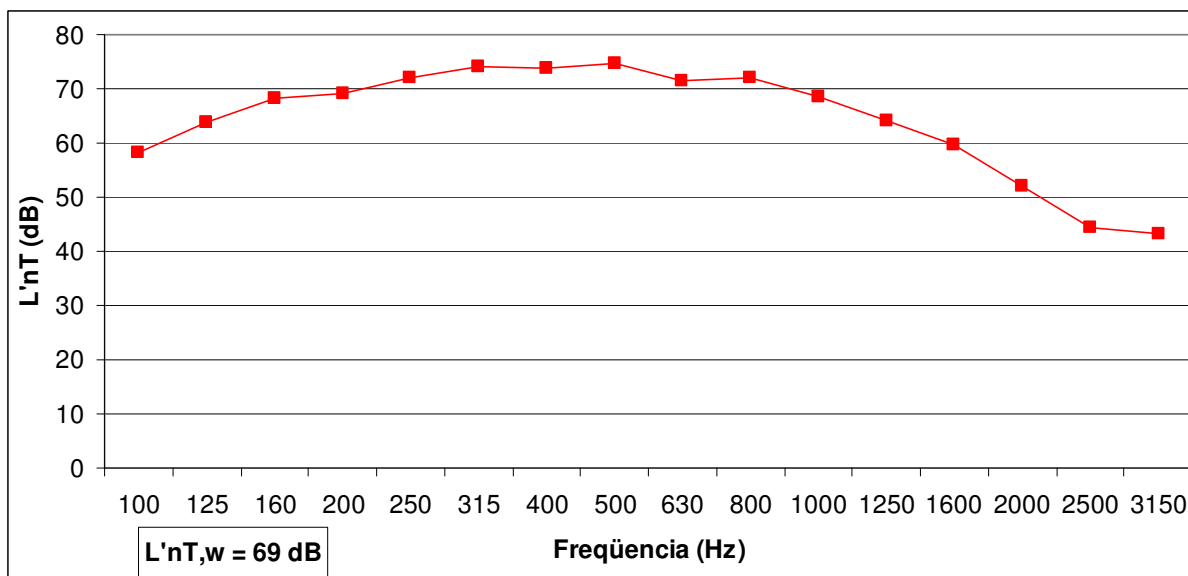


Figura 33 - Gráfico com os resultados do ensaio de ruído de impacto da laje pré-moldada convencional em “osso”.

No caso específico para a laje pré-moldada convencional em “osso”, conforme apresentado anteriormente, a tipologia demonstrou um desempenho fraco nas baixas frequências e manteve-se superior aos 70 dB entre as faixas de frequência de 200 Hz até 1000 Hz, atingindo um pico de 75 dB aos 500 Hz, apresentando uma melhora somente nas altas frequências, contudo permanecendo superior a 40 dB.

O nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado ($L'_{nT,w}$), medido conforme as recomendações da Norma ISO 717, foi de 69 dB.

4.4 Resultados do ensaio de ruído de impacto para a laje nervurada em “osso”

Nas Tabelas 09 e 09 estão demonstrados os resultados obtidos nos ensaios para a laje nervurada em “osso”, medidos na sala receptora.

Tabela 08 - Ruído de fundo (RF) e tempo de reverberação (T) da sala receptora:

Frequência (Hz)	RF (dB)	T (s)
100	43	2,5
125	45	1,99
160	44	1,08
200	42	1,16
250	40	1,44
315	38	1,28
400	36	1,09
500	36	1,14
630	36	0,99
800	32	1,02
1000	30	0,83
1250	29	0,87
1600	30	0,84
2000	31	0,78
2500	26	0,72
3150	27	0,69

Tabela 09 - Nível de pressão sonora de impacto (L_i) e Nível de pressão sonora de impacto padronizado (L'_{nT}):

Frequência (Hz)	L_i (dB)	L'_{nT} (dB)
100	63	56
125	71	65
160	71	68
200	71	67
250	69	64
315	68	64
400	69	66
500	67	63
630	64	61
800	68	65
1000	64	62
1250	63	61
1600	58	56
2000	49	47
2500	44	42
3150	37	36

A seguir a Figura 34, apresenta o gráfico com os níveis de pressão sonora de impacto padronizado (L'_{nT}) para a laje nervurada em “osso”, medidos na sala receptora.

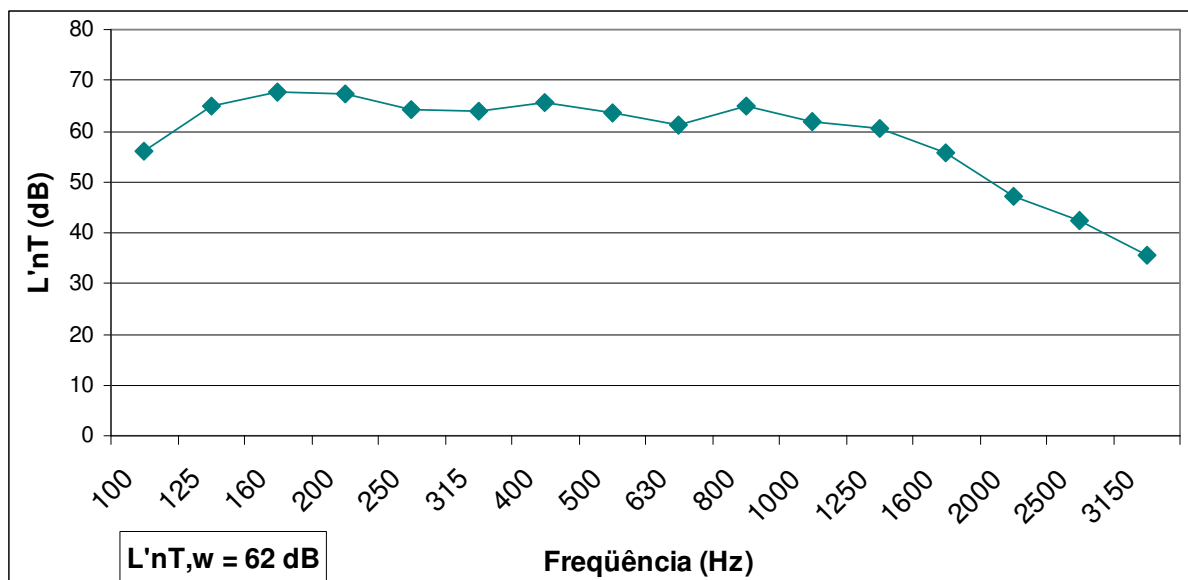


Figura 34 - Gráfico com os resultados do ensaio de ruído de impacto da laje nervurada em “osso”.

No caso específico para a laje nervurada em “osso”, conforme apresentado na figura 34, a tipologia demonstrou um desempenho fraco nas baixas e médias frequências, mantendo-se superior aos 60 dB entre as faixas de frequência de 125 Hz até 1250 Hz, apresentando uma melhora somente a partir dos 1000 Hz.

O nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado ($L'_{nT,w}$), medido conforme as recomendações da Norma ISO 717, foi de 62 dB.

4.4 Análise comparativa do desempenho das tipologias de lajes

Para a análise comparativa entre as tipologias, as lajes foram separadas conforme o sentido da armadura e por apresentarem características morfológicas similares. Traçou-se o comparativo entre as duas lajes pré-moldadas, com armadura em uma única direção e as duas lajes com armadura em cruz, ou seja, armadas em

duas direções, para posteriormente ser realizada a análise comparativa entre todas as tipologias.

A seguir, a Figura 35 demonstra os resultados comparativos obtidos nos ensaios das lajes pré-moldada convencional e pré-moldada treliçada, ambas ensaiadas em “osso”.

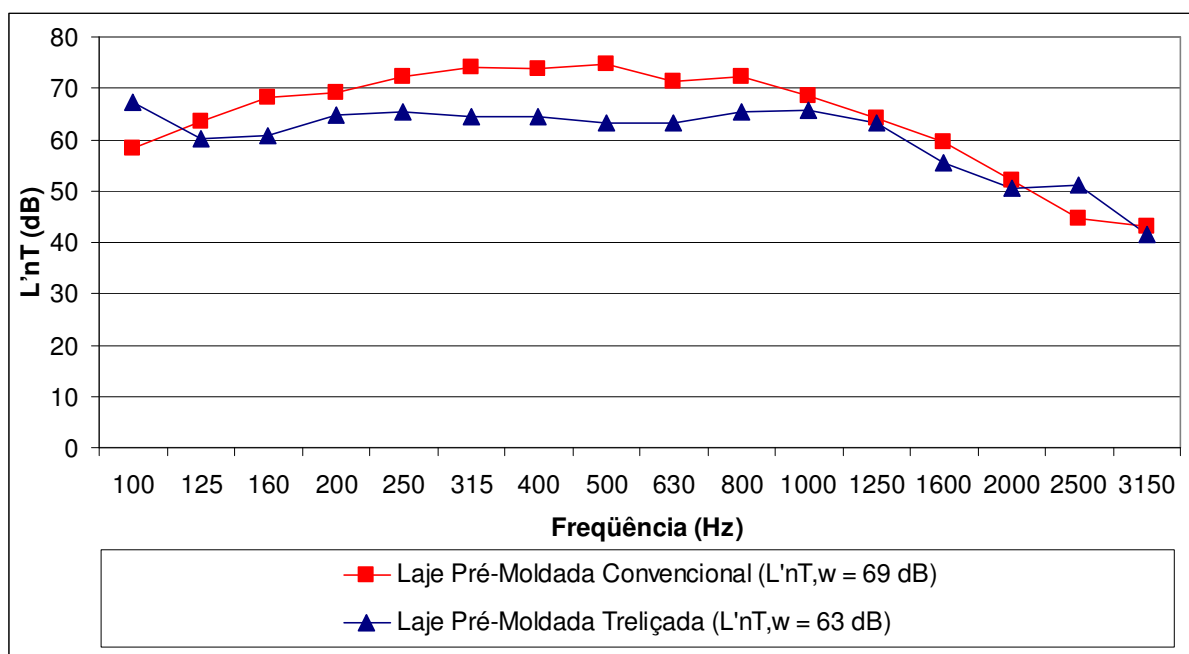


Figura 35 - Gráfico comparativo com os resultados dos ensaios de ruído de impacto das lajes pré-moldada convencional e pré-moldadas treliçada, ensaiadas em “osso”.

Para as lajes armadas em uma única direção (armadura no sentido dos vãos de 2,85 m para a laje pré-moldada convencional e 7,17 m para a laje pré-moldada treliçada), conforme a Figura 35 que expressa o desempenho das lajes em todas as bandas de terço de oitava, ambas as tipologias demonstraram um fraco desempenho nas baixas e médias freqüências, apresentando uma pequena melhora somente nas altas freqüências, em que se percebe um decaimento até se aproximar de 40 dB na faixa de freqüência dos 3150 Hz.

Também se pode afirmar que a laje pré-moldada treliçada obteve um desempenho superior à laje pré-moldada convencional, apresentando um nível de

pressão sonora de impacto padronizado ponderado ($L'_{nT,w}$) de 63 dB, enquanto a convencional demonstrou um desempenho de 69 dB.

Na Figura 36, estão demonstrados os resultados comparativos obtidos nos ensaios das lajes maciça e nervurada, ambas com armadura em cruz, ou seja, em duas direções.

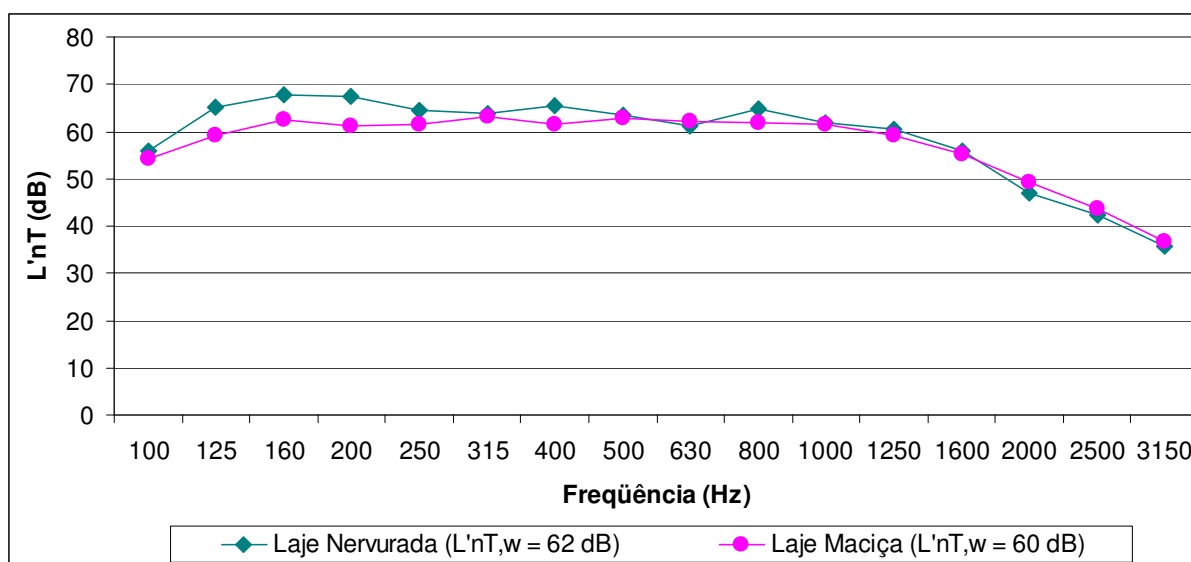


Figura 36 - Gráfico comparativo com os resultados dos ensaios de ruído de impacto das lajes maciça e nervurada, ensaiadas em “osso”.

Para as lajes com armadura em duas direções, conforme demonstrado na Figura 36, que expressa o desempenho das lajes em bandas de terço de oitava, as duas tipologias apresentaram um desempenho mediano ao longo do espectro de freqüências, mantendo-se basicamente constante entre as faixas de 160 Hz até 1250 Hz, apresentando uma melhora a partir dos 1000 Hz. A laje maciça apresenta um melhor desempenho em quase todas as freqüências, excetuando nos pontos de 630 Hz e a partir dos 2000 Hz.

Também se pode afirmar que a laje maciça obteve um desempenho superior à laje nervurada, apresentando um nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado ($L'_{nT,w}$) de 60 dB, enquanto a laje nervurada demonstrou um desempenho de 62 dB.

Na Figura 37 estão demonstrados os resultados obtidos nos ensaios de todas as tipologias de lajes, reunidas a fim de se traçar um comparativo entre as lajes

armadas em uma única direção, laje pré-moldada convencional e laje pré-moldada treliçada e as lajes armadas em duas direções, maciça e nervurada.

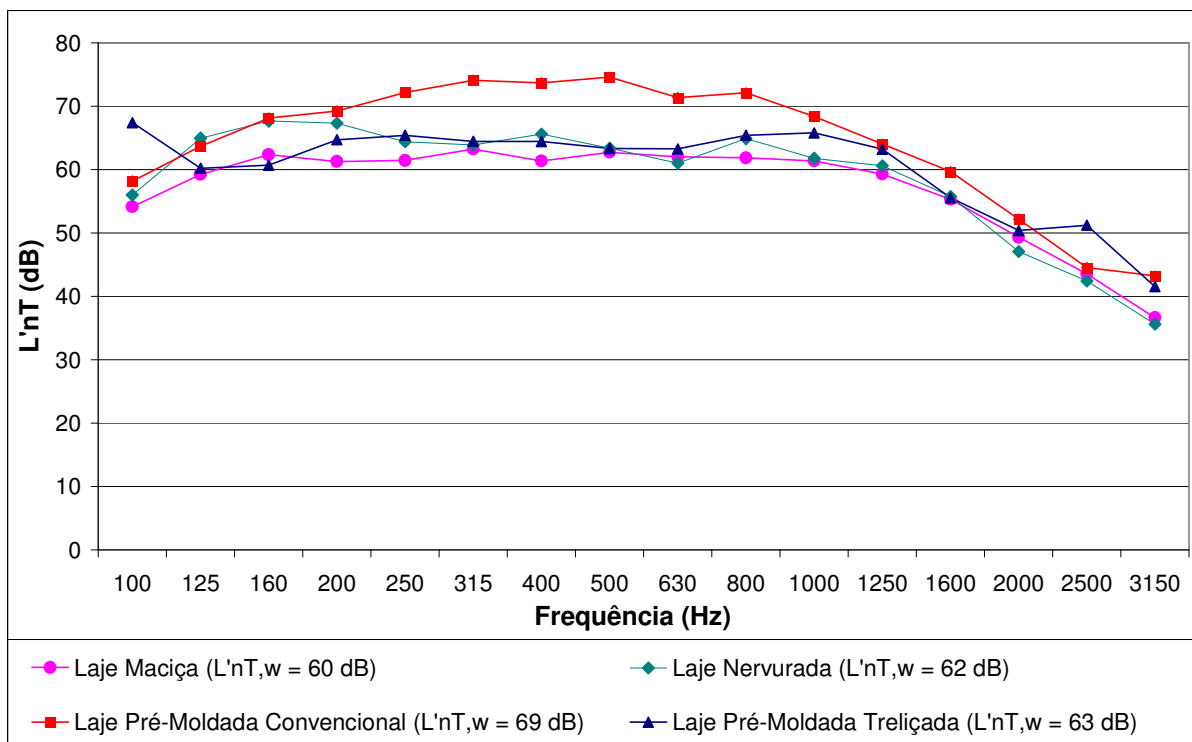


Figura 37 - Gráfico comparativo com os resultados dos níveis de pressão de ruído de impacto padronizado (L'_{nT}) para todas as tipologias de lajes ensaiadas em “osso”.

Para a comparação entre as lajes, conforme demonstrado na Figura 37, que expressa o desempenho das lajes em bandas de terço de oitava, pode-se afirmar que a maioria das tipologias apresentou certa semelhança, percebida no gráfico, com exceção à laje pré-moldada convencional, que se destaca das demais apresentando um desempenho inferior a estas. Ao longo do gráfico, pode-se perceber que a laje maciça foi a que apresentou melhor desempenho, embora em determinados pontos tenha sido superada pela laje nervurada e pela laje pré-moldada treliçada.

Conforme a Figura 38, que expressa o nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado ($L'_{nT,w}$), apresenta-se o desempenho de todas as tipologias ensaiadas através dos valores globais de ruído percebidos na sala receptora.

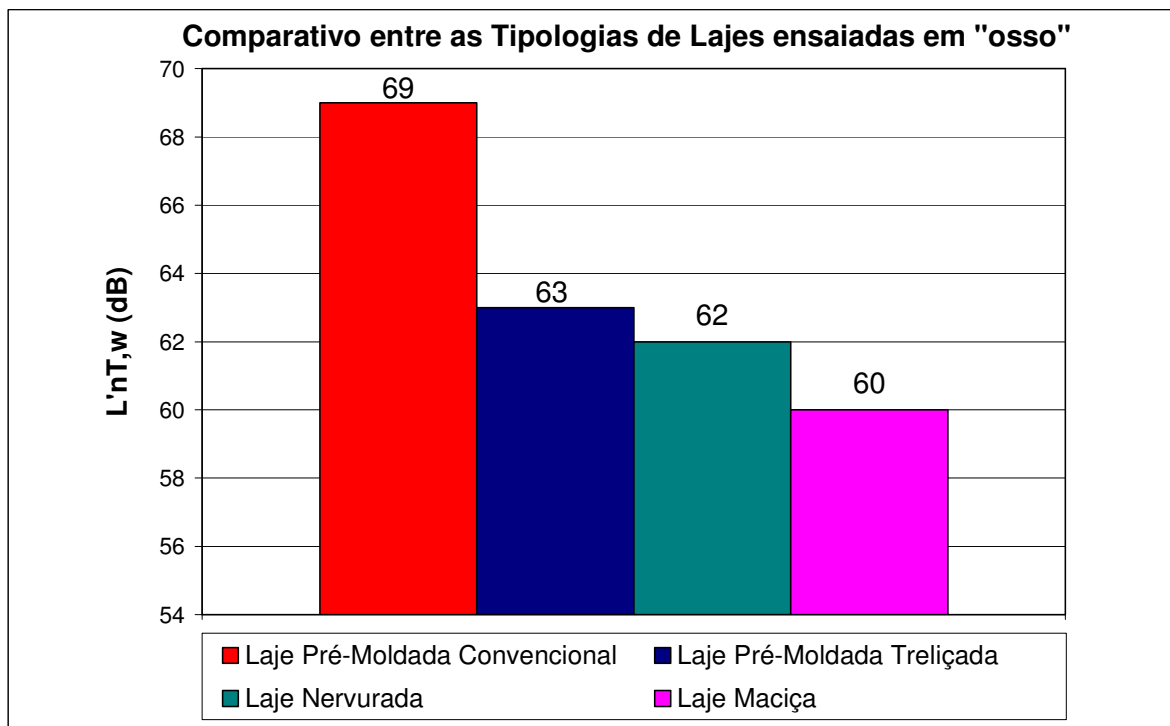


Figura 38 - Gráfico comparativo entre os resultados dos níveis de pressão de ruído de impacto padronizado ponderado ($L'_{nT,w}$) para todas as tipologias de lajes ensaiadas em “osso”.

Para a análise comparativa entre todas as tipologias de lajes, armadas em uma única e duas direções, conforme demonstrado na Figura 38, pode-se afirmar que a laje maciça obteve um desempenho superior a todas as outras, apresentando um nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado ($L'_{nT,w}$) de 60 dB, seguido da laje nervurada e da laje pré-moldada trelaçada que demonstraram um desempenho muito próximo de 62 dB e 63 dB respectivamente e, por fim, a laje pré-moldada convencional, obtendo o pior desempenho, apresentando um nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado ($L'_{nT,w}$) de 69 dB.

4.4 Análise comparativa do desempenho de duas tipologias de lajes com acabamento final de piso

Em duas das obras ensaiadas, foi possível a realização de medições com o piso de revestimento final instalado. As tipologias ensaiadas foram as lajes pré-

moldada convencional e pré-moldada nervurada, ambas utilizaram como revestimento o piso laminado de madeira, estando a última com contrapiso de regularização de 5 cm e forro de gesso maciço, sem material absorvente, instalado a 24 cm abaixo da laje.

Nas Figuras 39 e 40, estão demonstrados os resultados obtidos nos ensaios com as tipologias da laje pré-moldada convencional e da laje nervurada, a primeira armada em uma única direção e a segunda com armação em cruz. Para efeito comparativo, apresenta-se o perfil de cada uma associada ao da laje em “osso”.

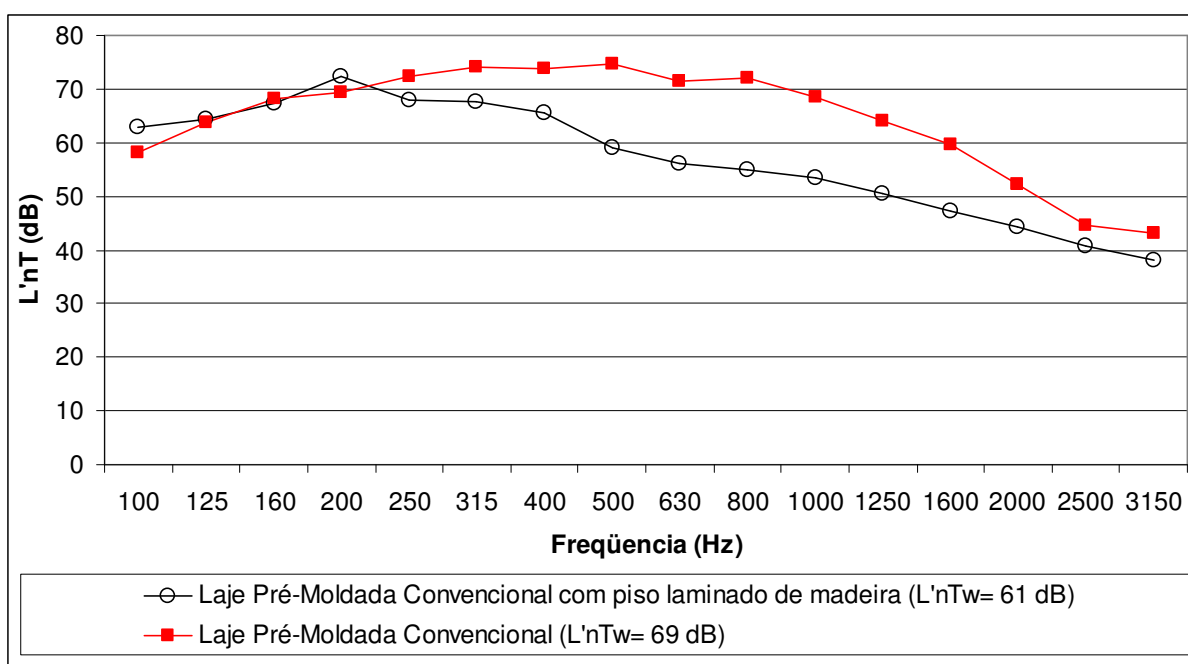


Figura 39 - Gráfico comparativo com os resultados dos níveis de pressão de ruído de impacto padronizado (L'_{nT}) para a tipologia de laje pré-moldada convencional em “osso” e com o piso laminado de madeira.

Para a comparação entre a laje pré-moldada convencional em “osso” e com o revestimento de piso laminado de madeira, apresentado na figura anterior, pode-se afirmar que, há uma melhora no isolamento ao ruído de impacto a partir da freqüência de 200 Hz e que o melhor desempenho se concentra na faixa entre os 500 Hz e 1000 Hz, onde o $\Delta L'_{nT,w}$ é maior.

Quando instalado o piso laminado de madeira o valor do $L'_{nT,w}$ passou de 69 dB para 61 dB, o que indica um acréscimo no isolamento ao ruído de impacto de 8 dB ($\Delta L'_{nT,w}$).

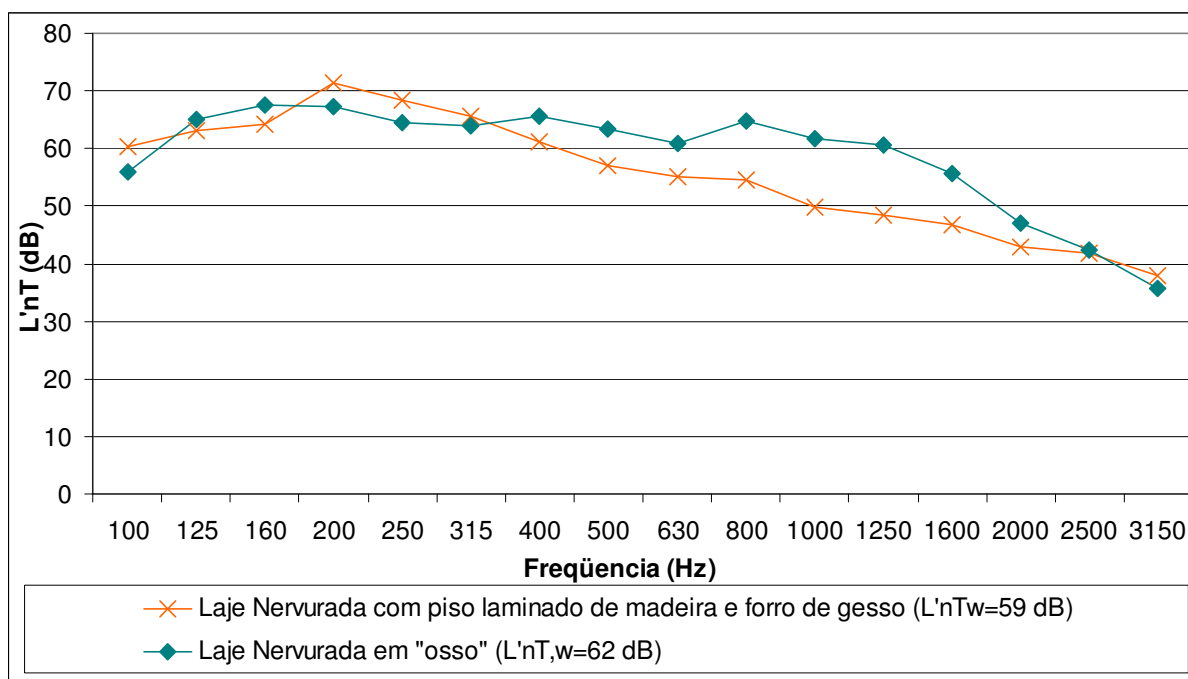


Figura 40 - Gráfico comparativo com os resultados dos níveis de pressão de ruído de impacto padronizado (L'_{nT}) para a tipologia de laje nervurada em “osso” e com o piso laminado de madeira e forro de gesso.

No mesmo parâmetro, a Figura 40, que apresenta o desempenho comparativo entre a laje nervurada em “osso” e a laje nervurada com o revestimento de piso laminado de madeira sobre o contrapiso de regularização e o forro de gesso instalado na sala receptora, pode-se afirmar que este sistema demonstrou um ganho de isolamento ao ruído de impacto a partir da frequência de 315 Hz e seu melhor desempenho se concentra entre as frequências de 800 Hz a 1600 Hz, onde o ΔL é maior. O valor do $L'_{nT,w}$ de 59 dB indica uma melhora no isolamento ao ruído de impacto de 3 dB ($\Delta L'_{nT,w}$) em relação à laje sem revestimento.

5 CONCLUSÕES

5.3 Conclusões finais

O mercado brasileiro tem se mostrado emergente do ponto de vista de desenvolvimento tecnológico da indústria da construção civil, embora algumas das tecnologias empregadas ainda persistem na técnica utilizada a mais de 40 anos. Ainda que exista, no Brasil, uma diversidade de indústrias de materiais, componentes e sistemas tecnológicos de última geração, percebem-se deficiências quanto à absorção dessas “novas tecnologias”.

Existe uma abundância de alternativas tecnológicas que vêm se posicionando na indústria da construção civil e verifica-se que o ambiente é muito propício para a implantação de novas tecnologias que visam minimizar o consumo de matéria-prima, mão-de-obra e custos, o que maximiza os lucros e, com isso, muitas vezes prejudica o usuário, que acaba recebendo materiais com desempenho e qualidade abaixo do mínimo esperado.

Para as análises realizadas em agrupamentos quanto ao sentido da armação, pôde-se perceber que as tipologias com armadura em duas direções apresentaram um desempenho superior àquelas armadas em uma única direção, possivelmente devido ao fato de que as lajes com armação em cruz receberem maior quantidade de concreto e ferragem, tornando-se mais rígidas e, conseqüentemente, aumentando sua massa. Já as armadas em uma única direção, denominadas pré-moldadas, apresentam grande parte de sua estrutura composta por tabelas cerâmicas, basicamente com a finalidade de preenchimento, o que as torna menos rígidas, diminuindo consideravelmente sua massa e isolamento ao ruído de impacto.

Ao analisar-se os gráficos que expressam o desempenho das lajes em bandas de terço de oitava, pode-se perceber que as tipologias de lajes ensaiadas em “osso” apresentaram um perfil que cresce das baixas freqüências para as médias e decaem a partir dos 1000 Hz. Já os gráficos que apresentam os resultados com os níveis de pressão sonora de impacto padronizado ponderado ($L'_{nT,w}$), que representam o valor único de decibéis transmitidos através das lajes, pode-se

destacar mais nitidamente a diferença entre os desempenhos de cada tipologia, permitindo-se assim traçar uma hierarquia relacionada ao seus desempenhos.

Com base na leitura dos resultados, pode-se concluir que, dentre o rol das lajes ensaiadas, a que obteve o pior desempenho, permitindo a maior transmissão de energia através da laje, foi a tipologia de laje pré-moldada convencional, apresentando um $L'_{nT,w}$ de 69 dB, chegando a apresentar picos de 75 dB ao longo do espectro e mantendo-se acima dos 70 dB em diversas faixas de frequência. Pode-se afirmar que este fraco desempenho é devido à baixa massa que a mesma apresenta, uma vez que seus elementos estruturais são as vigotas pré-fabricadas de perfil esbelto e à fina camada de concreto armado que esta recebe como recobrimento.

Em seguida, podemos destacar a laje pré-moldada treliçada, posicionando-se no terceiro lugar em relação aos desempenhos, com $L'_{nT,w}$ de 63 dB. Essa apresentou um espectro mais constante, contudo, da mesma forma que a anterior, a presença de elementos de preenchimento em sua composição morfológica compromete o desempenho do sistema. Embora a quantidade de concreto que a laje pré-moldada treliçada recebe seja maior do que a laje pré-moldada convencional, ainda não é suficiente a ponto de desempenhar um bom isolamento acústico.

Apresentando um desempenho muito próximo, com $L'_{nT,w}$ de 62 dB, posiciona-se em segundo lugar a laje nervurada, que se destaca por apresentar um perfil que se mantém acima dos 60 dB em quase todas as frequências, havendo um ganho de isolamento apenas nas altas frequências. Pode-se afirmar que o desempenho desta laje não é maior devido ao fato que a camada de recobrimento da laje de piso apresenta uma espessura de aproximadamente cinco centímetros, enquanto a grande concentração de massa localiza-se nas vigas abaixo desta, o que acaba por diminuir o desempenho do sistema.

Assim, pode-se concluir que dentre as lajes ensaiadas em “osso” a que apresentou o melhor desempenho quanto ao isolamento acústico submetida ao ruído de impacto foi a laje maciça, com um $L'_{nT,w}$ de 60 dB. Essa desenvolveu um perfil constante entre as frequências que vão de 160 Hz até 1000 Hz, mantendo-se próximo aos 60 dB e havendo a partir deste ponto uma melhora nas altas frequências chegando a 37 dB. O fato dessa laje posicionar-se como a melhor dentre o rol das tipologia ensaiadas deve-se possivelmente por a mesma apresentar

uma armadura em cruz que recebe maior quantidade de ferragem e uma espessura maciça de 12 cm de concreto, garantindo mais massa e uma maior rigidez, melhorando assim o desempenho ao isolamento acústico.

Para os ensaios que foram possíveis de se realizar com duas das tipologias finalizadas e com o revestimento final de piso laminado de madeira, executado de forma tradicional, pode-se concluir que para a tipologia de laje pré-moldada convencional o desempenho em “osso” corresponde a um $L'_{nT,w}$ de 69 dB e quando adicionado o contrapiso de regularização e o acabamento de piso, essa passa a desenvolver um $L'_{nT,w}$ de 61 dB, ou seja, o ganho em isolamento acústico corresponde a um $\Delta L'_{nT,w}$ de 8 dB.

Da mesma forma para a laje nervurada, o desempenho em “osso” corresponde a um $L'_{nT,w}$ de 62 dB e ao ser instalado o piso laminado de madeira sobre o contrapiso de regularização e o forro de gesso maciço, sem adição de material absorvente, a 24 cm abaixo da laje, esta passa a desenvolver um $L'_{nT,w}$ de 59 dB, ou seja o ganho de isolamento acústico corresponde a um $\Delta L'_{nT,w}$ de 3 dB.

Desse modo, pode-se concluir que para as tipologias ensaiadas com acabamento final de piso, estas têm importância relevante quando os revestimentos de piso são instalados de maneira tradicional, isto é, sem a execução de contrapiso flutuante. Também se pode concluir que para a laje com um fraco desempenho de isolamento ao ruído de impacto qualquer intervenção no sentido de melhorar seu desempenho é significativa, enquanto em uma laje com um nível de isolamento mais alto, para se obter um ganho significativo é necessário uma intervenção muito maior.

Com base na leitura dos resultados obtidos e traçando um comparativo com os valores estabelecidos pela NBR 15575-3 (2008), conforme a Tabela 1, que determina os requisitos e critérios de desempenho a serem aplicados a edifícios habitacionais de até cinco pavimentos e traça os níveis de desempenho para o ruído de impacto em lajes de entepiso, pode-se concluir que para o desempenho das lajes em osso as tipologias de laje maciça, laje nervurada e a laje pré-moldada treliçada atingem um nível de desempenho intermediário (I), enquanto a laje pré-moldada convencional classifica-se como o nível mais baixo, denominado mínimo (M). Com isso podemos concluir que a tecnologia empregada na construção civil ainda tem que evoluir muito, para que possa proporcionar ao seu usuário mais qualidade e níveis mais elevados de conforto.

Este estudo objetivou traçar um comparativo entre o desempenho acústico de diferentes tipologias de lajes empregadas na construção civil, utilizadas como lajes de entrepisos, medidas em “osso” e *in situ*, relacionando o isolamento sonoro ao ruído de impacto, evidenciando assim a eficiência dos sistemas e permitindo o estabelecimento de uma classificação quanto ao seu desempenho acústico.

5.4 Sugestões para futuros trabalhos de pesquisa

- Estudo do desempenho acústico ao ruído de impacto de diversas tipologias de lajes estruturais com contrapiso flutuante e diferentes acabamentos de revestimentos de pisos.
- Estudo do desempenho acústico ao ruído de impacto de diversas tipologias de lajes estruturais medidas em laboratório, com maior controle das variáveis de contorno, como dimensões, volume, temperatura e umidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACÚSTICA. In: UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA – LABCON. Florianópolis: UFSC, 2006. Disponível em: <http://www.arq.ufsc.br/~labcon/arq5661/trabalhos_2002-2/acustica/index2.htm>

AKKERMAN, S. Pisos flutuantes para redução do nível de ruídos. In: I SIMPÓSIO BRASILEIRO DE METROLOGIA EM ACÚSTICA E VIBRAÇÕES – I SIBRAMA – XVII ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, 6., 1996, Petrópolis. **Anais...** Rio de Janeiro: SOBRAC, 1996. 280p. p. 123 – 126.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – procedimento: NBR 10151.** Rio de Janeiro, 1981.

_____. **Acústica – níveis de ruído para conforto acústico – procedimento: NBR 10152.** Rio de Janeiro, 1987.

_____. **Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho – Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos internos: NBR 15575-3.** Rio de Janeiro, 2008.

BRONDANI, S. **Pisos flutuantes: análise da performance acústica para ruído de impacto.** 1999. 63p. Dissertação (Mestrado em engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1999.

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT. **Acoustique, sciences du batiment.** Reef – Volume II. França: CSTB, 1982. 294p.

CONRAD, L. S. **Estudo comparativo de diversos revestimentos de piso no isolamento de ruído de impacto.** 2002. 130p. Dissertação (Mestrado em engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2002.

DE MARCO, W. C. **Elementos de acústica arquitetônica.** São Paulo: Nobel, 1990. 129p.

DUTRA, C. **Análise teórica e experimental de lajes cogumelo nervuradas e, escala reduzida.** 2005. 194 p. Dissertação (Mestrado em engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

FERNANDES, J. C. UNESP - Faculdade de Engenharia. Departamento de Engenharia Mecânica – Laboratório de Acústica e Vibrações – LAV. Acústica e ruídos. Notas de aula. Bauru, 2002. 95p.

FERRAZ, R. et al. **Análise de atenuação de ruído de impacto em piso de edificações - estudo de caso.** In: IX ENCONTRO NACIONAL E V ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE – ENCAC, 10., 2007, Belo Horizonte. **Anais...** Ouro Preto: ANTAC, 2007. p. 717 – 726.

GERGES, S. N. Y. **Ruído: Fundamentos e Controle.** Florianópolis, 1992. 600 p. INTERNATIONAL STANDART. **Acoustic - Rating of Sound Insulation in Buildings and of Buildings Elements, Part 2: Impact sound insulation.** ISO 717-2. 2nd ed. 1996. 12p.

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

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **Acoustics - Measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part VII: Field measurements of impact sound insulation of floors.** ISO 140/VII, 1978. 5p.

_____. **Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and buildings elements – Part 2: Impact sound insulation.** ISO 717-2. Second Edition. 1996. 12p.

_____. **Measurement of sound absorption in a reverberation room.** ISO 354, 2003. 21p.

JOBIM, M.S.S. **Método de Avaliação do Nível de Satisfação dos Clientes de Imóveis Residenciais.** 1997. 158f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 1997.

MEDEIROS, P. R. S. **Forros em gesso acartonado: Combinações de utilização e desempenho como isolantes acústicos para ruído de impacto.** 2003. 199p. Dissertação (Mestrado em engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

MEISSER, M. **Acústica de los edificios**. Barcelona: Editores Técnicos Asociados, 1973. 248p.

MÉNDEZ, A. M. et al. **Acustica arquitectonica**. 1. ed. Buenos Aires: UMSA, 1994. 238p.

PEDROSO, M. A. T. **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.

PUJOLLE, J. **La pratique de l'isolation acoustique des batiments**. Paris – França: Editions du Moniteur, 1978. 573p.

ROUGERON, C. **Aislamento acústico y térmico em la construccion**. Barcelona: Editores Técnicos Asociados, 1977. 300p.

SANCHO, V. M. **Acustica en arquitectura**. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid (COAM). Madrid, 1982, 215p.

SILVA FILHO, J. J. H. **Análise experimental e numérica de lajes com vigotas pré-moldadas de concreto armado**. 2002. 119 p. Dissertação (Mestrado em engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2002.

SOUZA, L. C. L. de.; ALMEIDA, M. G. de.; BRAGANÇA, L. **Bê-a-bá da acústica arquitetônica: ouvindo a arquitetura**. 1.ed. Bauru, 2003. 150p.

TAMBARA, F. S. **Metodologia de seleção tecnológica: o caso da alvenaria estrutural**. 2006. 143p. Dissertação (Mestrado em engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

BRASIL. **Resolução CONAMA n°307** – Lei n° 8.883. Brasília, Diário Oficial da União, 05/07/2002.

ECO, U. **Como se faz uma tese**. 18 ed. São Paulo: Perspectiva, 2002.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. São Paulo, 1 ed., PW Editores, 1997, 192 p.

PAZ, Giuliana dos Santos. **Estudo da redução do “NPS” através da introdução de absorventes acústicos em ambientes com fachada exposta à poluição sonora externa**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)
- Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

ROBERTS, J. **Noise control in the built environment**. Vermont: Gower Publishing Company, 19__.

SANTA MARIA, Prefeitura Municipal. **“Código de edificações de Santa Maria”**. Lei municipal n° 3941/95, Santa Maria, 1995.

SANTOS, Jorge L.P. **Estudo do Potencial Tecnológico de Materiais Alternativos em Absorção Sonora**. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA. Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa. **Estrutura e apresentação de monografias, dissertações e teses**. 6. ed. Santa Maria, 2005. 63 p.

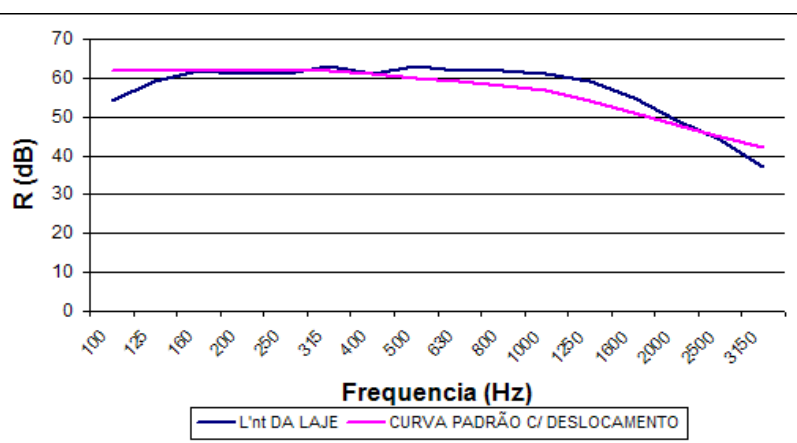
WILSON, C. E. **Noise control: measurement, analysis, and control of sound and vibration**. Malabar, Florida: Krieger Publishing Company, 1994.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Tratamento matemático segundo a ISO 717-2 e gráficos com perfil deslizante

LAJE MACIÇA EM “OSSO”

FREQUENCIA	L'nt DA LAJE
100	54
125	59
160	62
200	61
250	61
315	63
400	61
500	63
630	62
800	62
1000	61
1250	59
1600	55
2000	49
2500	44
3150	37



Incremento = 100

Diferença = 25

L'nt,w =

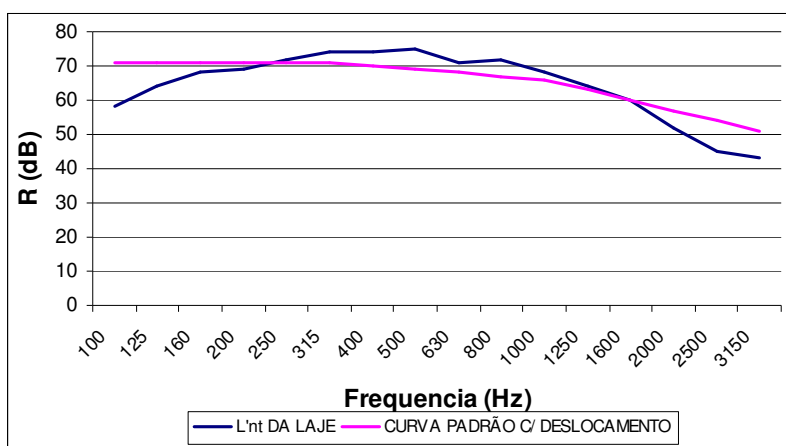
60

Obs.: Diferença Max <ou= 32

LAJE MACIÇA EM “OSSO”

LAJE PRÉ-MOLDADA CONVENCIONAL EM “OSSO”

FREQUENCIA	L'nt DA LAJE
100	58
125	64
160	68
200	69
250	72
315	74
400	74
500	75
630	71
800	72
1000	68
1250	64
1600	60
2000	52
2500	45
3150	43



Incremento = 109

L'nt,w = **69**

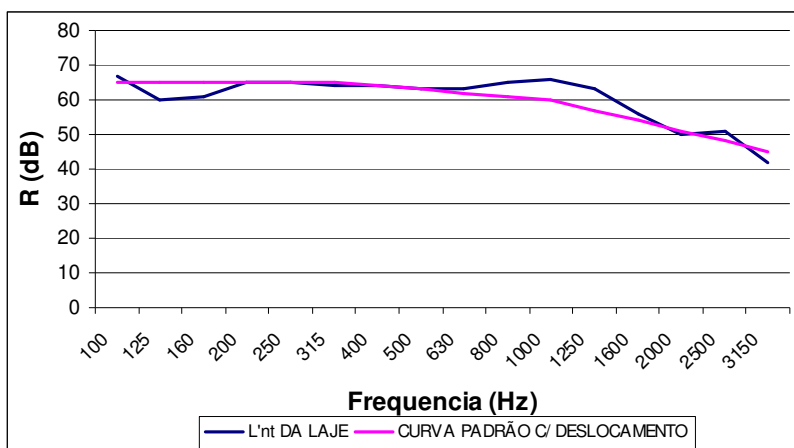
Diferença = 25

Obs.: Diferença Max <ou= 32

**LAJE PRÉ-MOLDADA
CONVENCIONAL “OSSO”**

LAJE PRÉ-MOLDADA TRELIÇADA EM “OSSO”

FREQUENCIA	L'nt DA LAJE
100	67
125	60
160	61
200	65
250	65
315	64
400	64
500	63
630	63
800	65
1000	66
1250	63
1600	56
2000	50
2500	51
3150	42



Incremento = 103

L'nt,w = **63**

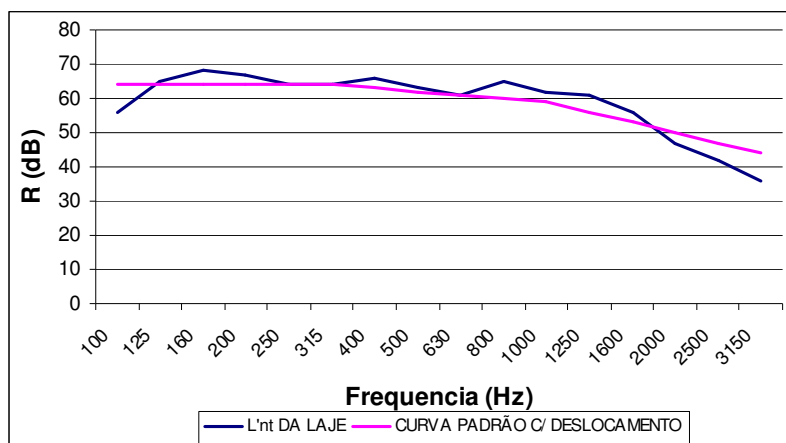
Diferença = 24

Obs.: Diferença Max <ou= 32

**LAJE PRÉ-MOLDADA
TRELIÇADA EM “OSSO”**

LAJE NERVURADA EM “OSSO”

FREQUENCIA	L'nt DA LAJE
100	56
125	65
160	68
200	67
250	64
315	64
400	66
500	63
630	61
800	65
1000	62
1250	61
1600	56
2000	47
2500	42
3150	36



Incremento =

102



Diferença =

28

L'nt,w =

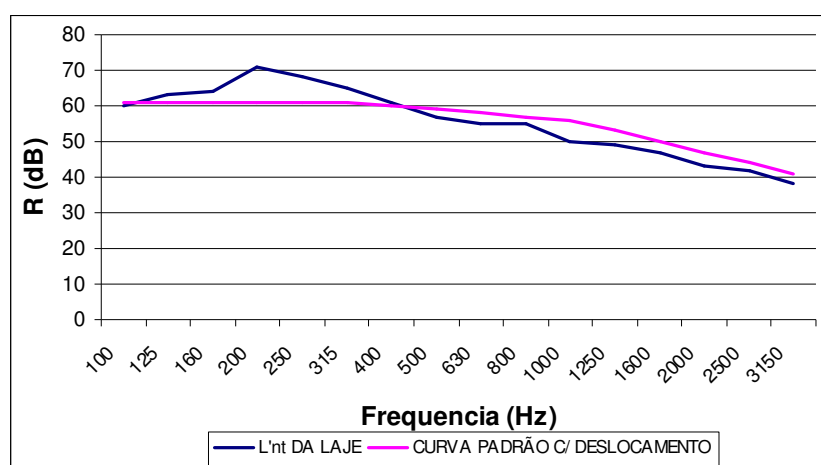
62

Obs.: Diferença Max <ou= 32

LAJE NERVURADA EM “OSSO”

LAJE NERVURADA COM CONTRAPISO DE REGULARIZAÇÃO, PISO LAMINADO DE MADEIRA E FORRO DE GESSO NA SALA RECEPTORA

FREQUENCIA	L'nt DA LAJE
100	60
125	63
160	64
200	71
250	68
315	65
400	61
500	57
630	55
800	55
1000	50
1250	49
1600	47
2000	43
2500	42
3150	38



Incremento

= 99



Diferença

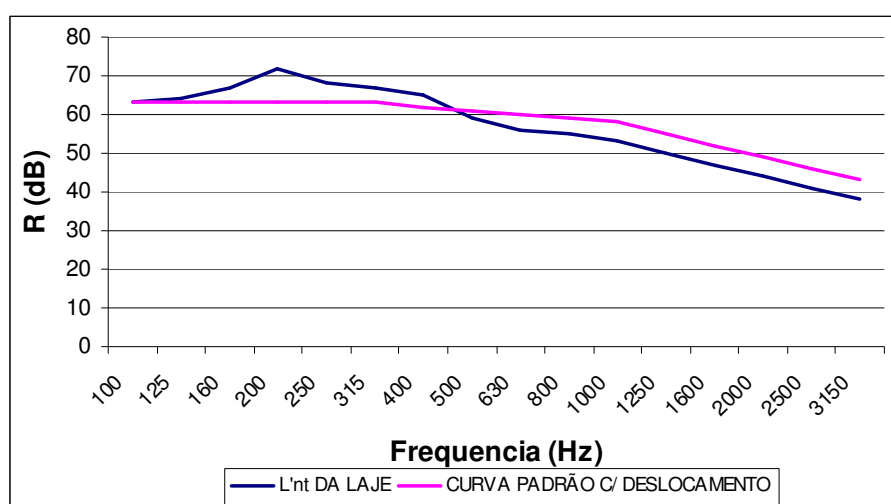
= 27

$L'nt,w = 59$

Obs.: Diferença Max <ou= 32

LAJE PRÉ-MOLDADA CONVENCIONAL COM PISO LAMINADO DE MADEIRA

FREQUENCIA	L'nt DA LAJE
100	63
125	64
160	67
200	72
250	68
315	67
400	65
500	59
630	56
800	55
1000	53
1250	50
1600	47
2000	44
2500	41
3150	38



Incremento

=

101



Diferença

=

26

L'n,w

=

61

Obs.: Diferença Max <ou= 32

APÊNDICE B – Tratamento matemático segundo a ISO 717-2 – Planilhas de cálculo

LAJE MACIÇA EM “OSSO”

FREQUENCIA	CURVA PADRÃO	CURVA PADRÃO C/ DESLOCAMENTO	DIFERENÇA
100	62	62	-8
125	62	62	-3
160	62	62	0
200	62	62	-1
250	62	62	-1
315	62	62	1
400	61	61	0
500	60	60	3
630	59	59	3
800	58	58	4
1000	57	57	4
1250	54	54	5
1600	51	51	4
2000	48	48	1
2500	45	45	-1
3150	42	42	-5
INCREMENTO=		100	SOMA DOS POSITIVOS= 25
			MÁXIMO POSITIVO= 5
L'nt,w =		60	

LAJE PRÉ-MOLDADA CONVENCIONAL EM “OSSO”

FREQUENCIA	CURVA PADRÃO	CURVA PADRÃO C/ DESLOCAMENTO	DIFERENÇA
100	62	71	-13
125	62	71	-7
160	62	71	-3
200	62	71	-2
250	62	71	1
315	62	71	3
400	61	70	4
500	60	69	6
630	59	68	3
800	58	67	5
1000	57	66	2
1250	54	63	1
1600	51	60	0
2000	48	57	-5
2500	45	54	-9
3150	42	51	-8
INCREMENTO=		109	SOMA DOS POSITIVOS= 25
			MÁXIMO POSITIVO= 6
L'nt,w =		69	

LAJE PRÉ-MOLDADA TRELIÇADA EM “OSSO”

FREQUENCIA	CURVA PADRÃO	CURVA PADRÃO C/ DESLOCAMENTO	DIFERENÇA
100	62	65	2
125	62	65	-5
160	62	65	-4
200	62	65	0
250	62	65	0
315	62	65	-1
400	61	64	0
500	60	63	0
630	59	62	1
800	58	61	4
1000	57	60	6
1250	54	57	6
1600	51	54	2
2000	48	51	-1
2500	45	48	3
3150	42	45	-3
INCREMENTO=	103	SOMA DOS POSITIVOS=	24
		MÁXIMO POSITIVO=	6
L'nt,w =	63		

LAJE NERVURADA EM “OSSO”

FREQUENCIA	CURVA PADRÃO	CURVA PADRÃO C/ DESLOCAMENTO	DIFERENÇA
100	62	64	-8
125	62	64	1
160	62	64	4
200	62	64	3
250	62	64	0
315	62	64	0
400	61	63	3
500	60	62	1
630	59	61	0
800	58	60	5
1000	57	59	3
1250	54	56	5
1600	51	53	3
2000	48	50	-3
2500	45	47	-5
3150	42	44	-8
INCREMENTO=	102	SOMA DOS POSITIVOS=	28
		MÁXIMO POSITIVO=	5
L'nt,w =	62		

**LAJE NERVURADA COM CONTRAPISO DE REGULARIZAÇÃO, PISO
LAMINADO DE MADEIRA E FORRO DE GESSO NA SALA RECEPTORA**

FREQUENCIA	CURVA PADRÃO	CURVA PADRÃO C/ DESLOCAMENTO	DIFERENÇA
100	62	61	-1
125	62	61	2
160	62	61	3
200	62	61	10
250	62	61	7
315	62	61	4
400	61	60	1
500	60	59	-2
630	59	58	-3
800	58	57	-2
1000	57	56	-6
1250	54	53	-4
1600	51	50	-3
2000	48	47	-4
2500	45	44	-2
3150	42	41	-3
INCREMENTO=	99	SOMA DOS POSITIVOS=	27
		MÁXIMO POSITIVO=	10
Rw=	59		

LAJE PRÉ-MOLDADA CONVENCIONAL COM PISO LAMINADO DE MADEIRA

FREQUENCIA	CURVA PADRÃO	CURVA PADRÃO C/ DESLOCAMENTO	DIFERENÇA
100	62	63	0
125	62	63	1
160	62	63	4
200	62	63	9
250	62	63	5
315	62	63	4
400	61	62	3
500	60	61	-2
630	59	60	-4
800	58	59	-4
1000	57	58	-5
1250	54	55	-5
1600	51	52	-5
2000	48	49	-5
2500	45	46	-5
3150	42	43	-5
INCREMENTO=	101	SOMA DOS POSITIVOS=	26
		MÁXIMO POSITIVO=	9
Rw=	61		