

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

MARCELO PALHARINI

**ESTUDO PRELIMINAR SOBRE: TRANSMISSÃO DE RUÍDOS DE
IMPACTO EM LAJES PRÉ-MOLDADAS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO

2014

MARCELO PALHARINI

**ESTUDO PRELIMINAR SOBRE: TRANSMISSÃO DE RUÍDOS DE
IMPACTO EM LAJES PRÉ-MOLDADAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, da Coordenação do Curso de Engenharia Civil - COECI - da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Msc. Luiz Becher

CAMPO MOURÃO

2014



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Campo Mourão
Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Coordenação de Engenharia Civil



TERMO DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso N°

**ESTUDO PRELIMINAR SOBRE: TRANSMISSÃO DE RUÍDOS DE IMPACTO EM
LAJES PRÉ-MOLDADAS**

por

Marcelo Palharini

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 16h00 do dia 19 de Fevereiro de 2014, como requisito parcial para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL, pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho Aprovado.

Prof. Dr. Leandro Waidemam

(UTFPR)

Prof. Dr. Marcelo Rodrigo Carreira

(UTFPR)

Prof. Msc. Luiz Becher

(UTFPR)

Orientador

Responsável pelo TCC: **Prof. Msc. Valdomiro Lubachevski Kurta**

Coordenador do Curso de Engenharia Civil: **Prof. Dr. Marcelo Guelbert**

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

Ao meu pai, Reovaldo Palharini, um homem honrado que
agora vê o seu sonho realizado na vida de um filho.

AGRADECIMENTOS

Dizem que a gratidão tem memória curta, por isso tento exteriorizá-la em palavras antes que ela se vá e não deixe o devido reconhecimento a pessoas tão fundamentais nesse período da minha vida.

Primeiramente agradeço a Deus, não como uma obrigatoriedade Cristã, mas sim como um verdadeiro agradecimento a um Deus presente que me ensinou que a dificuldade produz perseverança, a perseverança, um caráter aprovado, e o caráter aprovado, esperança. E a esperança não me decepcionou.

Aos meu pais, Reovaldo e Marta Palharini, pelo investimento e incentivo incondicional na minha vida, pelo carinho e amor que sempre demonstraram de maneira tão simples porém verdadeira. Vocês me são inspiração de vida.

Ao meu irmão Cleber Palharini e aos amigos que se fazem como irmãos e me auxiliaram de tantas formas na conclusão desse curso: Alisson Glatz, Bruno Ciola, Consuelo Luiza, Douglas Marinho, Elton Tada, Lucas Vaz, Luiz Alfredo, e a todos os amigos do curso de Engenharia Civil que me deixaram boas lembranças e muitas saudades.

Ao meu orientador, amigo, professor Luiz Becher, pelo apoio e dedicação dispensada no auxílio a concretização deste trabalho e a todos os professores do curso de Engenharia Civil pelos ensinamentos e paciência durante todos esses anos contribuindo para minha formação pessoal e profissional.

Agradeço também ao Curso de Engenharia Civil da UTFPR de Campo Mourão e a todas as pessoas que convivi no espaço acadêmico ao longo desses anos. A todos meu muito obrigado.

"O que as pessoas mais desejam é alguém que as escute de maneira calma e tranqüila. Em silêncio. Sem dar conselhos. Sem que digam: "Se eu fosse você". A gente ama não é a pessoa que fala bonito. É a pessoa que escuta bonito. A fala só é bonita quando ela nasce de uma longa e silenciosa escuta. É na escuta que o amor começa. E é na não-escuta que ele termina. Não aprendi isso nos livros. Aprendi prestando atenção." (RUBEM ALVES).

RESUMO

PALHARINI, Marcelo. Estudo preliminar sobre: transmissão de ruídos de impacto em lajes pré-moldadas. 2014. 39 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2014.

O presente trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho acústico de lajes pré-moldadas, constituídas com diferentes materiais de enchimento, quando submetidas a impacto. Os materiais de enchimento usados nesta pesquisa são: EPS (Poliestireno Expandido), Lajota Cerâmica e Concreto Celular. Para a análise foram montadas três lajes de dimensões reduzidas, as quais foram submetidas a impactos que geraram ruídos, possibilitando a análise dos dados coletados através do medidor de ruído. Constatou-se que apesar das diferenças dos materiais testados, as variações entre os níveis de decibéis não são tão significativas, sendo que os materiais apresentam um desempenho final semelhante.

Palavras-chave: Acústica dos Materiais. Lajes pré-moldadas. Ruídos nas habitações.

ABSTRACT

PALHARINI, Marcelo. Preliminary study: transmission of impact noise in precast slabs. 2014. 39 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2014.

This study aims to evaluate the acoustic performance of precast slabs, made with different filling materials when subjected to impact. Filling materials used in this research are: EPS (Expanded Polystyrene), Ceramic tile and Cellular Concrete. For the analysis, three slabs of reduced dimensions were assembled, and then subjected to impacts that generated noise, enabling the analysis of data collected through the noise meter. It was found that despite the differences of the materials tested, the variation of the decibel levels is not as significant, and that the materials have a similar and performance.

Key-words: Acoustic Materials. Precast slab. Noise in dwellings.

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - DESEMPENHO ACÚSTICO DOS MATERIAIS	18
TABELA 2 - RESULTADOS ENSAIO ACÚSTICO COMPARATIVO.....	32

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - CARACTERÍSTICA DOS MATERIAIS	19
---	----

LISTA DE FIGURAS E GRÁFICOS

FIGURA 1 - ESQUEMA DE PISO FLUTUANTE	17
FIGURA 2 - EPS	20
FIGURA 3 - LAJOTA CERÂMICA	21
FIGURA 4 - CONCRETO CELULAR	22
FIGURA 5 - MÁQUINA DE IMPACTO	25
FIGURA 6 - DOSÍMETRO PESSOAL DE RUÍDO MODELO DOS-500.....	26
FIGURA 7 - MONTAGEM DA LAJE COM EPS (POLIESTIRENO EXPANDIDO).....	27
FIGURA 8 - MONTAGEM DA LAJE COM LAJOTA CERÂMICA	27
FIGURA 9 - MONTAGEM DA LAJE COM CONCRETO CELULAR	28
FIGURA 10 - LAJES ACABADAS.....	28
FIGURA 11 - LAJE ACABADA COM ALÇAS PARA MANEJO	29
FIGURA 12 - LAJES APOIADAS.....	30
FIGURA 13 - MÁQUINA DE RUÍDO DE IMPACTO	30
FIGURA 14 - CAIXA DE EPS (POLIESTIRENO EXPANDIDO)	31
GRÁFICO 15 - DESEMPENHO CONCRETO CELULAR.....	32
GRÁFICO 16 - DESEMPENHO LAJOTA CERÂMICA.....	33
GRÁFICO 17 - DESEMPENHO EPS (POLIESTIRENO EXPANDIDO)	33
GRÁFICO 18 - DESEMPENHO MATERIAIS 80 HZ	34
GRÁFICO 19 - DESEMPENHO MATERIAIS 115 HZ	34
GRÁFICO 20 - DESEMPENHO FINAL DOS MATERIAIS.....	35

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
bpm	Batidas Por Minuto
dB	Decibel
EPS	Poliestireno Expandido
Hz	Hertz
ISO	International Organization for Standardization
Ln	Nível de pressão sonora de impacto normalizado
L'n,w	Nível de pressão sonora de impacto normalizado ponderado
$\Delta L'n,w$	Diferença entre níveis de pressão sonora de impacto normalizado ponderado
NPS	Nível de Pressão Sonora
Pa	Pascal
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	14
2.1 OBJETIVO GERAL	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3 JUSTIFICATIVAS	15
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
4.1 RUÍDOS EM HABITAÇÕES	16
4.1.1 PISO FLUTUANTE	17
4.2 DESEMPENHO ACÚSTICO DOS MATERIAIS	18
4.2.1 MATERIAIS DE ENCHIMENTO	19
4.2.1.1 POLIESTIRENO EXPANDIDO	19
4.2.1.2 LAJOTA CERÂMICA	21
4.2.1.3 CONCRETO CELULAR	21
5 MATERIAIS E MÉTODOS	24
6 ANÁLISE EXPERIMENTAL	25
6.1 PREPARAÇÕES DA INSTRUMENTAÇÃO NECESSÁRIA	25
6.2 CONSTRUÇÕES DAS LAJES	26
6.3 MEDIÇÕES DO DESEMPENHO ACÚSTICO AO RUÍDO DE IMPACTO EM CADA CONFIGURAÇÃO DE LAJE	30
6.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS	31
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	36
8 REFERÊNCIAS	37

1 INTRODUÇÃO

O conforto é um dos principais fatores que influenciam o valor de um imóvel, podendo interferir tanto na satisfação de quem o habita quanto em seu possível valor no mercado imobiliário. Além de uma adequação estética e materiais de qualidade que proporcionem a sensação de segurança, o conforto térmico e acústico são fundamentais para o usuário sentir-se satisfeito.

Apesar da tecnologia dos materiais de construção estar avançando de maneira relativamente rápida, é importante fortalecer a discussão sobre melhorias para resolver os problemas de ruídos em lajes. É comum encontrar reclamações com pessoas insatisfeitas com os suas habitações por conta de ruídos de impacto no piso (deslocamento de pessoas, queda de objetos, etc), ou ruído aéreo (conversa, TV, etc) provenientes dos ambientes vizinhos ou de áreas comuns.

Os ruídos são transmitidos através de vibrações, Rui e Steffani (2006, p. 3) destacam que toda vibração gera um som no meio pelo qual se propaga, assim a intensidade do som vai depender de alguns fatores como: composição dos materiais, espessura da laje, entre outros.

Tendo em vista o problema supracitado, pretende-se estudar os materiais utilizados nas lajes, buscando assim entender quais deles podem evitar que transtornos ocasionais sejam causados. Por meio de ensaios de ruído de impacto, serão feitas avaliações de aceitabilidade do ruído em lajes, com medições do nível de pressão sonora em decibéis.

O trabalho irá analisar o desempenho acústico de lajes compostas com enchimentos de diferentes tipos de materiais.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar quais composições de lajes pré-moldadas apresentam melhor desempenho acústico a partir de estudo experimental comparativo.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudar o comportamento acústico de lajes produzidas com diferentes tipos de materiais (EPS, Lajota Cerâmica, Concreto Celular).
- Analisar a transmissão de sons nas lajes considerando os diferentes tipos de materiais utilizados, através do método comparativo.
- Avaliar dentre os diferentes resultados obtidos quais materiais apresentam menor transmissão de ruído de impacto.

3 JUSTIFICATIVAS

O condicionamento acústico das edificações deve ser pensado desde as fases de projeto, pois tal ato pode evitar transtornos maiores e investimentos futuros em soluções paliativas. Leão (1994, p. 14), afirmava que, “a proteção máxima contra o ruído, em favor dos espaços habitáveis, deverá ser um dos principais empenhos dos projetistas dos nossos dias”. Isso demonstra o quanto o assunto urge e como as alternativas até hoje empregadas não responderam à demanda de maneira final.

Para que não haja equívocos desnecessários sobre o intento e abrangência da presente pesquisa deve-se afirmar que o ruído aqui mencionado é aquele com uma conotação negativa, ou seja, indesejado. As informações sobre os ruídos nas edificações são muito importantes para o melhor conhecimento do problema, gerando mais discussões sobre o assunto e visando melhorias.

Apesar de existirem vários trabalhos sobre o tema em outros países, cabe ressaltar que os sistemas construtivos nacionais têm suas peculiaridades e, na maioria das vezes, grande parte dos dados publicados sobre o assunto no âmbito internacional, não se aplicam aos nossos sistemas construtivos (TADEU et al. 2007 apud FERRAZ, 2008, p.16).

Este trabalho consiste em avaliar o desempenho de transmissão de ruídos acústicos de lajes constituídas com três tipos de enchimento: EPS, Lajota Cerâmica e Concreto Celular. Além disso, o mesmo busca estar em conformidade* com as normas ABNT NBR 10151 Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento, ABNT NBR 02:136.01.003 Desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Parte 3: Pisos internos.

* Apesar de buscar conformidade com as normas da ABNT, o presente trabalho não tem intenção de observá-las em sua completude por limitações técnicas da pesquisa.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 RUÍDOS EM HABITAÇÕES

Ainda não existem construções conhecidas que anulem totalmente os ruídos em edificações, pois qualquer tipo de vibração produz ruídos. Mas as situações são agravadas por falta de planejamento inicial, negligência gerencial, desconhecimento técnico das causas ou dificuldade financeira para as soluções. De acordo com Jankovitz (2011), quando se associam os três elementos do ambiente: calor, iluminação e ruído, a concepção do edifício exige conhecimentos técnicos criteriosos muitas vezes não disponíveis pela contratada do empreendimento. As principais queixas são: barulho da casa de máquinas dos elevadores, ruído das instalações hidráulicas, ruídos vizinhos, ruído proveniente da rua, etc. Não se deve deixar de notar que:

Embora os ruídos reinantes nos escritórios e nas habitações sejam de um nível bastante baixo para causar uma perda de acuidade auditiva, podem ser, contudo, bastante incômodos, se perturbarem o trabalho ou o repouso (MARCO, 1990, p. 55).

A constante reclamação relacionada aos ruídos é um problema que não é comum em todos os países, e está diretamente ligado ao sistema construtivo brasileiro. Ackerman (2010) afirma que nos países de clima mais frio, como no hemisfério norte não se nota facilmente queixas de ruídos, porque o problema com a temperatura é algo mais importante. As construções são projetadas para resistir a temperaturas baixíssimas, o que leva a uma espessura maior das paredes, tendo um bom isolamento acústico por consequência da proteção térmica. No Brasil, tradicionalmente usam-se venezianas e fachadas leves, que produzem uma vibração maior, gerando conseqüentemente ruídos maiores e mais constantes.

Com a evolução do mercado de construção civil, novas técnicas têm sido criadas para atingir maior resistência e gerar menor consumo de materiais. Entretanto, as construtoras se furtam de olhar para todos os fatores. Oliveira (2006) afirma que:

"É uma questão de lajes muito delgadas, pois o cálculo das estruturas mudou. Hoje se vence vãos maiores com espessuras menores, usando novas tecnologias. Só que, aliado a isso, o

mercado deveria ter buscado o piso flutuante, ou outros métodos que reequilibrassem a permeabilidade do ruído (p.23)."

4.1.1 Piso Flutuante

Dentre as formas utilizadas para atenuação dos ruídos em lajes, a mais indicada atualmente é a de pisos flutuante. Ferraz (2008) analisou em seu trabalho diversas configurações de pisos flutuantes de acordo com recomendações da ISO 140-7, alternando materiais no contrapiso, no acabamento do piso e nos materiais resilientes para isolar o ruído de impacto. Os resultados foram satisfatórios, mas essa é uma característica de construções de alto nível, pois na maioria das vezes as construtoras não estão dispostas a investir acusticamente, por diminuir consideravelmente os lucros de comercialização. De acordo com Ackerman (2010):

"Para apartamentos de R\$ 300 mil, não poderá haver muitas exigências acústicas. É uma luta dos preços, entre o tipo de consumidor a quem se destina a obra, e o lucro da construtora. Ninguém tem uma construtora para não ganhar dinheiro - e ainda é preciso pagar empregados, pedreiros, impostos, materiais. Todos esses fatores são limitantes."

O piso flutuante tem por objetivo isolar a estrutura do edifício das vibrações geradas pelo impacto, empregando um material elástico entre a estrutura e o contrapiso da construção.

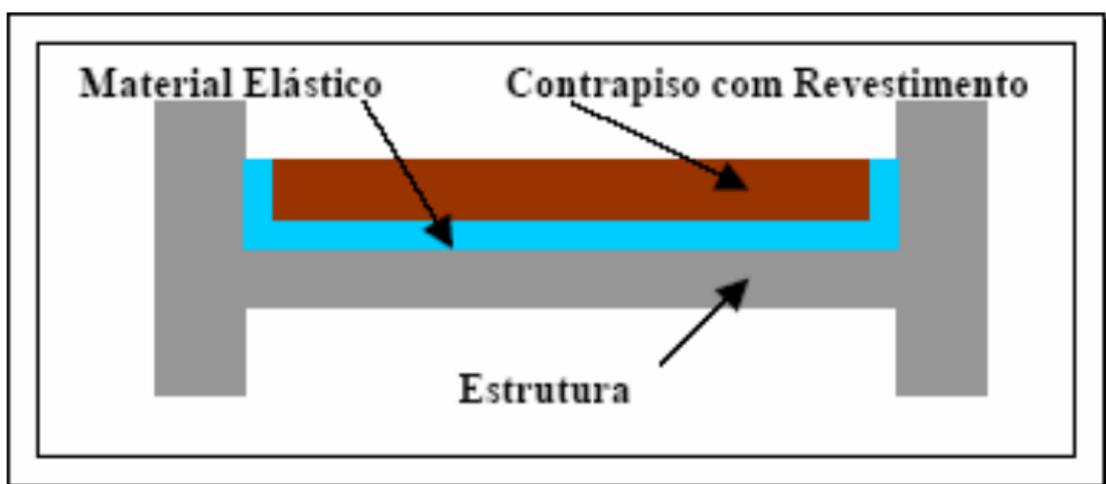


Figura 1 - Esquema de Piso Flutuante
Fonte: Pedroso (2007) apud Hax (2002, P. 25)

Na tabela abaixo pode-se notar como as diversas composições de piso flutuante são boas opções para a construção civil partindo do componente acústico. Observa-se que todos os materiais utilizados no tratamento tiveram reduções nos níveis de decibéis, tendo como referência a laje de entre-piso com e sem revestimento.

Tabela 1 - Desempenho Acústico dos Materiais

Amostra	Composição	L'n,w
1	Laje de entre-piso sem revestimento (referência)	78 dB
2	Laje de entre-piso+porcelanato	73 dB
3	Laje de entre-piso+lã-de-vidro+porcelanato	50 dB
4	Laje de entre-piso+ruberflex+porcelanato	62 dB
5	Laje de entre-piso+desinflex+porcelanato	65 dB
6	Laje de entre-piso+isopor VI+porcelanato	62 dB
7	Laje de entre-piso+isopor VII+porcelanato	64 dB
8	Laje de entre-piso+polietileno+porcelanato	65 dB

Fonte: Pedroso (2007, P. 69)

4.2 DESEMPENHO ACÚSTICO DOS MATERIAIS

O material escolhido para a construção contribui para que o conforto acústico seja alcançado. Entende-se *a priori* que quanto maior a densidade do material, mais cara será a obra e mais satisfatório será o seu desempenho no que se refere a transmissão de som.

Dentre as opções de revestimento acústico em lajes, encontra-se: Lã de vidro, manta de borracha, poliestireno expandido, manta de espuma polietileno.

Ferraz (2008) afirma que o sistema laje + Lã de vidro apresenta o melhor desempenho em todas as frequências, bem como o maior custo para a obra. Os outros materiais também apresentam resultados semelhantemente satisfatórios, e alguns deles acabam gerando uma demanda de custos mais amena.

Pedroso (2007) afirma também que o melhor desempenho em todas as frequências é do sistema montado com lã de vidro, em todos os outros materiais, com a variação da frequência, ocorre um decréscimo de desempenho. Ao se tratar de uma obra de prazo indefinido de duração e utilização, esse elemento não deve deixar de ser considerado, e lidar com o mesmo de maneira meticulosa representa

seriedade e responsabilidade não apenas com o desenvolvimento do próprio projeto da obra, mas também com o bem-estar dos clientes que usufruirão da mesma.

Os diversos tipos de materiais possuem características específicas, podendo isolar o ruído, isolar o ambiente, produzir uma reverberação excessiva ou combinar algumas características como isolar o ambiente e também evitar o eco. Tais características podem ser visualizadas no quadro a seguir:

Tipos	Ação	Exemplos
Isolantes	Impedem a passagem de ruído de um ambiente para outro.	Tijolo maciço, pedra lisa, gesso, madeira e vidro com espessura mínima de 6mm. Um colchão de ar é uma solução isolante, com paredes duplas e um espaço vazio entre elas (quanto mais espaço, mais capacidade isolante).
Refletores	Podem ser isolantes, e aumentam a reverberação interna do som.	Azulejos, cerâmica, massa corrida, madeira, papel de parede (em geral, materiais lisos).
Absorventes	Não deixam o som passar de um ambiente para o outro e evitam eco.	Materiais porosos como lã ou fibra de vidro revestidos, manta de poliuretano (dispensa revestimentos), forrações com cortiça, carpetes grossos e cortinas pesadas.
Difusores	Refletem o som de forma difusa, sem ressonâncias.	Em geral, são materiais refletores sobre superfícies irregulares (pedras ou lambris de madeira).
Obs.: é possível combinar recursos diferentes, dependendo das necessidades de isolamento acústico. Em salas contíguas, por exemplo, com diferentes fontes de ruído, é possível revestir a face interna da parede com material absorvente e a externa, com material isolante.		

Quadro 1 - Característica dos Materiais
Fonte: Revista Arquitetura & Construção (1993).

4.2.1 Materiais de Enchimento

Esse item apresenta algumas definições e características dos materiais que foram testados. Três materiais foram utilizados como enchimento de laje, sendo esses o EPS, a Lajota Cerâmica e o Concreto Celular. Vale lembrar que nenhum dos três materiais é utilizado atualmente para o tratamento acústico em lajes. Esses enchimentos são comuns na construção civil, e foram testados com o intuito de comparar o desempenho dos mesmo em relação aos ruídos de impacto.

4.2.1.1 Poliestireno expandido



Figura 2 - EPS
Fonte: Arte Laje (2013)

O poliestireno expandido usualmente denominado EPS é um material comumente utilizado na construção civil para o enchimento de lajes. Algumas de suas características básicas são aqui apresentadas:

Por meio do processo de polimerização do estireno em água, juntamente com a adição de um elemento expansivo, usualmente o pentano, ele sofre mudanças que o transformam em poliestireno expandido. Após a expansão, ele se denomina uma espuma termoplástica, que é classificada como material rígido e tenaz. É essencialmente de cor branca, inodoro, reciclável, não poluente e certamente é um material de excelente qualidade nas temperaturas de -70°C a 80°C (SANTOS, 2013, p.114)

A formação do EPS é decorrente de uma reação química, formando assim o poliestireno expandido.

Uma de suas características mais importante para a construção civil é a leveza.

O EPS apresenta bom comportamento em uma gama de temperaturas bastante ampla. Isso se deve ao conhecido comportamento termodinâmico do material. Possui um peso específico de (09 a 40 Kg/m^3), tem característica de absorver o som por sua porosidade, e por ser leve você reduz o peso da construção e conseqüentemente reduz os custos da estrutura.

4.2.1.2 Lajota cerâmica



Figura 3 - Lajota Cerâmica
Fonte: Arte Laje (2013)

O segundo material a ser apresentado é a lajota cerâmica.

A produção de lajota cerâmica no Brasil é normatizada pela Associação Brasileira de Cerâmica. Essa associação engloba toda a produção de materiais cerâmicos para construção civil, sendo a lajota cerâmica apenas um de seus produtos.

A lajota cerâmica é um produto derivado da argila, e que é grandemente utilizado para o enchimento de lajes. Esse material possui bom comportamento acústico e térmico, além de ser conveniente por ser produzido em larga escala e de possuir valor de mercado acessível.

Possui peso específico de aproximadamente (1800 a 2000 Kg/m³). Por ser um material com maior densidade contribui para reter a transmissão de ruído tendo característica de material refletor.

4.2.1.3 Concreto celular



Figura 4 - Concreto Celular
Fonte: Celucon (2013)

O terceiro material a ser apresentado é o concreto celular. O concreto celular é uma argamassa com o aditivo incorporador de ar, aumentando sua leveza e melhorando suas condições térmicas e acústicas.

Trata-se de concreto, sem função estrutural, que consiste de argamassa de cimento Portland com incorporação de minúsculas bolhas de ar pelo uso de aditivo expensor polimérico, proporcionando bom isolamento térmico. É utilizado para fechamento de vão de alvenaria com utilização de blocos pré-moldados ou confeccionados in loco. Também pode ser indicado para: lajes de cobertura, terraços, enchimentos de pisos, rebaixamento de lajes, etc. (CARDOSO, 2010, p.17).

A principal característica do concreto celular é sua porosidade , que diminui sua densidade e aumenta a absorção dos ruídos de impacto:

O concreto celular possui massa específica aparente variando de 500 kg/m^3 a 1800 kg/m^3 , sendo que o concreto convencional possui massa específica, varia entre 2.000 a 2800 kg/m^3 , segundo NBR 12,646/1992. Portanto, para torná-lo com baixa densidade é adicionado aditivo expensor que promovem a introdução de microbolhas de ar na mistura fresca (CARDOSO, 2010, p.17).

Como consequência da utilização do concreto celular no enchimento de lajes, pode-se apresentar primeiramente a diminuição da densidade quando comparada ao concreto comum. Além disso, a leveza do material proporciona benefícios estruturais para a construção na qual o mesmo é utilizado.

As bolhas de ar que caracterizam o concreto celular são essenciais para seu comportamento acústico, sendo uma opção constantemente eleita nas obras atuais de construção civil.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são apresentadas as características dos materiais utilizados, e os procedimentos para análise de ruídos de impacto.

Um método alternativo foi utilizado para análise, avaliando os três materiais por comparações de níveis de decibéis.

A máquina de ruído de impacto foi posicionada sobre a laje e as medições em cada material foram feitas em duas velocidades respectivamente: 80 Hz e 115 Hz . Para cada análise foram provocados impactos na laje durante cinco minutos, sendo analisados minuto a minuto através da média dos valores alcançados.

As medições foram realizadas em uma caixa de EPS isolada colocada sob a laje para evitar ruídos externos. Antes da realização dos ensaios foram medidos os níveis de ruídos aéreos provenientes da máquina de impacto, ficando constatado que os ruídos não eram detectados pelo dosímetro e não interferiria no resultado final do ensaio.

A análise em questão é de caráter comparativo, assim sendo foram desconsiderados a reverberação do ambiente admitindo que o mesmo é igual nos três casos.

Foram realizadas medições em três lajes de (1metro x 1metro), com três materiais de enchimento distintos. As lajes apresentam uma espessura de 12,0 cm, com altura das vigotas treliçadas de 8,0 cm, com 4,0 cm de capa de concreto. A distância entre os eixos das vigotas são de 42,00 cm, 30,00 cm do material de enchimento e 12,00 cm da base da vigota. O concreto utilizado tem como resistência a compressão aproximadamente 25 Mpa, conforme dados internos da empresa onde foi realizado o ensaio.

Os equipamentos utilizados para realização dos ensaios foram: Máquina de Ruído de Impacto - Fabricado e adaptado exclusivamente para este trabalho de análise comparativa; Medidor de Ruído (Dosímetro Pessoal de Ruído com RS-232 e Datalogger Modelo DOS-500).

Para que o procedimento seja desenvolvido com o rigor científico que lhe é desejável é necessário que os passos sejam demonstrados de maneira bastante objetiva.

6 ANÁLISE EXPERIMENTAL

6.1 PREPARAÇÕES DA INSTRUMENTAÇÃO NECESSÁRIA

Instrumentos utilizados nos ensaios:

Para proporcionar o ruído desejado foi construído uma máquina de ruído de impacto.

Especificações:

- Fabricado em aço 1020;
- 2 Martelos de 0,5 Kg cada;
- Motor de 12 Volts com duas velocidades, proporcionando 80 Hz e 115 Hz.

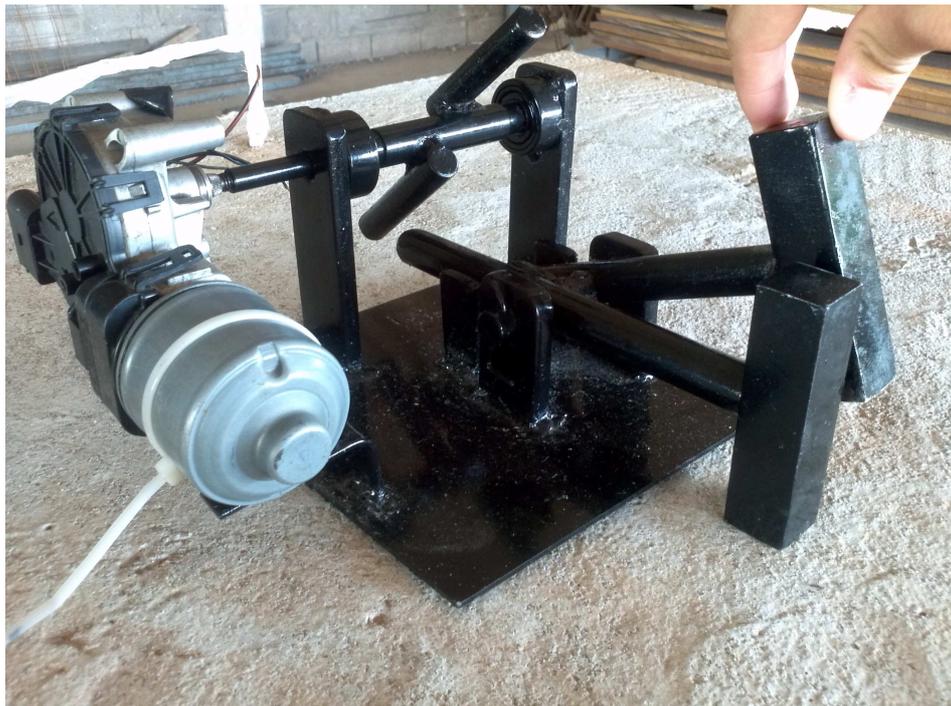


Figura 5 - Máquina de Impacto
Fonte: Aatoria Própria (2013)

A captação do ruído foi feita através de um Medidor de Ruído Dosímetro DOS-500, com resolução de 0,1 dB.



Figura 6 - Dosímetro Pessoal de Ruído Modelo DOS-500
Fonte: Autoria Própria (2013)

6.2 CONSTRUÇÕES DAS LAJES

Para atender as necessidades de análise foram confeccionadas três lajes com dimensões de 1,0m x 1,0m e espessura de 12,0 cm acabada, sendo 4,0 cm de capa de concreto e 8,0 cm de altura da vigota, como podemos observar nas imagens abaixo:

Laje 1: Pré-Moldada com enchimento de EPS (poliestireno expandido);



Figura 7 - Montagem da Laje com EPS (Poliestireno Expandido)
Fonte: Autoria Própria (2013)

Laje 2: Pré-Moldada com enchimento de lajota cerâmica;



Figura 8 - Montagem da Laje com Lajota Cerâmica
Fonte: Autoria Própria (2013)

Laje 3: Pré-Moldada com enchimento de concreto celular;



Figura 9 - Montagem da Laje com Concreto Celular
Fonte: Autoria Própria (2013)



Figura 10 - Lajes Acabadas
Fonte: Autoria Própria (2013)

Para facilitar o manejo as Lajes foram equipadas com quatro alças de aço de construção diâmetro 5.0mm.



Figura 11 - Laje Acabada com Alças para Manejo
Fonte: Autoria Própria (2013)

6.3 MEDIÇÕES DO DESEMPENHO ACÚSTICO AO RUÍDO DE IMPACTO EM CADA CONFIGURAÇÃO DE LAJE

As lajes foram apoiadas sobre dois cavaletes metálicos. Os cavaletes foram separados por uma peça de isopor para absorção do impacto junto ao metal.



Figura 12 - Lajes Apoiadas
Fonte: Autoria Própria (2013)

A máquina foi posicionada no centro das lajes para propagação do ruído;



Figura 13 - Máquina de Ruído de Impacto

A medição feita sob a laje em uma caixa de EPS para isolamento de ruídos externos indesejados. O microfone foi fixado em uma peça de isopor para captação.



Figura 14 - Caixa de EPS (Poliestireno Expandido)
Fonte: Autoria Própria (2013)

As medições de ruído foram feitas em apenas uma posição, devido ao tamanho reduzido das lajes. O mesmo ensaio não necessariamente reflete o desempenho dos materiais em uma laje de uma edificação normal, tendo em vista vários fatores como: vibração através das paredes e o tamanho do vão livre.

Como já mencionado a análise é de caráter comparativo, observando como os materiais se comportam através de situações semelhantes para os três casos.

6.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

Este item apresenta a análise dos resultados obtidos através dos ruídos gerados nas lajes.

É válido lembrar que, como se trata de um estudo experimental comparativo, os resultados estão condicionados a variável e aspectos que podem divergir dos aspectos teóricos.

Segue tabela com os resultados experimentais:

Tabela 2 - Resultados Ensaio Acústico Comparativo

ENSAIO DE RUÍDO DE IMPACTO EM LAJES						
Minutos	Lajota Cerâmica		Concreto Celular		EPS	
	Frequência		Frequência		Frequência	
	(80 Hz)	(115 Hz)	(80 Hz)	(115 Hz)	(80 Hz)	(115 Hz)
1	86,2	85,9	84,35	88,2	83,9	88,1
2	85,95	87,3	89,35	90,6	85,8	92,4
3	86,95	89,7	87,2	92,05	88,6	91,0
4	84,5	91,85	86,55	91,55	89,9	91,9
5	85,35	92,0	86,45	91,25	89,9	91,9
Média	85,79	89,35	86,78	90,73	87,62	91,06

RESULTADOS EM DECIBÉIS (dB)

A partir dos dados apresentados na tabela deve-se fazer a análise comparativa. Em primeiro lugar deve-se comparar o desempenho do mesmo material em relação às frequências de 80 Hz e 115 Hz.

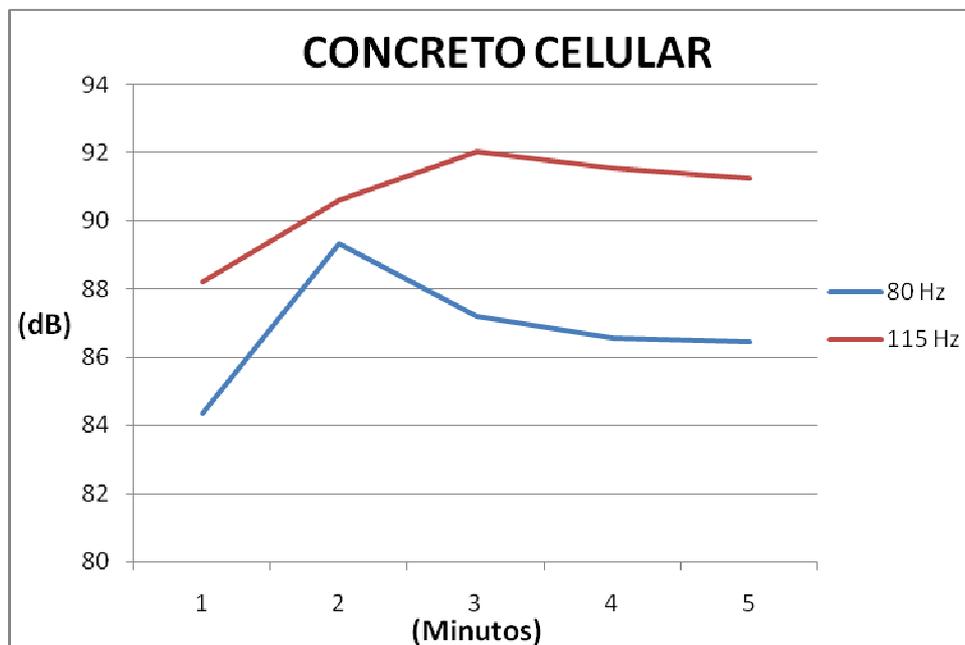


Gráfico 15 - Desempenho Concreto Celular

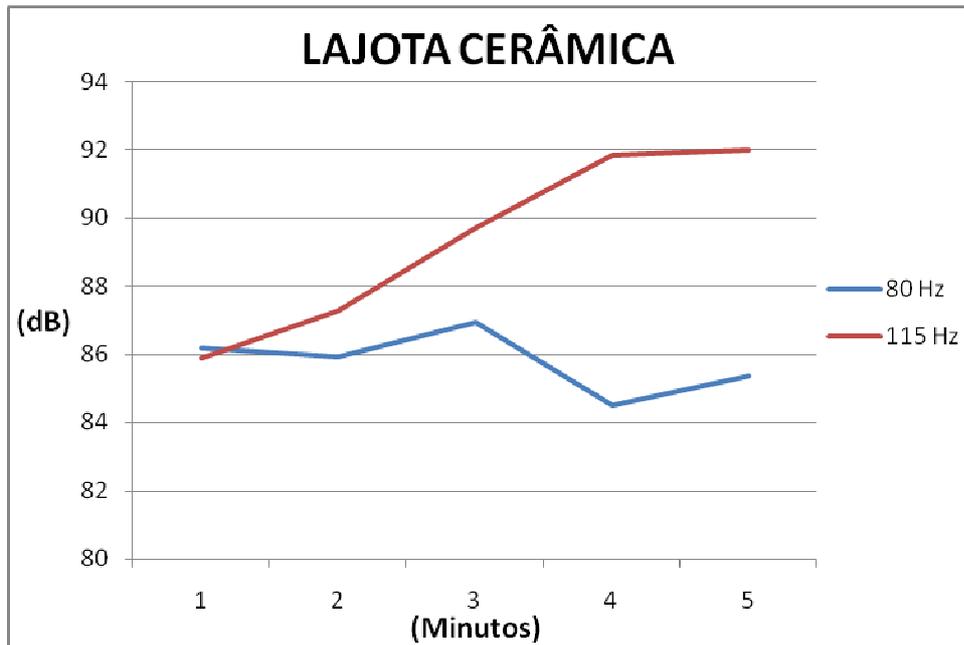


Gráfico 16 - Desempenho Lajota Cerâmica

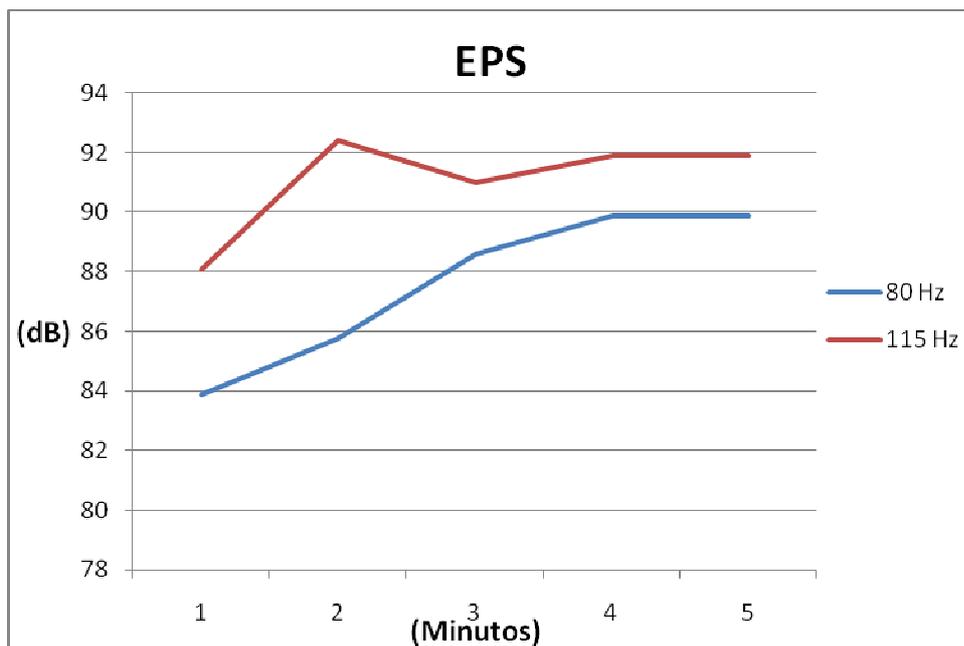


Gráfico 17 - Desempenho EPS (Poliestireno Expandido)

A lajota cerâmica apresenta maior variação nos níveis de dB entre as frequências de 80 Hz e 115 Hz. O concreto celular mostra um comportamento intermediário e o EPS é que se comporta de maneira mais semelhante.

Na média entre os cinco minutos de teste na frequência de 80 Hz a lajota cerâmica foi o material que demonstrou menores níveis de decibéis. O EPS teve o maior nível de dB, e o concreto celular se comportou de maneira intermediária.

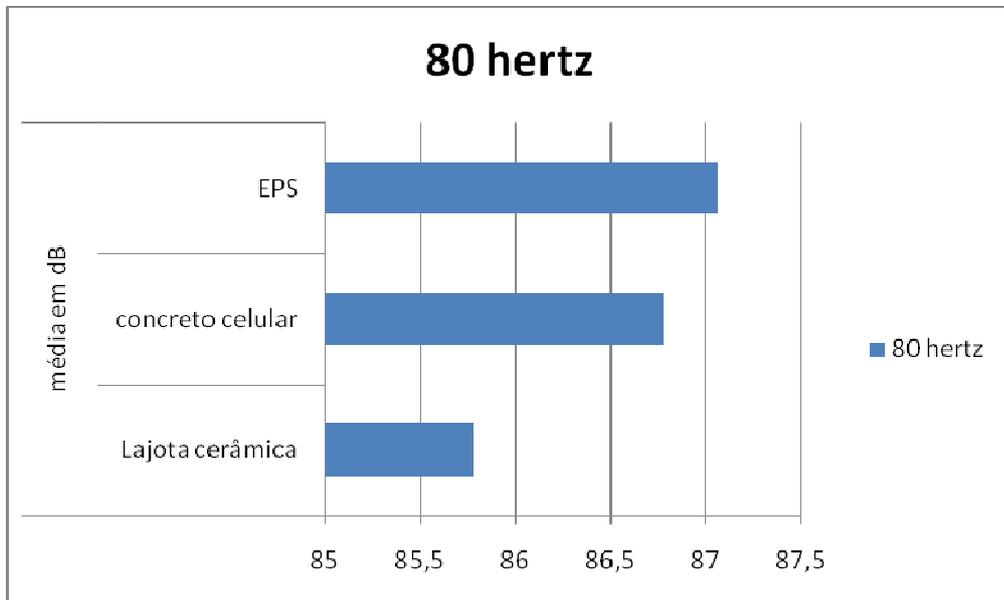


Gráfico 18 - Desempenho Materiais 80 Hz

Na média entre os cinco minutos de teste na frequência de 115 Hz o resultado foi semelhante. Os níveis de dB mais altos foram os do EPS, tendo concreto celular como intermediário e a lajota cerâmica mais eficaz no isolamento da transmissão do ruído.

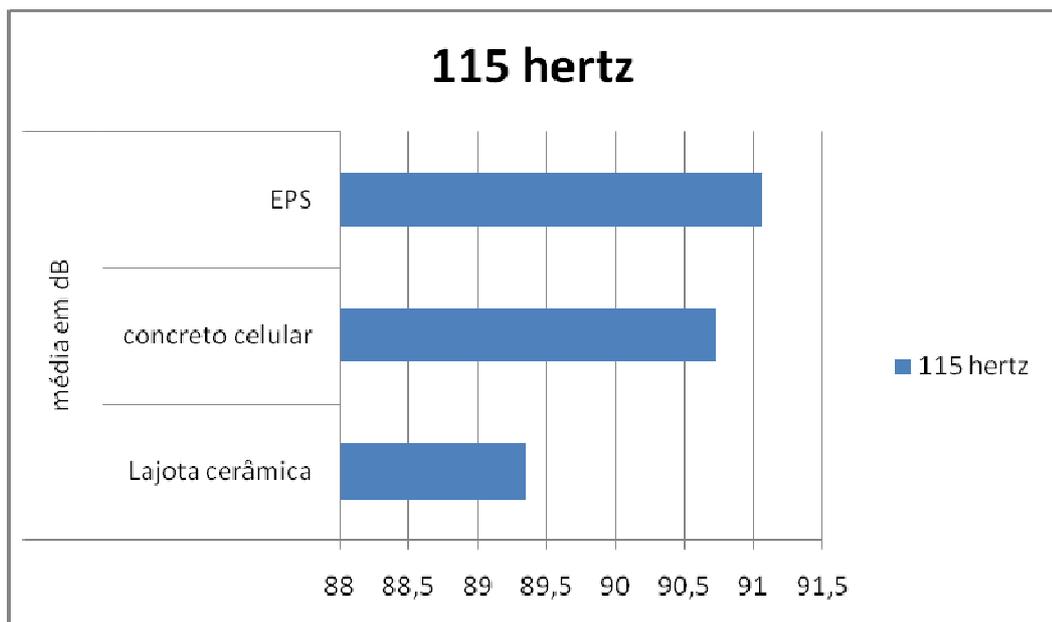


Gráfico 19 - Desempenho Materiais 115 Hz

Sendo assim, de maneira absoluta, a relação entre os três materiais é de melhor desempenho acústico da lajota cerâmica, seguida pelo concreto celular e tendo o EPS como menos efetivo no isolamento da transmissão ruído.

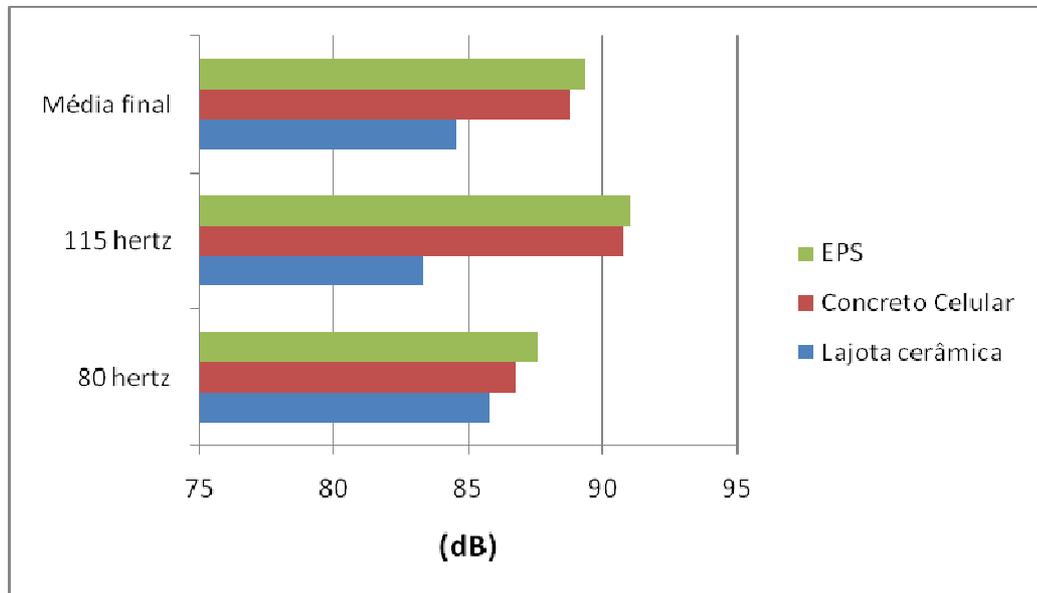


Gráfico 20 - Desempenho Final dos Materiais

Mesmo assim, há de se notar que as médias absolutas entre o comportamentos acústicos dos três materiais mostra uma diferença efetivamente pequena. Deve-se questionar a relevância de tal diferença entre o comportamento acústico dos materiais testados para a construção civil.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A insatisfação dos usuários de imóveis residenciais coletivos quanto aos ruídos gerados levam a pesquisas cada vez mais minuciosas sobre o assunto. Esse parece ser o caminho correto para que se chegue a uma solução aceitável para a redução do incômodo.

Uma técnica bem conhecida e com ótimos resultados é a do piso flutuante, que traz a redução de transmissão de ruídos de impacto através de materiais entreposto nas lajes. Mas dentre os materiais comumente usados na construção civil, qual terá o melhor desempenho com relação a retenção de transmissão de ruídos?

Neste trabalho foram realizados ensaios com três materiais diferentes: O EPS; a Lajota Cerâmica um dos materiais de enchimento mais tradicionais no Brasil devido a sua ampla produção e custos acessíveis; e o Concreto Celular, muito mais leve por sua porosidade, mas que ainda busca o seu espaço no mercado atual devido ao seu custo elevado.

O material que apresentou melhor desempenho acústico em níveis de decibéis é a Lajota Cerâmica. Em seguida o Concreto Celular apresentou um comportamento intermediário. E os maiores ruídos foram do EPS segundo níveis de decibéis coletados .

Cabe ainda ressaltar que apesar das diferenças de desempenho elas se mostram quase que imperceptíveis no resultado final, tendo níveis de transmissão de ruídos muito próximos.

Isso leva a crer que a melhor solução para esse problema é o de tratamentos acústicos alternativos que devem ser planejados e estudados sua viabilidade ainda em projeto.

Os resultados aqui apresentados são para fortalecer a discussão e não devem ser usados como único indicativo para o desempenho acústico desses materiais, pois estão condicionados a variáveis que podem divergir dos aspectos teóricos. Para futuros trabalhos propõe-se o desenvolvimento de ensaios em construções com condições reais de estudo, analisando as interações entre: vão da laje, espessuras, janelas, portas e estruturas construtivas.

8 REFERÊNCIAS

ACKERMAN, Schaia. **Barreiras Acústicas**. Revista Técnica, São Paulo, [2010]. Disponível em: <<http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/156/artigo164547-2.asp>>. Acesso em: 31 out. 2011.

ARTE LAJE. Disponível em: <<http://www.artelaje.com.br/site/produtos/enchimento-acessorios.php>>. Acesso em: 15 Dez. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10151**: Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento. Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12179**: Tratamento acústico em recintos fechados. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: 02:136.01.003: Desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Parte 3: Pisos internos.

CELUCON. **Fábrica de Concreto Celular e Bloco Isolante Isocon**. Disponível em: <<http://www.celuccon.com.br>>. Acesso em: 15 Dez. 2013

CARDOSO, J.R.A. **Uso do Agregado de Entulho da Construção Civil de Manaus - AM para Obtenção de Bloco de Argamassa Celular**. Dissertação de mestrado. Curitiba: UTFPR, 2010.

DESARNAULDS, V; et al. **Sustainability of acoustic materials and acoustic characterization of sustainable materials**. IN: Twelfth International Congress on Sound and Vibration. Lisbon, 2005.

FERRAZ, Rafaela. **Atenuação de ruído de impacto em pisos de edificações de pavimentos múltiplos**. 2008. 144f. Dissertação (Mestrado em Engenharia das Estruturas) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia das Estruturas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

GARCIA, D. et al. **Avaliação do isolamento sonoro aéreo de elementos de vedação na construção civil** In: Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 8, n. 1, p. 49-63, jan./mar. 2008. ISSN 1678-8621

JANKOVITZ, João Afonso Abel. **O ruído em apartamentos**. Acústica Brasileira Engenharia LTDA – ABEL, São Paulo, 2010. Disponível em: <http://web.me.com/abel.acustica/ABEL_Ac%C3%BAstica_Brasileira_Eng._Ltda/Apartamentos.html>. Acesso em: 31 out. 2011.

LEÃO, Antonio Jorge de Almeida. **Acústica de Edifícios. Recomendações Técnico-Práticas para a Concepção de Edifícios Escolares e de Habitação**. 1994. 144f. Dissertação para obtenção do grau de mestre em construção de edifícios, Universidade do Porto - Faculdade de Engenharia, 1994.

MARCO, Conrado Silva de. **Elementos de acústica arquitetônica**: Nobel 2ª edição. São Paulo, 1990.

MOTTA, J. et al. **As Matérias-Primas Cerâmicas. Parte I: O Perfil das Principais Indústrias**. In: Cerâmicas e Seus Produtos Cerâmica Industrial, 6 (2) Março/Abril, 2001.

NETO, Djalma Pinto Pessôa. Instituto Brasileiro de Desenvolvimento da Arquitetura. **IBDA - A Importância Histórica dos Orçamentos e Custos das Construções no Brasil**. Disponível em: <<http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=38&Cod=673>>. Acesso em: 10 Dez. 2013.

OLIVEIRA, Thiago. **Equilíbrio Sonoro**. Revista Construção e Mercado, São Paulo, p. 52-57, nov. 2006.

PEDROSO, Miguel Angelo Teixeira. **Estudo comparativo entre as modernas composições de pisos flutuantes quanto ao desempenho no isolamento ao ruído de impacto**. 2007. 140f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria Centro de Tecnologia, Santa Maria, 2007.

RUI, Laura Rita; STEFFANI, Maria Helena. **Física: Som e Audição Humana**. 2006. Dissertação em Mestrado Profissional em Ensino de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006.

SANTOS et al. **Poliestireno expandido na construção civil**. IN: PÓS EM REVISTA DO CENTRO UNIVERSITÁRIO NEWTON PAIVA 2013/2 - NÚMERO 8 - ISSN 2176 7785

SINAPI - **Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil**. Disponível em:

<http://www1.caixa.gov.br/gov/gov_social/municipal/programa_des_urbano/sinapi/index.asp>. Acesso em: 25 Jan. 2014.