

MICHELLE CARAPONALE CODATO

**Avaliação de Desempenho Acústico de Piso com Revestimento de Placas
Cerâmicas com Cortiça Aderida**

**São Paulo
(2019)**

MICHELLE CARAPONALE CODATO

**Avaliação de Desempenho Acústico de Piso com Revestimento de Placas
Cerâmicas com Cortiça Aderida**

Monografia apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Especialista em Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios.

Orientadora: M.^a Luana Sato

**São Paulo
(2019)**

MICHELLE CARPONALE CODATO

**Avaliação de Desempenho Acústico de Piso com Revestimento de Placas
Cerâmicas com Cortiça Aderida**

Monografia apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Especialista em Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios.

Orientadora: M.^a Luana Sato

**São Paulo
(2019)**

Catálogo-na-publicação

, Michelle Codato

Avaliação de Desempenho Acústico de Piso com Revestimento de Placas Cerâmicas com Cortiça Aderida / M. C. -- São Paulo, 2019.

45 p.

Monografia (Especialização em Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Poli-Integra.

1.Desempenho acústico ao impacto 2.Inovação 3.Piso cerâmico 4.Cortiça I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Poli-Integra II.t.

CODATO, M. C. **Desempenho acústico de piso cerâmico com cortiça aderida.**
São Paulo, 2019. Pós-Graduação na Escola Politécnica, Universidade de São Paulo,
São Paulo, 2019.

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. M. Luana Sato

Instituição: Escola Politécnica USP

Julgamento: Aprovado

Prof. Dr. Luiz Sérgio Franco

Instituição: Escola Politécnica USP

Julgamento: Aprovado

Prof. M. Maurício Resende

Instituição: Universidade São Judas Tadeu

Julgamento: Aprovado

À minha família, por todo apoio na busca de meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

À Luana Sato, por toda dedicação, atenção, paciência e orientação a este trabalho, não só como orientadora, mas também como professora e amiga.

Ao professor do laboratório Maurício Resende e seu estagiário Jhonata pela dedicação e colaboração a esta pesquisa.

Às empresas de cerâmica, de produtos químicos e construtora que auxiliaram, acompanharam e doaram seus materiais e tempo para esta pesquisa.

Aos meus pais, Osvaldo e Cristiane, minha irmã Jéssica e meu noivo Arthur por toda força, ajuda, apoio, colaboração e atenção não só durante esta pesquisa, como também em todos os momentos da minha vida.

“O êxito da vida não se mede pelo caminho que você conquistou, mas sim pelas dificuldades que superou no caminho.”
(Abraham Lincoln).

RESUMO

Desempenho acústico ao ruído de impacto em edificações é um tema muito estudado atualmente. Com usuários mais informados e com a norma de desempenho a reger os critérios mínimos de desempenho acústico, algumas empresas precisaram ajustar seus métodos e processos.

Muitas pesquisas mostraram que ter materiais, métodos construtivos ou revestimentos auxiliando o desempenho acústico ao ruído de impacto nas edificações é essencial a execução deles dentro da norma. Mas, nem sempre, materiais conhecidos podem resolver todas as questões de obra para solução das dificuldades acústicas. Por isso esta pesquisa objetiva trazer uma inovação na área de revestimentos com uma cerâmica com cortiça aderida, que possa substituir materiais ou métodos construtivos garantindo estar dentro dos critérios exigidos.

Para esse fim, considerou-se como necessária a realização de dois ensaios: o de resistência de aderência à tração para verificação da viabilidade técnica e o de desempenho acústico ao ruído de impacto.

A partir desses ensaios, concluiu-se a possibilidade da realização de uma cerâmica com cortiça aderida dentro da verificação da viabilidade técnica e que atenda aos critérios mínimos da norma de desempenho.

Foi realizado, também, para completar esta pesquisa, um levantamento de custo do produto por m² e verificou-se que, embora ele seja elevado, esse material pode ser adotado em casos especiais.

Palavras-Chave: Desempenho acústico ao impacto. Inovação. Piso cerâmico. Cortiça.

ABSTRACT

Acoustic performance in buildings is a theme that is much studied today. With more informed users, and with the performance standard ruling the minimum acoustic performance, some companies had to adjust their methods and processes. Many researches have shown that having materials, constructive methods or coatings that aid in the acoustic performance of buildings is essential for the possibility of building follow the standards. But not always known materials can solve all the questions of construction to solve the acoustic questions, therefore, this research has as its focus to bring an innovation in the area of coatings with a ceramics with cork adhered, that can replace materials or constructive methods guaranteed to be inside of standards.

For this it was considered necessary to carry out two tests: the tensile strength test to verify the technical feasibility and the acoustic performance test.

From these tests it was concluded that it is possible to make a ceramic with cork adhered within the verification of the technical feasibility and that this ceramics with cork adheres meets the performance standard.

A survey of product cost per m² was also carried out to complete this research. In this way, it was verified that the ceramics with cork adhered have a high cost but can be adopted in special cases.

Keywords: Acoustic impact performance. Innovation. Ceramic flooring. Cork.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Esquema genérico proposto na pesquisa – Cerâmica + cola + cortiça ... | 17 |
| Figura 2 – Amostras de cada uma das colas..... | 26 |
| Figura 3 – Disposição das amostras de cerâmica – cola – cortiça no substrato | 27 |
| Figura 4 – Foto das pastilhas metálicas coladas para o ensaio | 28 |
| Figura 5 – Esquema da ruptura encontrada na cola Ecofloor | 29 |
| Figura 6 - Esquema da ruptura encontrada na cola Projeto | 30 |
| Figura 7 - Esquema da ruptura encontrada na cola Baucryl 10000..... | 31 |
| Figura 8 – Cerâmica com cortiça aplicada no ambiente a ser ensaiado | 34 |
| Figura 9 – Posicionamento da <i>tapping machine</i> e microfone nos cenários..... | 35 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|----|
| Quadro 1 – Descrição dos Sistemas de Pisos Flutuantes Analisados. | 22 |
| Quadro 2 – Disposição dos pisos ensaiados na obra..... | 35 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Valores de referência de $L'_{nT,w}$ recomendados pela norma brasileira NBR 15575-3:2013 a ruídos de impacto..... | 20 |
| Tabela 2 – Resumo dos resultados obtidos na pesquisa de BURATTI E MURETTI (2006)..... | 21 |
| Tabela 3 - Resumo dos resultados obtidos na pesquisa de PEDROSO (2007). | 23 |
| Tabela 4 - Resumo dos resultados obtidos na pesquisa de MATEUS (2015). | 24 |
| Tabela 5 – Resultados obtidos no ensaio de aderência da cola Ecofloor..... | 29 |
| Tabela 6 – Resultados obtidos no ensaio de aderência da cola Projeto..... | 30 |
| Tabela 7 - Resultados obtidos no ensaio de aderência da cola Baucryl 10000 | 31 |
| Tabela 8 - Resultados obtidos no ensaio de acústica por piso. | 36 |
| Tabela 9 - Resultados obtidos no ensaio de acústica por frequência | 36 |
| Tabela 10 – Resumo dos resultados obtidos do desempenho acústico dos sistemas ensaiados..... | 37 |
| Tabela 11 - Valores de custo para execução de contrapiso de 3cm..... | 38 |
| Tabela 12 - Valores de custo para execução de cerâmica com cortiça aderida. | 38 |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 15 |
| 1.1 CONTEXTO | 15 |
| 1.2 OBJETIVOS | 16 |
| 1.3 MÉTODO DE PESQUISA | 16 |
| 1.3.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA | 16 |
| 1.3.2 PROGRAMA EXPERIMENTAL: VIABILIDADE TÉCNICA DO PRODUTO | 17 |
| 1.3.3 PROGRAMA EXPERIMENTAL: DESEMPENHO ACÚSTICO | 17 |
| 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO | 18 |
| 2 DESEMPENHO ACÚSTICO DE PISO A RUÍDO DE IMPACTO | 19 |
| 2.1 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO | 19 |
| 2.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE O LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO | 24 |
| 3 PROGRAMA EXPERIMENTAL: VIABILIDADE TÉCNICA DO PRODUTO | 25 |
| 3.1 PREPARAÇÃO PARA O ENSAIO | 25 |
| 3.2 O ENSAIO | 27 |
| 3.3 RESULTADOS | 28 |
| 3.1.1 ECOFLOOR | 28 |
| 3.1.2 COLA-PROJETO | 30 |
| 3.1.3 BAUCRYL 10000 | 31 |
| 3.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE OS RESULTADOS | 32 |
| 4 PROGRAMA EXPERIMENTAL: DESEMPENHO ACÚSTICO | 33 |
| 4.1 PREPARAÇÃO PARA O ENSAIO | 33 |
| 4.2 O ENSAIO | 35 |
| 4.3 RESULTADOS | 35 |
| 4.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE OS RESULTADOS | 37 |
| 5 VIABILIDADE ECONÔMICA | 38 |
| 5.1 LEVANTAMENTO DE CUSTOS | 38 |
| 5.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE O LEVANTAMENTO DE CUSTOS | 39 |
| 6 CONCLUSÃO | 40 |
| REFERÊNCIAS | 43 |

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTO

É imprescindível que os empreendimentos apresentem um desempenho acústico adequado. De acordo com SOUZA, ALMEIDA e BRAGANÇA (2006), a exposição do homem a elevados níveis de ruído pode causar lesões no aparelho auditivo, além de outros efeitos físicos e psicológicos como dores de cabeça, fadiga, distúrbios hormonais, perda de concentração e reflexos, perturbação no sono, entre outros. Por esse motivo, a qualidade da acústica das edificações é fundamental para a melhoria na qualidade de vida do ser humano.

A partir da entrada em vigor da norma de desempenho NBR 15575 (ABNT, 2013), e apesar de algumas construtoras possuírem métodos construtivos compatíveis com as suas exigências, muitas outras tiveram que se reinventar com novas técnicas construtivas para atender aos critérios mínimos estabelecidos.

Além do mais, os consumidores, na época atual, estão mais informados sobre questões como a acústica. Tudo isso é perceptível com o número de notícias sobre a norma de desempenho NBR 15575 (ABNT, 2013), em jornais e revistas, em que itens como infiltração e acústica são colocadas em destaque. Tome-se, por exemplo, a matéria feita pelo Jornal Nacional (2013) na qual os itens que o cliente não tinha costume de perceber numa compra de imóveis, agora, são colocados em destaque. Nessa notícia, citaram os critérios mínimos da norma de desempenho NBR 15575 (ABNT, 2013) do requisito de impacto de acústica para o conhecimento de todas as pessoas.

Por consequência, a busca das empresas construtoras por técnicas que apresentam alta produtividade para não comprometer o prazo nas obras e, também, atender ao critério de desempenho acústico mínimo, tem crescido muito nos últimos tempos.

Assim sendo, ter um produto com técnica de execução conhecida, que leve em conta o critério de desempenho acústico a ruído de impacto, adequado a alguns problemas de projetos ou obras mais complicados, pode ser uma solução muito procurada pelas construtoras.

Devido a isso, diversas soluções para atendimento dos critérios da norma de desempenho tiveram que ser estudadas: colocação de um contrapiso (mais

convencional), inclusão de materiais que podem auxiliar no desempenho acústico ou adoção de revestimentos como atenuador acústico.

Existem, no entanto, alguns casos, nos dias de hoje, em que não é possível arranjar uma solução convencional, nem mesmo uma solução simples para o desempenho acústico nas edificações. Em prédios já concebidos com pé direito baixo ou que, exemplificando, por alguma razão, possuam baixo peitoril para janela, pode haver problemas para solucionar as questões de desempenho acústico, já que as soluções mais empregadas precisam de uma espessura alta. Dessa forma, há a necessidade de buscar uma inovação na área.

De acordo com SABATTINI (1989), uma inovação tecnológica é:

um novo produto, método, processo ou sistema construtivo introduzido no mercado, constitui-se em uma INOVAÇÃO TECNOLÓGICA na construção de edifícios quando incorporar uma nova ideia e representar um sensível avanço na tecnologia existente em termos de: desempenho, qualidade ou custo do edifício, ou de uma sua parte.

Apresenta-se, nesta pesquisa, a proposição de um piso cerâmico que possa melhorar o desempenho acústico a ruído de impacto, como uma inovação tecnológica. Apesar de seu método de aplicação ser similar ao de uma cerâmica tradicional, tal produto não é encontrado no mercado brasileiro e nenhuma referência bibliográfica específica foi encontrada.

1.2 OBJETIVOS

Verificar a viabilidade técnica de aplicação, a avaliação de melhoria em desempenho acústico a ruído de impacto e a análise econômica do uso de cortiça aderida ao piso cerâmico.

1.3 MÉTODO DE PESQUISA

1.3.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

Para compreensão da problemática, foi realizado um levantamento bibliográfico de pesquisas relacionadas diretamente ao desempenho acústico de pisos com foco em ruído de impacto.

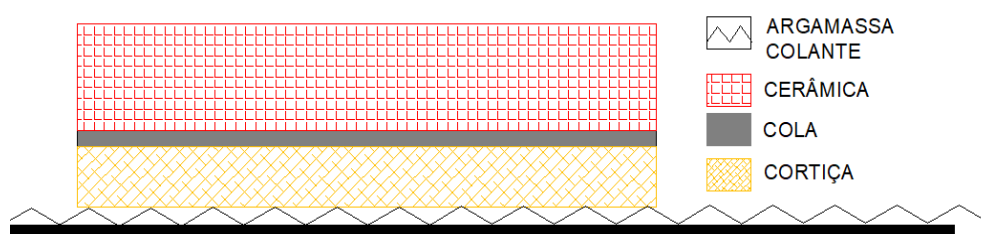
Buscou-se entender a influência desses ruídos nos usuários das edificações, os critérios da norma de desempenho e as soluções encontradas, no momento presente, para o desempenho acústico, envolvendo materiais que auxiliam na atenuação acústica, sistemas construtivos convencionais como contrapiso, revestimentos ou até uma composição entre eles.

1.3.2 PROGRAMA EXPERIMENTAL: VIABILIDADE TÉCNICA DO PRODUTO

Com base nos conceitos da tese de SABBATINI (1989), para a criação de uma inovação tecnológica, após a concepção da tecnologia, é necessário estudar os componentes e verificá-los experimentalmente, o que consiste em construir um protótipo e ensaiá-lo.

Assim, a metodologia desta pesquisa envolveu uma primeira etapa de avaliação da viabilidade técnica dos componentes. Primeiramente, refletiu-se sobre cada um dos materiais que fariam a composição do produto final, ou seja, cerâmica, cortiça e cola (Figura 1).

Figura 1 – Esquema genérico proposto na pesquisa – Cerâmica + cola + cortiça



Fonte: a autora

Após a concepção do produto, foi preciso selecionar a cola para a composição escolhida. Para essa avaliação e a de compatibilidade entre produtos (viabilidade técnica do produto final), adotou-se a caracterização da resistência de aderência, seguindo o método de ensaio da norma NBR14081-4 (ABNT, 2012).

1.3.3 PROGRAMA EXPERIMENTAL: DESEMPENHO ACÚSTICO

A segunda etapa consistiu no ensaio de desempenho acústico a ruído de impacto. Para tanto, foram confeccionadas as peças de cerâmica + cortiça, utilizando a cola selecionada na etapa anterior. Na sequência, a composição foi assentada em uma

obra, para que ensaios *in-loco* de verificação do desempenho acústico ao ruído de impacto fossem realizados. O ensaio de desempenho acústico seguiu o Método Engenharia da ISO 16283-2 (ISO,2018).

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho é estruturado em cinco capítulos.

O primeiro apresenta a Introdução, contemplando a justificativa, o objetivo e a metodologia utilizada no trabalho.

O segundo resume a revisão da literatura realizada sobre o assunto, apresentando estudos sobre o desempenho acústico em habitações, enfatizando materiais que se relacionam com a melhoria do desempenho e novas tecnologias.

O terceiro capítulo é dedicado à descrição do ensaio e respectivo resultado de resistência à tração para verificação da viabilidade técnica do produto.

O quarto capítulo é dedicado à descrição do ensaio e seu resultado de desempenho acústico.

O quinto capítulo apresenta o comparativo de custos dos sistemas ensaiados para melhoria do desempenho acústico.

Finalmente, o sexto capítulo apresenta conclusões e indicações de temas para um trabalho futuro de pesquisa.

2 DESEMPENHO ACÚSTICO DE PISO A RUÍDO DE IMPACTO

2.1 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

Há diversos estudos e publicações desenvolvidos que se direcionam ao desempenho acústico de edificações. Entre eles, alguns são de interesse para esta pesquisa, pois mencionam os efeitos dos ruídos de impacto sobre o usuário, a influência de diferentes estruturas e sistemas de piso no desempenho acústico e o desenvolvimento de revestimentos para atenuação.

Para o estudo em questão, entender o ruído de impacto e sua influência é muito importante. De acordo com BISTAFA (2016), o ruído gerado pelo impacto nos pisos das edificações causa um grande desconforto nas pessoas durante a utilização, principalmente àqueles que estão nos apartamentos imediatamente abaixo daquele que está gerando ruído, pois a laje é um irradiador de energia sonora.

CORNACCHIA (2009) verificou em sua pesquisa que, apesar da maior parte dessas lajes passarem pela norma de desempenho brasileira, em comparação às normas internacionais, boa parte das amostras estudadas não atenderam ao desempenho acústico. Justifica-se: a maior parte delas apresenta desempenho mínimo e os referenciais normativos internacionais exigem critérios próximos ao desempenho intermediário.

Assim como CORNACCHIA (2009), REZENDE (2014) realizou uma pesquisa para identificar a diferença entre os critérios da norma de desempenho acústico brasileira e critérios de normas internacionais vigentes. O resultado mostra a necessidade de reavaliação dos critérios, recomendando, então, uma pesquisa de percepção junto a usuários e o seu conforto acústico, de modo a determinar a necessidade ou não de alteração da norma de desempenho atual.

A norma de desempenho NBR15575-3 (ABNT, 2013), no item direcionado à acústica nas edificações, define critérios para ruídos aéreos e ruídos de impacto. Apresentam-se os relacionados ao ruído de impacto – foco deste estudo – na Tabela 1.

Tabela 1 - Valores de referência de $L'_{nT,w}$ recomendados pela norma brasileira NBR 15575-3:2013 a ruídos de impacto.

| Elemento | $L'_{nT,w}$ (dB) | Nível de desempenho |
|--|---|---|
| Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas posicionadas em pavimentos distintos | 66 a 80 56 a 65 ≤ 55 | M (Mínimo) I (Intermediário) S (Superior) |
| Sistema de piso de áreas de uso coletivo, para atividades de lazer e esportivas, tais como <i>home theater</i> , salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas, sobre unidades habitacionais autônomas | 51 a 55 46 a 50 ≤ 45 | M (Mínimo) I (Intermediário) S (Superior) |

Fonte: ABNT NBR 15575-3:2013.

As edificações, mesmo estando dentro dos valores de referência demonstrados na norma de desempenho em vigor atualmente, nem sempre deixam as pessoas se sentirem à vontade com os ruídos gerados durante sua utilização. É o que REZENDE (2014) verifica em sua pesquisa. Estudando 14 edificações, percebeu que, apesar de quase todos passarem no critério mínimo determinado pela norma, ainda assim, os seus usuários se sentiam desconfortáveis com a sonoridade.

Pensando em melhorar a qualidade de vida das pessoas e das edificações, é muito importante entender estudos de tecnologias construtivas e materiais que possam trazer um conforto acústico. Por isso, muitos pesquisadores verificaram alguns materiais e tecnologias que auxiliariam esse propósito.

A partir da ideia de que tecnologia e revestimentos apurariam o desempenho acústico, BURATTI E MURETTI (2006) ensaiaram 8 tipos de revestimentos diferentes em um mesmo local e apresentaram, em sua pesquisa, um índice calculado para comparação dos materiais (ΔL_w). Foi possível identificar variações de desempenho de 14dB a 35dB, conforme Tabela 2.

Nesta pesquisa, não foram colocados os dados de $L'_{nT,w}$ conforme a norma de desempenho; desta forma, não foi possível um comparativo entre os sistemas ensaiados e os critérios de norma. Também não foram colocadas as informações sobre a laje na qual os revestimentos foram ensaiados como tipo de estrutura e sua altura para comparativo com demais estudos.

Tabela 2 – Resumo dos resultados obtidos na pesquisa de BURATTI E MURETTI (2006).

| Sistema ensaiado | Espessura de material (mm) | ΔL_w (dB) |
|--------------------------------------|----------------------------|-------------------|
| Carpete | 7,5 | 22 |
| PVC | 1,5 | 16 |
| Placa de cortiça | 6,0 | 20 |
| Borracha sintética | 3,0 | 14 |
| Borracha reciclada com camada de PVC | 5,0 | 22 |
| Placa de cortiça com camada de PVC | 12,0 | 25 |
| Compensado | 3,2 | 15 |
| Carpete (2 camadas) | 16,1 | 35 |

Fonte: Adaptado de BURATTI E MURETTI (2006).

Como BURATTI E MURETTI (2006), CORNACCHIA (2009), em sua pesquisa, não só verificou o desempenho acústico da estrutura em si, mas também a influência do revestimento no desempenho acústico do conjunto. Quanto à estrutura, a autora não identificou nenhuma relação direta entre os três tipos estudados e o desempenho acústico, devido à grande variabilidade dos resultados. Porém, constatou a diferença relacionada ao tipo de revestimento em função da característica elástica do material que recebe o impacto e mencionou, em isolamento acústico, os resultados do melhor para o pior: carpete, pisos laminados de madeira, contrapiso e, por último, a cerâmica¹.

Já FERRAZ (2008) analisou somente sistemas de pisos flutuantes. As composições estudadas podem ser agrupadas em duas categorias:

- a) sistemas de pisos flutuantes com revestimento, ou seja, solução de tratamento, contrapiso e revestimento;
- b) sistemas de pisos flutuantes sem revestimento, ou seja, apenas solução de tratamento e contrapiso.

No caso dos sistemas de pisos flutuantes com revestimento, foram adotados dois tipos: porcelanato e madeira. Foram realizadas 16 configurações diferentes. No caso dos sistemas de pisos flutuantes sem revestimento, utilizaram os tratamentos de polietileno e lã de vidro, em 32 configurações. Em ambas as categorias, identificou-se que o ganho de desempenho acústico foi notável independentemente da configuração do modelo ensaiado.

¹ Para CORNACCHIA (2009) não foi possível adaptar uma tabela de resultados. Em sua pesquisa, todos os resultados encontram-se em gráficos resultantes do ensaio. Apenas em algumas das configurações foram colocados resultados comparativos com L'_{nTW} (dB) ou ΔL_w (dB).

Com base nos seus resultados, FERRAZ (2008) justifica que a solução com revestimento apresenta piores resultados devido à rigidez da composição, uma vez que restrições às deformações laterais são impostas por ele, o que não ocorre no sistema sem revestimento.

No tocante à utilização de pisos flutuantes como uma solução eficiente para melhoria no desempenho acústico, PEDROSO (2007) utiliza alguns materiais elásticos mais encontrados no país. Em sua pesquisa, o autor desenvolve amostras de revestimentos para ensaiar diferentes modelos de pisos flutuantes.

Foram selecionados 6 tipos de materiais com comportamento elásticos e 2 tipos de revestimento de pisos, com os quais foram realizadas 15 amostras diferentes conforme Quadro 1.

Quadro 1 – Descrição dos Sistemas de Pisos Flutuantes Analisados.

| Tipo de composições | Amostras | Descrição das composições |
|--|----------|---|
| Sem revestimento | 1 | Laje de entrepiso sem revestimento |
| Pisos flutuantes com revestimento em porcelanato | 2 | Laje de entrepiso + porcelanato |
| | 3 | Laje de entrepiso + lâ de vidro + porcelanato |
| | 4 | Laje de entrepiso + ruberflex + porcelanato |
| | 5 | Laje de entrepiso + densiflex + porcelanato |
| | 6 | Laje de entrepiso + isopor VI + porcelanato |
| | 7 | Laje de entrepiso + isopor VII + porcelanato |
| | 8 | Laje de entrepiso + polietileno + porcelanato |
| Pisos flutuantes com revestimento em laminado de madeira | 9 | Laje de entrepiso + laminado de madeira |
| | 10 | Laje de entrepiso + lâ de vidro + laminado de madeira |
| | 11 | Laje de entrepiso + ruberflex + laminado de madeira |
| | 12 | Laje de entrepiso + densiflex + laminado de madeira |
| | 13 | Laje de entrepiso + isopor VI + laminado de madeira |
| | 14 | Laje de entrepiso + isopor VII + laminado de madeira |
| | 15 | Laje de entrepiso + polietileno + laminado de madeira |

Fonte: Adaptado de PEDROSO, 2007.

Os resultados encontrados por Pedroso (2007) estão resumidos na Tabela 3. Com a utilização apenas do revestimento de piso, a redução é pouco perceptível (5 e 3 dB respectivamente). Já, com a utilização do sistema flutuante, foi possível verificar, reduções de 11 a 28 dB.

Tabela 3 - Resumo dos resultados obtidos na pesquisa de PEDROSO (2007).

| Sistema ensaiado | Espessura da laje (cm) | L' nTw (dB) | L' nT,w (dB) NBR 15575-3:2013 Mínimo | |
|----------------------------------|------------------------|-------------|--|--|
| | | | Lajes entre unidades habitacionais autônomas | Lajes entre áreas de uso coletivo e unidades habitacionais |
| Laje | | 78 | | |
| Laje + porcelanato | | 73 | | |
| Laje + lâ de vidro + porcelanato | | 50 | | |
| Laje + ruberflex + porcelanato | | 62 | | |
| Laje + densiflex + porcelanato | | 65 | | |
| Laje + isopor VI + porcelanato | | 62 | | |
| Laje + isopor VII + porcelanato | | 64 | | |
| Laje + polietileno + porcelanato | 12 | 65 | 80 | 55 |
| Laje + laminado | | 75 | | |
| Laje + lâ de vidro + laminado | | 56 | | |
| Laje + ruberflex + laminado | | 67 | | |
| Laje + densiflex + laminado | | 67 | | |
| Laje + isopor VI + laminado | | 63 | | |
| Laje + isopor VII + laminado | | 64 | | |
| Laje + polietileno + laminado | | 67 | | |

Fonte: Adaptado de PEDROSO (2007).

Dada a grande importância do estudo de sistemas de pisos mais eficazes no desempenho acústico ao impacto e à busca de técnicas e materiais que auxiliariam na melhoria desse item específico, foi possível verificar pesquisas de outros países com tal objetivo. Um exemplo é o trabalho desenvolvido por MATEUS (2015): em uma pesquisa de Portugal, apresentou a utilização de cortiça, material pouco comum no Brasil para fins construtivos.

MATEUS (2015) realizou diversos ensaios com sistemas de pisos flutuantes, pisos duplos flutuantes e lajes flutuantes com a colocação desse material como atenuador de ruídos.

Combinando essas configurações com revestimento de pisos (madeira, cerâmica e vinílico), foram feitas diversas amostras nas quais se constata que a cortiça também é um material auxiliar à melhoria do desempenho acústico.

Foram quatro tipos de revestimentos ensaiados: dois de madeira e dois de vinílico. O de melhor desempenho foi o de vinílico conforme observado na Tabela 4.

Tabela 4 - Resumo dos resultados obtidos na pesquisa de MATEUS (2015).

| Sistema duplo flutuante + revestimento | Espessura da laje (cm) | $\Delta L_{w,P}$ Resultado de pisos flutuantes (dB) | $\Delta L_{w,L}$ Resultado de lajes flutuantes (dB) | $L'_{nrw,,D}$ Resultado de pisos duplo flutuante(dB) |
|--|------------------------|--|--|---|
| Madeira de encaixe 1 | 20 | 15 | 17 | 61 |
| Madeira de encaixe 2 | | 15 | 17 | 59 |
| Madeira de encaixe 3 | | 15 | 18 | 59 |
| Madeira de encaixe 4 | | 16 | 18 | 57 |
| Madeira de encaixe 5 | | 15 | 19 | 58 |
| Madeira de encaixe 6 | | 15 | 17 | 58 |
| Madeira de encaixe 1 | 20 | 15 | 21 | 57 |
| Madeira de encaixe 2 | | 15 | 21 | 57 |
| Madeira de encaixe 3 | | 15 | 22 | 55 |
| Madeira de encaixe 4 | | 15 | 22 | 55 |
| Madeira de encaixe 5 | | 15 | 23 | 57 |
| Madeira de encaixe 6 | | 15 | 23 | 57 |
| Madeira de encaixe 7 | | 15 | 23 | 56 |
| Madeira de encaixe 8 | | 15 | 22 | 55 |
| Cerâmica 1 | 20 | 14 | 18 | 60 |
| Cerâmica 2 | | 14 | 18 | 59 |
| Cerâmica 3 | | 14 | 19 | 58 |
| Cerâmica 4 | | 14 | 20 | 56 |
| Vinílico 1 | 20 | 18 | 32 | 47 |
| Vinílico 2 | | 19 | 29 | 50 |
| Vinílico 3 | | 19 | 32 | 47 |

Fonte: Adaptado de MATEUS (2015).

2.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE O LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

É possível perceber a complexidade do desempenho relacionado ao ruído de impacto pela discrepância entre o que foi estabelecido pela norma brasileira e o conforto do usuário, o que é subjetivo.

Nos estudos analisados, não foi encontrada uma avaliação de novas tecnologias que possam eliminar etapas de execução ou diminuir espessuras.

3 PROGRAMA EXPERIMENTAL: VIABILIDADE TÉCNICA DO PRODUTO

De início, para a realização do ensaio de acústica foi necessária a verificação da viabilidade técnica do produto. Nessa etapa, selecionou-se a cola, de maneira que a composição atendesse à norma NBR 14081 (ABNT, 2012) no ensaio de tração das amostras cerâmicas.

3.1 PREPARAÇÃO PARA O ENSAIO

Nessa direção, providenciaram-se os seguintes materiais:

- Cerâmica do tipo B11b;
- Três colas (resinas acrílicas): Ecofloor, Baucryl 10000 e Projeto (cola experimental fornecida por um fabricante de produtos químicos);
- Cortiça com espessura de 4 mm.

Na seleção da cerâmica, obteve-se o auxílio de um grande fabricante do País. Utilizou-se uma caixa desse material que a empresa tinha disponível para doação (B11b).

As colas também foram fornecidas por uma empresa fabricante de produtos químicos. Contou-se com a indicação de produtos que poderiam se ajustar ao propósito da pesquisa sendo que, uma delas (Ecofloor), já tem a finalidade de cola para aplicação de revestimentos.

Para a seleção da cortiça, buscaram-se alternativas, no exterior, de produtos com composições semelhantes, por não ser um material comum para esse tipo de aplicação no País. Identificou-se uma empresa que possuía um porcelanato com cortiça aderida. Como os estudos divulgados desse produto mostram que há uma melhoria do desempenho acústico com a sua aplicação, decidiu-se seguir com a mesma espessura de cortiça, verificada na sua ficha técnica.

Nos ensaios, foram feitas amostras de 50 x 50mm. Para cada tipo de resina acrílica, prepararam-se 10 amostras. No caso da cola Baucryl 10000, foi necessária adição de cimento antes da sua aplicação, o que fizeram com o cimento do tipo CP II Z 32 com traço 1:1. As demais resinas foram aplicadas sem nenhum elemento adicional.

Em referência à montagem de cada amostra de 50 x 50mm, tentou-se realizar o recorte da cortiça antes da aplicação da resina acrílica. Porém, o processo de imprimá-la na cortiça, pela abertura de cordões, além de não ficar homogêneo, era muito mais

difícil de se realizar, uma vez que o tamanho das amostras era muito pequeno, se comparado ao de uma desempenadeira comercial.

Por fim, seguiram-se os seguintes passos:

- 1) recortaram-se as cerâmicas na medidas mencionadas;
- 2) aplicou-se resina acrílica em placas de cortiça de 600 x 450mm por toda sua extensão, com uma desempenadeira com dente de 6 mm;
- 3) posicionaram-se as cerâmicas cortadas no início (Figura 2);
- 4) antes da completa aderência da cerâmica na cortiça, foram separados os corpos de prova com auxílio de estilete. A aplicação, segundo esses passos, além de mais exequível, garantia o tamanho da cortiça igual ao da cerâmica.

Esse mesmo processo foi repetido para cada tipo de resina acrílica.

Todo esse procedimento, na preparação para o ensaio, foi realizado no dia 20 de abril de 2018.

Figura 2 – Amostras de cada uma das resinas acrílicas.



Fonte: a autora.

Ressalta-se que o recorte da cortiça foi um processo demorado. Por ter sido realizado quando a resina acrílica estava ainda fresca, o cuidado teve que ser a mais, para não pressionar a cerâmica, além de segurá-la no local. Por esse motivo, a cortiça ficou de tamanho um pouco maior que a cerâmica.

As resinas acrílicas sujaram muito as mãos, a mesa de apoio e impregnaram o estilete (secando na superfície da lâmina).

Para a resina acrílica “Projeto”, a dificuldade de aplicação ainda foi maior, pois era muito mais espessa que as demais.

3.2 O ENSAIO

O ensaio realizado foi baseado na norma NBR14081-2 (ABNT, 2012) e ABNT NBR14081-4 (ABNT, 2012). Na data de 27 de abril de 2018, foi feito o assentamento e, na data de 28 de maio de 2018, o ensaio de arrancamento.

Com as 30 amostras das diferentes resinas acrílicas curadas, aguardou-se uma semana da colagem para completa adesão da cola com a cerâmica e a cortiça e assentaram-nas no substrato padrão. Para isso, utilizou-se argamassa colante do fabricante Quartzolit, do tipo ACIII, com a data de fabricação de 02/02/2018. Para a mistura foi adotada a relação água/argamassa colante igual à 0,25 conforme instrução na embalagem do produto e, na sua realização, fizeram uso de um misturador mecânico e nos padrões de tempo estipulados pela norma NBR14081-2 (ABNT, 2012).

Com a argamassa colante pronta, aplicou-se uma camada de imprimação no substrato padrão, e posteriormente foram abertos os cordões com a parte dentada da desempenadeira.

Com o substrato padrão já com a argamassa aplicada, foram assentadas as amostras de cerâmica com uma distância entre elas e a borda, suficiente para que fosse possível encaixar o tripé do dinamômetro conforme indicado na NBR14081-2 (ABNT, 2012) (Figura 3).

Figura 3 – Disposição das amostras de cerâmica – cola – cortiça no substrato.



Fonte: a autora

Não houve dificuldades para a realização dessa etapa do ensaio e não foi gerada muita sujeira. Porém, ressalta-se que o processo foi demorado devido à necessidade de seguir os tempos estabelecidos na norma NBR14081-2 (ABNT, 2012) e NBR14081-4 (ABNT, 2012) para os três substratos, os quais foram executados no mesmo dia.

Após a realização do assentamento, o substrato padrão foi armazenado em local protegido, com umidade relativa de $60 \pm 2\%$ e temperatura ambiente ($23 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$). Aguardaram-se os 28 dias necessários para a realização do arrancamento das amostras, sendo que, alguns dias antes, foram coladas pastilhas metálicas sobre as amostras de cerâmica com adesivo epóxi (Figura 4).

Figura 4 – Foto das pastilhas metálicas coladas para o ensaio



Foto: a autora

Com o auxílio de um dinamômetro, foi coletada a resistência à tração de cada peça. Além dessa informação, analisou-se o local de ruptura, conseqüentemente o elo fraco do sistema.

3.3 RESULTADOS

Os resultados do ensaio de resistência de aderência à tração das amostras estão ilustrados nos itens 3.1.1 a 3.1.3 que seguem.

3.1.1 ECOFLOOR

Os resultados da resina acrílica “Ecofloor” podem ser vistos na Tabela 5.

Tabela 5 – Resultados obtidos no ensaio de aderência da cola Ecofloor.

| Amostra | Resultado (N) | Área (m ²) | Resultado (MPa) |
|---------|--------------------|------------------------|-----------------|
| 1 | Amostra descartada | | |
| 2 | 342 | 0,0025 | 0,14 |
| 3 | 915 | 0,0025 | 0,37 |
| 4 | 847 | 0,0025 | 0,34 |
| 5 | 1110 | 0,0025 | 0,44 |
| 6 | Amostra descartada | | |
| 7 | 1159 | 0,0025 | 0,46 |
| 8 | 359 | 0,0025 | 0,14 |
| 9 | 867 | 0,0025 | 0,35 |
| 10 | 624 | 0,0025 | 0,25 |

Fonte: a autora.

Média = 0,31115 MPa

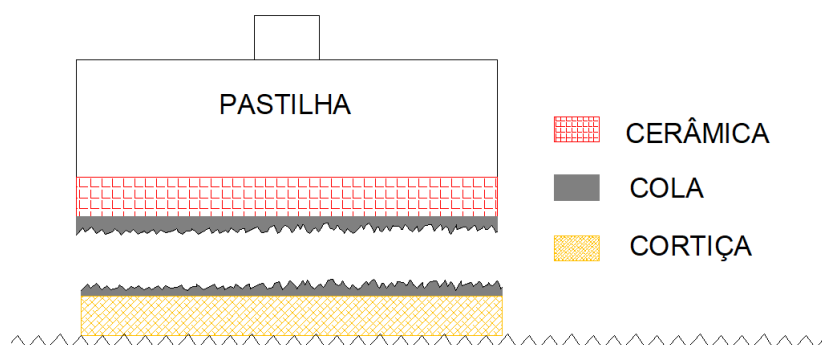
Desvio Padrão = 0,1243 MPa

CV = 40%

Mediana = 0,3428 MPa

Houve duas amostras descartadas antes do ensaio (amostras 1 e 6) por problemas de aderência no substrato e, no dia do ensaio, estavam soltas do substrato padrão. Outro ponto observado foi o local de rompimento do sistema que aconteceu na camada da cola e não foi um abrupto, foi quase imperceptível. A resina acrílica, mesmo após a cura, é muito elástica e, por esse motivo, não se chegou a ver o rompimento.

Figura 5 – Esquema da ruptura encontrada na cola Ecofloor



Fonte: a autora

3.1.2 COLA-PROJETO

Os resultados da resina acrílica “Cola-Projeto” podem ser vistos na Tabela 6.

Tabela 6 – Resultados obtidos no ensaio de aderência da cola Projeto

| Amostra | Resultado (N) | Área (m ²) | Resultado (MPa) |
|---------|--------------------|------------------------|-----------------|
| 1 | Amostra descartada | | |
| 2 | 1007 | 0,0025 | 0,4028 |
| 3 | 830 | 0,0025 | 0,332 |
| 4 | 1213 | 0,0025 | 0,4852 |
| 5 | 1012 | 0,0025 | 0,4048 |
| 6 | 340 | 0,0025 | 0,136 |
| 7 | 677 | 0,0025 | 0,2708 |
| 8 | 787 | 0,0025 | 0,3148 |
| 9 | 1087 | 0,0025 | 0,4348 |
| 10 | Amostra descartada | | |

Fonte: a autora.

Média = 0,3477 MPa

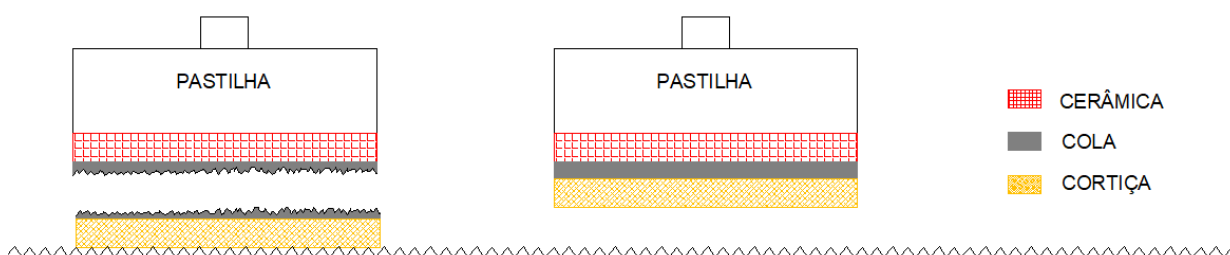
Desvio Padrão = 0,1101 MPa

CV = 32%

Mediana = 0,3674 MPa

Para essa resina também houve igual ocorrência: problemas de aderência no substrato nas amostras 1 e 10 . No dia do ensaio, estavam soltas do substrato padrão. O rompimento dessa resina acrílica apareceu nas amostras, em parte na cola e em parte na argamassa. Ele já foi abrupto e mais perceptível.

Figura 6 - Esquema da ruptura encontrada na cola Projeto



Fonte: a autora

3.1.3 BAUCRYL 10000

Os resultados da resina acrílica “Baucryl 10000” podem ser vistos na Tabela 7.

Tabela 7 - Resultados obtidos no ensaio de aderência da cola Baucryl 10000

| Amostra | Resultado (N) | Área (m ²) | Resultado (MPa) |
|---------|---------------|------------------------|-----------------|
| 1 | 402 | 0,0025 | 0,1608 |
| 2 | 782 | 0,0025 | 0,3128 |
| 3 | 586 | 0,0025 | 0,2344 |
| 4 | 1039 | 0,0025 | 0,4156 |
| 5 | 430 | 0,0025 | 0,172 |
| 6 | 1056 | 0,0025 | 0,4224 |
| 7 | 1160 | 0,0025 | 0,464 |
| 8 | 968 | 0,0025 | 0,3872 |
| 9 | 915 | 0,0025 | 0,366 |
| 10 | 790 | 0,0025 | 0,316 |

Fonte: a autora.

Média = 0,3251 MPa

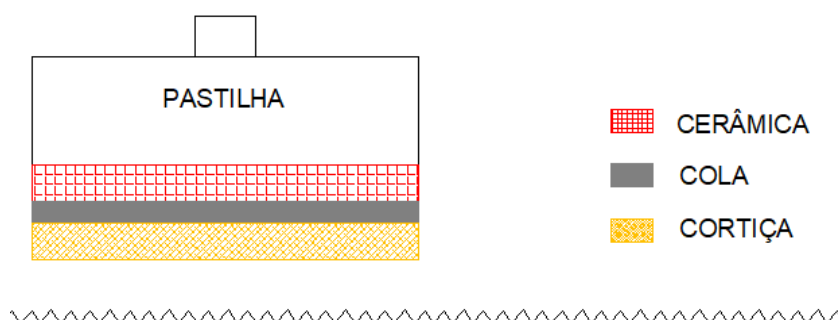
Desvio Padrão = 0,1061 MPa

CV = 33%

Mediana = 0,341 MPa

Essa resina acrílica não teve amostras com problemas de aderência com o substrato. O local de rompimento ocorreu apenas na argamassa. Ele também foi abrupto e perceptível.

Figura 7 - Esquema da ruptura encontrada na cola Baucryl 10000



Fonte: a autora

3.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE OS RESULTADOS

Com o ensaio de cada uma das três resinas acrílicas executadas, foi possível a análise dos valores encontrados no ensaio de tração das amostras cerâmicas e o local de rompimento de cada uma delas.

A partir dessas análises, escolheu-se a resina acrílica Baucryl 10000 que obteve 87,5% dos seus resultados acima do mínimo necessário e seu rompimento, em todas as amostras, foi na argamassa, ponto mais frágil da resina acrílica. O local de rompimento foi um fator determinante para essa escolha.

4 PROGRAMA EXPERIMENTAL: DESEMPENHO ACÚSTICO

Para a verificação do desempenho acústico da cerâmica com a cortiça aderida foi efetuado o ensaio de impacto com o Método de Engenharia previsto na norma ISO 16283-2 (ISO, 2018).

Ele consistiu em posicionar uma máquina chamada *tapping machine* sobre a composição a ser examinada, em pontos distintos do ambiente e, no andar imediatamente abaixo, posicionou-se o microfone, também em posições e alturas diferentes para a coleta das amostras.

4.1 PREPARAÇÃO PARA O ENSAIO

Preliminarmente, recorreu-se a uma grande construtora parceira para seleção do local do ensaio. Verificou-se, entre as obras em andamento, quais estavam na etapa ideal para tal atividade. Além do mais, buscaram-se ambientes de tamanho adequado que se encaixavam no perfil necessário para o experimento de desempenho acústico.

Então, visitou-se a obra escolhida para seleção dos ambientes em que seria possível a realização do ensaio de impacto e alinhamento sobre os fechamentos que deveriam ser executados. Também foi combinado com a construtora quando os materiais deveriam chegar e as datas para a realização do trabalho de forma que ele não interferisse no cronograma da obra.

Foram escolhidos dormitórios de uma mesma “prumada” (um acima do outro) e do mesmo tamanho, para evitar diferenciação nos ruídos externos provenientes do entorno, que poderiam interferir nos resultados do ensaio.

A colagem das peças cerâmicas seguiu um procedimento análogo do utilizado na confecção dos corpos de prova dos ensaios laboratoriais. Espalhou-se a cola selecionada em um grande rolo de cortiça de 7 m² pela manhã. Na parte da tarde, do mesmo dia, foram feitos todos os recortes. O processo desenvolveu-se na garagem da residência do autor.

Após 24 horas da colagem, as peças compostas por cerâmica + cortiça foram transportadas para a obra. O local de armazenamento, antes da instalação, era próximo dos ambientes de ensaio, fechado e protegido; as peças, posicionadas em cima de paletes, para que não ficassem em contato com o chão.

As portas e janelas dos ambientes foram fechados com “sandwiches” de madeirite com bidim, de maneira a minimizar os ruídos externos (o ruído de fundo deve ser inferior ao ruído pelo equipamento de ensaio).

O assentamento da peça cerâmica + cortiça assemelhou-se ao da peça sem cortiça, ou seja, sem dificuldades extras. Usaram os mesmos materiais e equipamentos de aplicação como argamassa colante, desempenadeira dentada e espaçador. Processou-se o assentamento com a argamassa colante aplicando-a diretamente, na laje, com a desempenadeira. Primeiramente, a argamassa foi aplicada com a parte lisa imprimando a argamassa e, com os dentes da ferramenta, foram abertos os cordões. O resultado da aplicação das duas cerâmicas ficou visualmente similar na Figura 8.

Figura 8 – Cerâmica com cortiça aplicada no ambiente a ser ensaiado



Fonte: a autora

4.2 O ENSAIO

As quatro composições idealizadas para o ensaio estão no Quadro 2 abaixo.

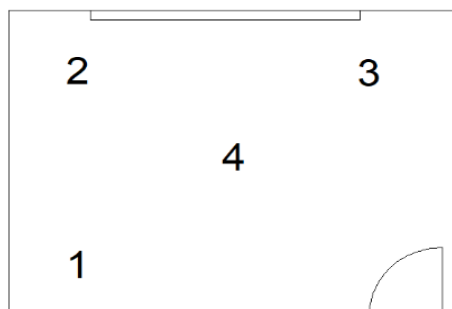
Quadro 2 – Disposição dos pisos ensaiados na obra.

| Pavimento | Cenários |
|-----------|----------------------------------|
| 5° | Apenas laje 10 cm |
| 4° | Cerâmica + cortiça na laje 10 cm |
| 3° | Cerâmica direto na laje 10 cm |
| 2° | Laje 10 cm + Contrapiso de 3 cm |
| 1° | Vazio |

Fonte: a autora.

Cada composição foi ensaiada da seguinte forma: a *tapping machine* foi colocada em quatro posições diferentes dentro do ambiente (Figura 99) e, para cada uma dessas posições, o microfone, que estava no ambiente imediatamente abaixo, foi colocado em outros quatro pontos obtendo 16 resultados por cenário. O ensaio durou 10 segundos por ponto e foi realizado três vezes.

Figura 9 – Posicionamento da *tapping machine* e microfone nos cenários.



Fonte: a autora.

4.3 RESULTADOS

Com a realização do ensaio de acústica da obra, obtiveram-se os resultados encontrados na Tabela 8 **Error! Reference source not found.**

Tabela 8 - Resultados obtidos no ensaio de acústica por piso.

| | L'nT,w (dB) | L'nT,w (dB) NBR 15575-3:2013 Mínimo |
|---|-------------|---|
| Laje 10 cm | | |
| 1ª Medição | 83 | 80 |
| 2ª Medição | 82 | 80 |
| 3ª Medição | 83 | 80 |
| Laje 10 cm + Cerâmica | | |
| 1ª Medição | 80 | 80 |
| 2ª Medição | 80 | 80 |
| 3ª Medição | 80 | 80 |
| Laje 10 cm + Contrapiso 3 cm | | |
| 1ª Medição | 79 | 80 |
| 2ª Medição | 78 | 80 |
| 3ª Medição | 78 | 80 |
| Laje 10cm + Cerâmica com Cortiça | | |
| 1ª Medição | 71 | 80 |
| 2ª Medição | 72 | 80 |
| 3ª Medição | 72 | 80 |

Fonte: a autora².

E os resultados obtidos no ensaio de acústica por frequência de cada amostra podem ser verificados na Tabela 9.

Tabela 9 - Resultados obtidos no ensaio de acústica por frequência.

| Laje 10 cm | | Laje 10 cm + cerâmica | | Laje 10cm + contrapiso | | Laje 10 cm + cerâmica + cortiça | |
|----------------------|--------------|-----------------------|--------------|------------------------|--------------|------------------------------------|--------------|
| Frequência f,(Hz) | L'nT (dB) | Frequência f,(Hz) | L'nT (dB) | Frequência f,(Hz) | L'nT (dB) | Frequência f,(Hz) | L'nT (dB) |
| 63 | -- | 63 | -- | 63 | -- | 63 | -- |
| 125 | 65,4 | 125 | 65,2 | 125 | 66,5 | 125 | 67,6 |
| 250 | 78,5 | 250 | 75,8 | 250 | 74,2 | 250 | 76,9 |
| 500 | 82,4 | 500 | 79,6 | 500 | 78,3 | 500 | 79,4 |
| 1000 | 81,9 | 1000 | 78,9 | 1000 | 77,7 | 1000 | 74,8 |
| 2000 | 81,2 | 2000 | 78,5 | 2000 | 76,9 | 2000 | 63,5 |
| 4000 | -- | 4000 | -- | 4000 | -- | 4000 | -- |

Fonte: a autora².

² Calculado com o software dBati, fornecido pela empresa 01dB.

4.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE OS RESULTADOS

Os resultados do ensaio de desempenho acústico de cada composição e a variação deles podem ser encontrados na Tabela 10.

Tabela 10 – Resumo dos resultados obtidos do desempenho acústico dos sistemas ensaiados.

| Sistema | L'nT,w (dB) NBR 15575-3:2013 Mínimo entre unidades habitacionais | Resultado (dB) | Δ L'nT (Laje – Sistema) (dB) |
|---------------------------|---|-------------------|--|
| Laje | | 83 | 0 |
| Laje + cerâmica | 80 | 80 | 3 |
| Laje + contrapiso | | 78 | 5 |
| Laje + cerâmica + cortiça | | 72 | 11 |

Fonte: a autora.

Assim, observa-se como a cortiça em conjunto com a cerâmica faz diferença. Há uma redução de 10% do L'nT em relação à peça tradicional. Outra observação é que o melhor desempenho foi da peça cerâmica com cortiça aderida.

Outro ponto observado é o resultado por frequência de cada um dos sistemas. A cortiça com cerâmica aderida se mostrou um produto com pior desempenho acústico em baixas frequências; porém, nas altas frequências de 1000 e 2000 Hz, ela é o produto com o melhor desempenho de todos os ensaiados.

5 VIABILIDADE ECONÔMICA

5.1 LEVANTAMENTO DE CUSTOS

Para um estudo mais aprofundado sobre esse assunto, fez-se um levantamento de somatória dos gastos para a realização deste novo produto. Assim, com a resina acrílica, anteriormente escolhida, calculou-se uma composição de preço de custo de cada item do produto, resultando no custo final da cerâmica com cortiça aderida. Simultaneamente, analisou-se o mesmo levantamento de um dos métodos utilizados para ajudar o desempenho acústico das lajes que é o contrapiso de 3 cm, já ensaiado em obra. Diante disso, o resultado, obtido pela comparação de custo direto dos dois elementos por área, pode ser verificado nas Tabelas 11 e 12 apresentadas abaixo.

Tabela 11 – Valores de custo para execução de contrapiso de 3cm.

| | | Quantidade /m ² | Preço | Total |
|------------------|-------------------------|----------------------------|--------|--------------|
| Custo MO | | 1,00 | 25,00 | 25,00 |
| Custo MAT | Cimento (saco) | 0,29 | 20,90 | 6,06 |
| | Areia (m ³) | 0,032 | 186,90 | 5,98 |
| | Total | | | 37,04 |

Fonte: diversos³.

Tabela 12 - Valores de custo para execução de cerâmica com cortiça aderida.

| | | Quantidade /m ² | Preço | Total |
|------------------|----------------------------|----------------------------|-------|--------------|
| Custo MO | | 1,00 | 29,00 | 29,00 |
| Custo MAT | Cerâmica (m ²) | 1,00 | 12,49 | 12,49 |
| | Cortiça (m ²) | 1,00 | 17,47 | 17,47 |
| | Argamassa cola (saco) | 0,25 | 11,99 | 3,00 |
| | Cola Baucryl 10000 (kg) | 0,75 | 25,00 | 18,75 |
| | Total | | | 80,71 |

Fonte: diversos⁴.

³ O custo da mão de obra foi retirado de um orçamento feito pela construtora em que a autora trabalhava e o custo da areia e cimento foi retirado da internet (Leroy Merlin, 2018).

⁴ O custo da mão de obra foi retirado de um orçamento feito pela construtora em que a autora trabalhava, o custo da argamassa colante foi retirado da internet (C&C,2019), o preço da cerâmica foi retirada da nota fiscal entregue ao autor no dia da retirada das peças cerâmicas, o preço da cortiça foi encaminhado por e-mail ao autor por empresa estrangeira (FERNANDO, 2018), e o preço da cola também foi encaminhado ao autor por e-mail pelo parceiro (ROCHA, 2018).

5.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE O LEVANTAMENTO DE CUSTOS

Com o levantamento dos custos, foi observada uma discrepância acentuada no valor final de cada sistema. O valor do produto cerâmica + cortiça instalado representa mais que o dobro que o sistema de contrapiso, o que dificultaria a inserção do produto no mercado, visto que, de início, a pesquisa objetivava encontrar um atendimento ao desempenho acústico com um custo acessível .

6 CONCLUSÃO

A necessidade de novas tecnologias que atendam aos critérios de norma e do mercado são crescentes. É perceptível, pela bibliografia encontrada, que o Brasil possui critérios de norma de desempenho relacionados à acústica muito abaixo de normas internacionais, fazendo com que, técnicas e materiais comuns, respeitem os critérios mínimos, que, nem sempre, o cliente entende como conforto acústico.

Esse projeto de pesquisa propôs a cortiça aderida à peça cerâmica como boa solução de isolamento, com o propósito de atender melhor aos critérios de acústica, não apenas com o mínimo de norma, mas também com a resolução de casos em que outros sistemas não se encaixariam.

Quando comparamos os resultados encontrados da cerâmica com cortiça aderida com os das pesquisas estudadas anteriormente, percebe-se que o revestimento proposto é o que possui o menor desempenho acústico. BURATTI e MURETTI (2006) obtiveram os resultados dos revestimentos ensaiados com ΔL_w entre 14 e 35 dB diferentemente do produto proposto que possui um ΔL_w de 11 dB.

Já PEDROSO (2007), que também propõe sistemas de pisos flutuantes, tem resultados (L'_{nTw}) variando entre 67 e 50 dB. Com o resultado (L'_{nTw}) de 72 dB, o revestimento proposto fica muito aquém dos demais. Contudo, os sistemas de pisos flutuantes, propostos pelos pesquisadores, possuem mais camadas que auxiliam no desempenho acústico.

Na pesquisa de CORNACCHIA (2009), a cerâmica foi o revestimento de piso com o pior resultado. Como, nesta pesquisa, foi verificado que a cerâmica aderida para altas frequências é melhor do que o contrapiso, então há, pelo menos, um revestimento em que o produto proposto é melhor que os outros pesquisados.

Mesmo assim, foi possível perceber que ele é viável do ponto de vista de ruído de impacto nas circunstâncias ensaiadas⁵. Tecnicamente, quando o entrepiso avaliado separar duas áreas privativas, esse produto atende aos critérios de norma de resistência à tração conforme a 14081 (ABNT, 2012) e aos critérios da norma de desempenho em relação à acústica conforme NBR 15575-3 (ABNT, 2013).

No caso de lajes que separam áreas de uso coletivo e unidades habitacionais, o resultado obtido não foi satisfatório.

⁵ Além da espessura da laje, outras variáveis como as dimensões dela, o volume do ambiente, o tipo de estrutura e outras características intrínsecas da obra em questão influenciam os resultados.

Ao compararmos os resultados desta pesquisa a critérios internacionais, percebe-se que esse produto não passaria pelas normas de acústica de alguns países. Áustria, Bélgica, França, Espanha e Reino Unido são alguns países que adotam o mesmo requisito – $L_{nT,w}$ (dB) – para possível comparação. O menor mínimo encontrado é de 65 dB da norma da Espanha e o maior é 48 dB da norma da Áustria. Percebe-se, portanto, que o resultado da solução proposta se encontra distante da realidade dos limites internacionais.

Entretanto, ele apresenta pontos positivos que podem ser destacados: sua instalação ocorre de forma tradicional; por ser um revestimento, já é o acabamento final; também pode ser aplicado diretamente na laje⁶, sem necessidade de tratamento no piso. Pode ser uma solução indicada para casos de reformas nas quais se precisa melhorar o desempenho acústico, conquanto haja problemas de pé direito baixo, peitoril baixo, etc.

Conclui-se, dessa forma, que o objetivo principal do trabalho foi atendido, já que a cerâmica com cortiça aderida é um produto que, se utilizado em lajes que separam áreas privativas, apresenta desempenho acústico adequado do ponto de vista do ruído de impacto. Sua viabilidade técnica foi verificada e a análise de viabilidade econômica, realizada.

Nesta pesquisa, há algumas questões que poderiam ser mudadas e dados que deveriam ser coletados e acrescentados: a tomada de mais fotos durante todo o processo dos ensaios de tração; fotos das amostras após o arrancamento; fotos dos ambientes ensaiados e a realização de um ensaio de aderência do revestimento aplicado no canteiro de obras.

Sugestões para estudos futuros:

- Verificação da influência da solução proposta na redução de etapas de execução e, por conseguinte, no custo geral da obra;
- Busca por outros materiais que podem, em conjunto com a cerâmica, apresentar o desempenho acústico necessário, porém com preço mais acessível;
- Verificação de desempenho de outros tipos de cerâmica e de colas do mercado e outras espessuras de cortiça;

⁶ Desde que seja razoavelmente plana.

- Análise dos demais aspectos de desempenho que envolvem a especificação da solução apresentada para complementação da verificação da sua adequação técnica.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 14081: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas: Requisitos**. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 14081-2: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas. Parte 2: Execução do substrato-padrão e aplicação da argamassa para ensaios**. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 14081-4: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas. Parte 4: Determinação da resistência de aderência à tração**. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15575-3: Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho. Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos**. Rio de Janeiro, 2013. 55p.

BISTAFA, S. R. **Acústica aplicada ao controle de ruído**. São Paulo: Edgar Blucher, 2006. 380p.

BURATTI, C.; MORETTI, E.. **Impact noise reduction: laboratory and field measurements of different materials performances**. In: Euronoise Conference 2006, 6., 2006, Tampere, 2006.

C&C, Pesquisa de preços de areia 2019. Disponível em: <https://www.cec.com.br/material-de-construcao/cimentos-e-argamassas/argamassas/argamassa-colante-cimentcola-interno-cinza-20kg?produto=1035361>>. Acesso em: Junho 2019

CORNACCHIA, G. M. M. **Investigação in-situ do isolamento sonoro ao ruído de impacto em edifícios residenciais**. 2009. 142 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

FERNANDO, A. **Cotação de cortiça Brasil**. [mensagem pessoal] Mensagem recebida por: <michelle.codato@globo.com>. em: 09 fev. 2018

FERRAZ, R. **Atenuação de ruído de impacto em pisos de edificações de pavimentos múltiplos**. 2008. 144 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 16283-2: Acoustics – Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 2: Impact sound insulation**. Suíça (Genebra): 2018. 45p.

Jornal Nacional. **Construtoras terão que seguir regras mais rígidas de isolamento acústico**. G1, São Paulo, p. 1. 19 Jul. 2013. Disponível em: <<http://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2013/07/construtoras-terao-que-seguir-regras-mais-rigidas-de-isolamento-acustico.html>>. Acesso em: 02 jul. 2018.

Leroy Merlin, Pesquisa de preços de areia 2019. Disponível em: <https://www.leroymerlin.com.br/areia-media-lavada-m3-grupo-tomino_89851643>. Acesso em: Junho 2019

Leroy Merlin, pesquisa de preços de cimento 2019. Disponível em: <https://www.leroymerlin.com.br/cimento-votoran-todas-as-obras-saco-de-50kg_89368944>. Acesso em: Junho 2019

MATEUS, C. R. G. **Desenvolvimento de solução combinada de aglomerados com cortiça para subcamadas de revestimento e de lajeta com comportamento acústico otimizado**. 2015. 145 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Porto, Porto, 2015.

PEDROSO, M. A. T. **Estudo comparativo entre as modernas composições de pisos flutuantes quanto ao desempenho no isolamento ao ruído de impacto.** 2007. 141 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

REZENDE, J. B. de *et al.* **Uma análise de critérios de desempenho acústico para sistemas de pisos em edificações.** In: SIMMEC/EMMCOMP 2014, 6., 2014, Juiz de Fora. Juiz de Fora, 2014.

REZENDE, J. B. de. **Modelo Estatístico para Análise Objetiva e Subjetiva da Influência do Ruído de Impacto de Piso em Edificações.** 2014. 115 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014

ROCHA, Dleon. **Projeto de Monografia USP.** [mensagem pessoal] Mensagem recebida por: <michelle.codato@globo.com>. em: 01 jun. 2018.

SABBATINI, F. H. **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos - formulação e aplicação de uma metodologia.** 1989. 334 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Usp, São Paulo, 1989.

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