

**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

Renan Wester Lamb

**ANÁLISE DO DESEMPENHO ACÚSTICO DE CONTRAPISO FLUTUANTE  
REFORÇADO COM FIBRAS POLIMÉRICAS**

Santa Cruz do Sul  
2020

Renan Wester Lamb

**ANÁLISE DO DESEMPENHO ACÚSTICO DE CONTRAPISO FLUTUANTE  
REFORÇADO COM FIBRAS POLIMÉRICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade de Santa Cruz do Sul, como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Ms. Marcus Daniel Friederich dos Santos.

Santa Cruz do Sul

2020

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus, que está presente em cada passo que dou.

Agradeço à minha esposa Lillian, meu porto seguro, a maior apoiadora em todos os momentos e decisões da minha vida, e que foi extremamente compreensiva com minhas ausências. Obrigado por seu amor incondicional.

Ao meu orientador Marcus Daniel, que me deu a oportunidade de realizar um estudo tão importante como este e pelas valiosas contribuições dadas ao longo deste estudo.

Ao meu irmão Nairo, e aos amigos Carlos, Djenifer, Eduardo, Giseli e Julian que trouxeram diversas contribuições e que foram grandes incentivadores no desenvolvimento deste trabalho.

Aos funcionários da construtora Pavei, engenheiro Fellipe, estagiários Eduardo e Reny, e mestre de obras Everton, aos funcionários da MMC Lab, o arquiteto e urbanista Cláudio e o estagiário Gabriel, por todo apoio técnico e que foram essenciais para a conclusão deste estudo.

*“Otimismo é a fé que leva à realização.  
Nada pode ser feito sem esperança e confiança”  
Helen Keller*

## **ABSTRACT**

Aiming to meet the minimum acoustic insulation performance criteria of the floor system of the autonomous units of a building, this work analyzed whether the floating subfloor system with the addition of polymeric fibers over the acoustic mat meets the requirements established in the ABNT NBR 15575, of 2013, taking into account the variation in the thickness of the subfloor layer. For this analysis, an impact insulation test was carried out on 16 samples, using the measurement methodology specified in ISO 16283-2, 2018. Two mechanical tests were also carried out, namely the compressive strength test and the tensile strength by diametrical compression. From the results obtained, it was possible to verify that all the subfloors with the addition of polymeric fibers on the analyzed acoustic mat reached the acoustic performance requirements established in the norm. The study demonstrated that, despite the literature recommending screeds with thickness greater than 4 cm, the screeds with thicknesses of 2 and 3 cm meet intermediate levels of acoustic performance. With that, it is concluded that the polymeric fibers can be applied as an alternative to the reinforcement of the subfloor, guaranteeing satisfactory acoustic and mechanical performance, replacing the steel screens and allowing a productivity gain in the application of the system.

**Keywords:** Performance standard. Acoustic comfort. Floating counterfloor. Polymeric fibers.

## RESUMO

Objetivando atender aos critérios mínimos de desempenho de isolamento acústico do sistema de piso das unidades autônomas de um edifício, este trabalho analisou se o sistema de contrapiso flutuante com adição de fibras poliméricas sobre manta acústica atende os requisitos estabelecidos na norma ABNT NBR 15575, de 2013, levando em consideração a variação da espessura da camada de contrapiso. Para esta análise foi realizado ensaio de isolamento ao ruído de impacto em 16 amostras, utilizando a metodologia de medição especificada na ISO 16283-2, de 2018. Também foram realizados dois ensaios mecânicos, sendo eles o ensaio de resistência à compressão e o ensaio de resistência à tração por compressão diametral. A partir dos resultados obtidos, foi possível verificar que todos os contrapisos com adição de fibras poliméricas sobre manta acústica analisados alcançaram aos requisitos de desempenho acústico estabelecidos em norma. O estudo demonstrou que, apesar da literatura recomendar contrapisos com espessura superior a 4 cm, os contrapisos com espessura de 2 e 3 cm atendem os níveis intermediários de desempenho acústico. Com isso, conclui-se que as fibras poliméricas podem ser aplicadas como alternativa ao reforço do contrapiso, garantindo desempenho acústico e mecânico satisfatórios, substituindo as telas de aço e permitindo um ganho de produtividade na aplicação do sistema.

Palavras-chave: Norma de desempenho. Conforto acústico. Contrapiso flutuante. Fibras poliméricas.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 - Exemplo genérico de sistema de piso com camada de contrapiso              | 17 |
| Figura 2 - Exemplo genérico de contrapiso aderido                                    | 26 |
| Figura 3 - Interface de contrapiso flutuante   | 28 |
| Figura 4 - Exemplo de contrapiso flutuante executado                                 | 31 |
| Figura 5 - Detalhe de rodapé   | 32 |
| Figura 6 - Representação de um sistema massa-mola                                    | 33 |
| Figura 7 - Esquema de ensaio para determinação da Rigidez Dinâmica                   | 34 |
| Figura 8 - Atuação da fibra em fissura   | 38 |
| Figura 9 - Geometria dos diversos tipos de fibras de aço                             | 41 |
| Figura 10 - Microfibras poliméricas (a) fibriladas e (b) monofilamentos              | 43 |
| Figura 11 - Fibra TUF-STRAND-SF  | 48 |
| Figura 12 – Exemplificação da aplicação da manta Tipo 1                              | 50 |
| Figura 13 - Exemplificação da aplicação da manta Tipo 2                              | 50 |
| Figura 14 - Exemplificação da aplicação da manta Tipo 3                              | 51 |
| Figura 15 - Resultados do Relatório Técnico nº 90907-205                             | 52 |
| Figura 16 - Gerador de som de impacto  | 54 |
| Figura 17 - Sonômetro  | 55 |
| Figura 18- Funcionamento do equipamento utilizado nos ensaios de compressão e tração | 56 |
| Figura 19 - Medidas dos dormitórios ensaiados  | 57 |
| Figura 20 - Furo de 8 mm realizado em laje   | 58 |
| Figura 21 - Medidor produzido manualmente  | 58 |
| Figura 22 – Aplicação da manta Tipo 3  | 60 |
| Figura 23 - Aplicação da manta Tipo 1  | 61 |
| Figura 24 - Aplicação da manta Tipo 2  | 61 |
| Figura 26 - Maquinário utilizado para bombeamento do contrapiso                      | 62 |
| Figura 26 - Argamassa "farofa" com adição das fibras                                 | 63 |
| Figura 27 - Chegada da argamassa "farofa" bombeada ao dormitório                     | 63 |
| Figura 28 - Contrapiso logo após ser nivelado e desempenado                          | 64 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 29 – Resultado da aplicação do contrapiso e detalhes da manta                           | 65 |
| Figura 30 - Detalhe das fibras aparentes na superfície do contrapiso executado                 | 65 |
| Figura 31 - Posicionamento do corpo de prova para ensaio de resistência a compressão           | 68 |
| Figura 32 - Posicionamento do corpo de prova para ensaio de resistência à compressão diametral | 69 |
| Figura 33 - Comportamento de amostra ensaiada  | 70 |

## LISTA DE GRÁFICOS

|   |    |
|---|----|
| Gráfico 1 - Estimativas de cálculo para redução sonora                | 35 |
| Gráfico 2 - Diagrama tensão-deformação de fibras                      | 40 |
| Gráfico 3 - Influência do teor de macrofibras no ganho de resistência | 43 |
| Gráfico 4 - Relação do teor de dosagem com o ganho de desempenho      | 44 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 - Classificações do cimento   | 19 |
| Tabela 2 - Influência das características das areias sobre argamassas          | 20 |
| Tabela 3 - Principais tipos de aditivos  | 21 |
| Tabela 4 - Reforços recomendados na camada de contrapiso                       | 29 |
| Tabela 5 - Requisitos exigidos para a argamassa de regularização               | 29 |
| Tabela 6 - Referência de traços orientativos                                   | 29 |
| Tabela 7 - Controle de execução do contrapiso flutuante                        | 32 |
| Tabela 8 - Correlações entre rigidez dinâmica e redução sonora                 | 35 |
| Tabela 9 - Níveis de ruído de impacto nas mantas acústicas da empresa AUBICON  | 36 |
| Tabela 10 - Características técnicas das mantas Viapol                         | 37 |
| Tabela 11 - Isolamento acústico de diferentes materiais em camadas resilientes | 37 |
| Tabela 12 - Propriedade de variados tipos de fibras                            | 39 |
| Tabela 13 – Requisitos da NBR 15530:2019 para as fibras de aço                 | 41 |
| Tabela 14 - Níveis de desempenho ao ruído de impacto em sistema de pisos       | 52 |
| Tabela 15 - Disposição das aplicações da manta Tipo 1 e sem manta              | 59 |
| Tabela 16 - Disposição das aplicações da manta Tipo 2                          | 59 |
| Tabela 17 - Disposição das aplicações da manta Tipo 3                          | 59 |
| Tabela 18 - Critérios e níveis de pressão sonora de impacto padrão ponderado,  | 66 |
| Tabela 19 - Requisitos mínimos para amostras de contrapiso                     | 66 |
| Tabela 20 - Número de camadas para moldagem dos corpos de prova                | 67 |
| Tabela 21 - Resultados de resistência à compressão                             | 68 |
| Tabela 22 - Resultados de resistência à tração por compressão diametral        | 69 |
| Tabela 23 - Resultados os ensaios de desempenho acústico                       | 71 |
| Tabela 24 - Comparativo entre espessuras totais (laje + contrapiso)            | 72 |
| Tabela 25 - Comparação entre mantas  | 72 |
| Tabela 26 - Comparação entre mantas para contrapiso de 2 cm                    | 73 |
| Tabela 27 - Comparação entre mantas para contrapiso de 3 cm                    | 74 |
| Tabela 28 - Comparação entre mantas para contrapiso de 4 cm                    | 74 |
| Tabela 29 - Comparação entre mantas para contrapiso de 5 cm                    | 75 |
| Tabela 30 - Comparação entre mantas para contrapiso de 6 cm                    | 76 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|             |   |
|-------------|---|
| ABCP        | Associação Brasileira de Cimento Portland                       |
| ABNT        | Associação Brasileira de Normas Técnicas                        |
| AENOR       | <i>Asociación Española de Normalización y Certificación</i>     |
| ANAPRE      | Associação Nacional de Pisos e Revestimentos de Alto Desempenho |
| BS          | <i>British Standard</i>   |
| CP          | Cimento Portland  |
| IPT         | Instituto de Pesquisas Tecnológicas                             |
| ISO         | <i>International Organization for Standardization</i>           |
| NBR         | Norma Brasileira  |
| PROACÚSTICA | Associação Brasileira para Qualidade Acústica                   |
| UNE         | <i>Una Norma Española</i>                                       |

## LISTA DE SÍMBOLOS

|                 |  |
|-----------------|--|
| $L'_{nT,w}$     | Nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado      |
| kg              | Quilograma   |
| mm              | Milímetro  |
| $\text{kg/m}^3$ | Quilograma por metro cúbico                              |
| kg/Litro        | Quilograma por litro                                     |
| MPa             | Megapascal   |
| $\mu\text{m/m}$ | Micrômetro por metro                                     |
| cm              | Centímetro   |
| $\text{m}^2$    | Metro quadrado   |
| $\text{kg/m}^2$ | Quilograma por metro quadrado                            |
| dB              | Decibel  |
| $\text{MN/m}^2$ | Meganewton por metro quadrado                            |
| m               | Metro  |
| $\Delta L_w$    | Redução ponderada do nível de pressão sonora de impactos |
| $\text{MN/m}^3$ | Meganewton por metro cúbico                              |
| $\text{g/cm}^3$ | Grama por metro cúbico                                   |
| GPa             | Gigapascal   |
| %               | Porcentagem  |
| $\sigma$        | Tensão   |
| $\varepsilon$   | Deformação   |
| kPa             | Kilopascal   |
| Hz              | Hertz  |
| kgf             | Quilograma-força   |
| N               | Newton   |

## SUMÁRIO

|                  |   |           |
|------------------|---|-----------|
| <b>1.</b>        | <b>INTRODUÇÃO .....</b>   | <b>14</b> |
| <b>1.1</b>       | <b>Objetivos .....</b>  | <b>14</b> |
| <b>1.1.1</b>     | <b>Objetivo geral .....</b>                                     | <b>14</b> |
| <b>1.1.2</b>     | <b>Objetivos específicos .....</b>                              | <b>15</b> |
| <b>1.2</b>       | <b>Justificativa.....</b>                                       | <b>15</b> |
| <b>2.</b>        | <b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>                               | <b>17</b> |
| <b>2.1</b>       | <b>Contrapiso .....</b>   | <b>17</b> |
| <b>2.1.1</b>     | <b>Materiais constituintes da argamassa de contrapiso .....</b> | <b>19</b> |
| <b>2.1.2</b>     | <b>Propriedades da argamassa de contrapiso .....</b>            | <b>21</b> |
| <b>2.1.2.1</b>   | <b>Resistência mecânica .....</b>                               | <b>22</b> |
| <b>2.1.2.2</b>   | <b>Resistência ao desgaste superficial por abrasão .....</b>    | <b>22</b> |
| <b>2.1.2.3</b>   | <b>Resistência ao choque e ao puncionamento.....</b>            | <b>23</b> |
| <b>2.1.2.4</b>   | <b>Compacidade.....</b>   | <b>23</b> |
| <b>2.1.2.5</b>   | <b>Cura .....</b>   | <b>23</b> |
| <b>2.1.2.6</b>   | <b>Módulo de elasticidade .....</b>                             | <b>24</b> |
| <b>2.1.3</b>     | <b>Tipos de contrapiso .....</b>                                | <b>24</b> |
| <b>2.1.3.1</b>   | <b>Contrapiso convencional.....</b>                             | <b>25</b> |
| <b>2.1.3.2</b>   | <b>Contrapiso autonivelante .....</b>                           | <b>25</b> |
| <b>2.1.3.3</b>   | <b>Contrapiso aderido .....</b>                                 | <b>26</b> |
| <b>2.1.3.4</b>   | <b>Contrapiso não aderido .....</b>                             | <b>27</b> |
| <b>2.1.3.5</b>   | <b>Contrapiso flutuante .....</b>                               | <b>27</b> |
| <b>2.1.3.5.1</b> | <b>Execução de contrapiso flutuante .....</b>                   | <b>30</b> |
| <b>2.2</b>       | <b>Mantas acústicas.....</b>                                    | <b>33</b> |
| <b>2.2.1</b>     | <b>Rigidez dinâmica .....</b>                                   | <b>34</b> |
| <b>2.2.2</b>     | <b>Fluência à compressão.....</b>                               | <b>35</b> |
| <b>2.2.3</b>     | <b>Tipos de mantas acústicas.....</b>                           | <b>36</b> |
| <b>2.3</b>       | <b>Fibras utilizadas no reforço do contrapiso .....</b>         | <b>38</b> |
| <b>2.3.1</b>     | <b>Fibras de aço .....</b>                                      | <b>40</b> |
| <b>2.3.2</b>     | <b>Fibras poliméricas sintéticas (macrofibras) .....</b>        | <b>42</b> |
| <b>2.3.3</b>     | <b>Microfibras.....</b>   | <b>43</b> |

|                |  |           |
|----------------|--|-----------|
| <b>2.4</b>     | <b>Fundamentos de Acústica.....</b>                                  | <b>44</b> |
| <b>2.4.1</b>   | <b>Som e Ruído .....</b>   | <b>44</b> |
| <b>2.4.1.1</b> | <b>Ruído de Impacto .....</b>  | <b>45</b> |
| <b>2.4.1.2</b> | <b>Ruído Aéreo .....</b>   | <b>45</b> |
| <b>3.</b>      | <b>METODOLOGIA .....</b>   | <b>47</b> |
| <b>3.1</b>     | <b>Caracterização dos contrapisos e seus materiais .....</b>         | <b>47</b> |
| <b>3.1.1</b>   | <b>Cimento .....</b>   | <b>47</b> |
| <b>3.1.2</b>   | <b>Agregado miúdo.....</b>   | <b>47</b> |
| <b>3.1.3</b>   | <b>Água .....</b>  | <b>47</b> |
| <b>3.1.4</b>   | <b>Fibras poliméricas.....</b>                                       | <b>48</b> |
| <b>3.2</b>     | <b>Determinação do traço e das espessuras do contrapiso .....</b>    | <b>48</b> |
| <b>3.3</b>     | <b>Mantas acústicas.....</b>   | <b>49</b> |
| <b>3.4</b>     | <b>Ensaio realizados para avaliação das amostras .....</b>           | <b>53</b> |
| <b>3.4.1</b>   | <b>Ensaio de ruído de impacto.....</b>                               | <b>53</b> |
| <b>3.4.1.1</b> | <b>Gerador de som de impacto .....</b>                               | <b>53</b> |
| <b>3.4.1.2</b> | <b>Sonômetro .....</b>   | <b>54</b> |
| <b>3.4.2</b>   | <b>Ensaio de resistência à compressão.....</b>                       | <b>55</b> |
| <b>3.4.3</b>   | <b>Ensaio de resistência à tração por compressão diametral .....</b> | <b>56</b> |
| <b>4.</b>      | <b>RESULTADOS.....</b>   | <b>57</b> |
| <b>4.1</b>     | <b>Locação, produção e moldagem dos corpos de prova.....</b>         | <b>57</b> |
| <b>4.1.1</b>   | <b>Aplicação das mantas acústicas .....</b>                          | <b>59</b> |
| <b>4.1.2</b>   | <b>Aplicação da argamassa de contrapiso .....</b>                    | <b>62</b> |
| <b>4.2</b>     | <b>Análise dos resultados .....</b>                                  | <b>66</b> |
| <b>4.3</b>     | <b>Ensaio de resistência mecânica dos corpos de prova .....</b>      | <b>66</b> |
| <b>4.3.1</b>   | <b>Resistência à compressão .....</b>                                | <b>67</b> |
| <b>4.3.2</b>   | <b>Resistência à tração por compressão diametral .....</b>           | <b>68</b> |
| <b>4.3.3</b>   | <b>Comportamento mecânico .....</b>                                  | <b>70</b> |
| <b>4.4</b>     | <b>Ensaio de desempenho acústico .....</b>                           | <b>70</b> |
| <b>5.</b>      | <b>CONCLUSÃO .....</b>   | <b>77</b> |
| <b>5.1</b>     | <b>Sugestões para trabalhos futuros .....</b>                        | <b>78</b> |
|                | <b>REFERÊNCIAS.....</b>  | <b>80</b> |

## **1. INTRODUÇÃO**

Visando atender a grande demanda gerada pelo exponente crescimento populacional e obter o máximo aproveitamento dos terrenos, inúmeras obras verticais têm surgido no cenário das cidades brasileiras.

Um dos problemas gerados pela exacerbada quantidade de moradores que residem nessas construções é o grande nível de ruído gerado. Conforme Costa (2003, apud PARISE, 2018, p. 18), “o ruído é caracterizado como sons indesejáveis, os quais perturbam a audição e nos prejudicam na execução das tarefas do cotidiano, sendo causa de diversas patologias fisiológicas e fisiopsicológicas nos seres humanos”.

Com o intuito de garantir a habitabilidade e diminuir os problemas rotineiros existentes nas edificações, a NBR 15575:2013 traz uma lista de requisitos e critérios mínimos de desempenho que devem ser atendidos por todos sistemas e etapas construtivos. Dentre as análises existentes, está a de verificação de isolamento acústico do sistema de piso das unidades autônomas. Segundo a NBR 15575-3 (ABNT, 2013), “são avaliados o isolamento de ruído de impacto no sistema de piso (caminhamento, queda de objetos e outros) e o isolamento de ruído aéreo (conversas, som proveniente de TV e outros), por meio de ensaios realizados em campo”.

Na busca em atender as exigências da norma sobre isolamento de ruído de impacto, algumas empresas têm utilizado o sistema construtivo de contrapiso flutuante, utilizando um material resiliente (manta acústica) sob uma camada de contrapiso armado, desvinculando os elementos estruturais.

Por ser uma solução ainda pouco estudada, o contrapiso flutuante sofre com a falta de padronização e racionalização do processo de execução. Neste caso, é de extrema importância a aprimoração dos métodos aplicados nesse sistema, buscando ampliar o desempenho e padronizar a execução, tornando o processo muito mais eficaz e racional.

### **1.1 Objetivos**

#### **1.1.1 Objetivo geral**

Verificar se o sistema de contrapiso flutuante com adição de fibras poliméricas sobre manta acústica atende os requisitos de desempenho acústico estabelecidos na

norma NBR 15575 (ABNT, 2013), levando em consideração a variação da espessura da camada de contrapiso.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- Analisar as características dos materiais presentes no sistema: manta acústica, contrapiso e fibras.
- Apresentar a composição e os procedimentos de execução do sistema de contrapiso.
- Analisar o desempenho acústico, através de ensaios específicos, do contrapiso com adição de fibras poliméricas.
- Realizar ensaios com diferentes espessuras de contrapiso com adição de fibras sobre manta acústica.

## **1.2 Justificativa**

Durante muitos anos, pouco ouviu-se falar em conforto acústico no ramo da construção civil. Como no período não havia normas brasileiras que estipulassem desempenhos mínimos de qualidade dos elementos e sistemas construtivos, os habitantes das residências não encontravam respaldo para questionar os inúmeros problemas que surgiam.

Somente em 2013, com o lançamento da ABNT NBR 15575, passou-se a delimitar os padrões mínimos, intermediários e superiores que as construtoras deveriam buscar em suas obras. A partir disso, muitos estudos surgiram com o intuito de atingir este desempenho da maneira mais econômica e eficaz possível.

Um dos componentes analisados pela norma é o isolamento acústico em sistema de pisos. Antes do surgimento da ABNT NBR 15575 a camada de contrapiso era executada sobre a laje, sem nenhum tipo de isolamento entre elas para a redução de ruídos. Atualmente, o contrapiso deve ser executado sobre manta acústica, desvinculando-o da laje, recebendo o nome de contrapiso flutuante. Esta mudança permitiu uma melhora considerável no isolamento acústico entre unidades habitacionais sobrepostas, uma vez que todos os ruídos tiveram sua capacidade de propagação diminuída.

Entretanto, a utilização de contrapiso flutuante trouxe problemas de fissuração do elemento, visto que ele fica livre para sofrer o fenômeno de retração por não estar aderido ao resto da estrutura.

A alternativa mais utilizada para a solução do problema de fissuração é o uso de armadura de tela de aço como reforço ao contrapiso flutuante. No entanto, o processo de colocação de tela aumenta o tempo de execução e a espessura da camada de contrapiso. Pensando nisso, alguns estudos atualmente indicam a adição de fibras como reforço substituto à armadura de tela de aço, visando o aumento da produtividade e diminuição do peso da camada.

O presente trabalho tem por objetivo o estudo do desempenho acústico de diferentes traços e espessuras de contrapiso flutuante com adição de fibras poliméricas.

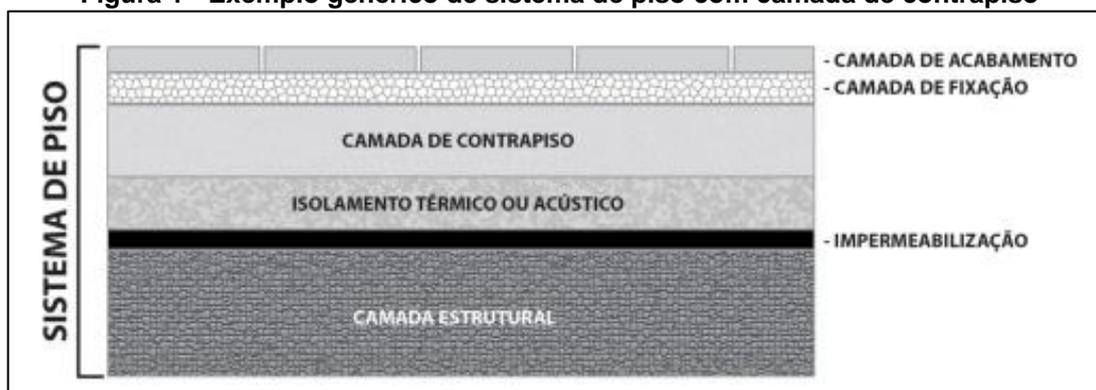
O tema é de relevante interesse ao ramo da construção civil, por apresentar uma solução que poderá aumentar a produtividade da execução do contrapiso e atender os níveis de isolamento de ruído de impacto mínimos descritos na norma de desempenho.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Contrapiso

O contrapiso é um elemento do sistema de piso de uma edificação de múltiplos pavimentos. A Norma Técnica 15575-3 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (2013, p. 8), define o contrapiso como um estrato com as funções de regularizar o substrato, proporcionando uma superfície uniforme de apoio, coesa, aderido ou não e adequada à camada de acabamento, podendo eventualmente servir como camada de embutimento, caimento ou declividade.

Figura 1 - Exemplo genérico de sistema de piso com camada de contrapiso



Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 15575-3 (ABNT, 2013).

Segundo Barros (1991, p. 51), o contrapiso é definido como:

Um elemento do subsistema piso constituído por uma ou mais camadas de material, lançado sobre uma base (laje estrutural) ou sobre uma camada intermediária (de impermeabilização ou de isolamento termoacústico), devendo apresentar características como espessura, regularidade superficial, resistência mecânica, compactidade e durabilidade adequadas ao atendimento de suas funções, cujas principais são: possibilitar o recebimento do revestimento de piso; transmitir à laje suporte as cargas de utilização; proporcionar os desníveis necessários entre ambientes contíguos e a declividade nas áreas molháveis e permitir o eventual embutimento de instalações.

A regularização da base é a função principal do contrapiso, sendo o motivo primordial para seu surgimento. Ela está diretamente interligada com a possibilidade de se ter uma base com propriedades superficiais adequadas para a aplicação de revestimentos simplesmente lançados ou fixados, através de camada de aderência de baixa espessura (BARROS, 1991).

Para produção da argamassa do contrapiso, existem duas possibilidades, sendo a primeira de argamassa de cimento e área úmida (traço 1:6) ou, por argamassa de cimento, cal hidratada e areia média úmida (traço 1:0,25:6). A aplicação do contrapiso deve ocorrer diretamente sobre a laje, passados, no mínimo, sete dias de conclusão desta. A espessura deve ser entre 1,5 e 2,5 cm, devendo ser aplicado com antecedência de no mínimo 7 dias ao assentamento de revestimento cerâmico. Conforme for lançada a argamassa, deve ser realizado o acabamento, buscando deixar a superfície com textura áspera, através de sarrafeamento ou desempenho, conforme orientações da ABNT NBR 13753 (ABNT, 1996).

A laje é a responsável pela resistência estrutural das vedações horizontais, sendo o contrapiso o responsável por receber os esforços e transferir para o restante da estrutura. Segundo Elder & Vandenberg (1977 apud BARROS, 1991, p. 53), a camada de contrapiso deve apresentar capacidade de absorver deformações compatíveis com o nível das solicitações, transferindo-as à laje estrutural sem sofrer danos ao longo de sua espessura.

O contrapiso também tem sido muito solicitado na função de auxiliar no isolamento acústico entre pavimentos, tendo em vista a Norma de desempenho, ABNT NBR 15575-1 (2013), que tornou o desempenho acústico um requisito obrigatório para a habitabilidade da edificação. Segundo Frölich (2019, p. 15), no que se refere ao isolamento acústico entre ambientes, a edificação deve propiciar condições mínimas de desempenho acústico no seu interior em relação a fontes padronizadas de ruídos de impacto e de ruídos aéreos.

Segundo a ProAcústica (2015, p. 3), o desempenho do sistema de piso dependerá de inúmeros fatores, tais como: espessura e tipo de sistema estrutural (laje de concreto de diferentes espessuras, steel deck, laje seca, etc.); presença ou não de camada de isolamento térmico ou acústico, impermeabilização, diferentes espessuras e tipos de contrapiso, e dos revestimentos de piso.

Buscando atingir os requisitos de desempenho acústico estabelecidos na Norma de desempenho, para atenuação de ruído de impacto, podem ser aplicados dois métodos de campo (engenharia ou simplificado). O método de engenharia, utiliza a ISO (*International Organization for Standardization*) 16283-2 (2018), determinando de forma rigorosa o isolamento acústico global de vedação, ou o nível de pressão sonora de impacto-padrão, através da medição do tempo de reverberação por 1/3 de oitava.

O método simplificado, utiliza a ISO 10052 (2004), que permite obter uma estimativa do isolamento sonoro de ruído de impacto, através de medições em oitavas, sem medir o tempo de reverberação.

### 2.1.1 Materiais constituintes da argamassa de contrapiso

Segundo a ABNT NBR 13281 (2005, p. 2), argamassa é uma mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou em instalação própria (argamassa industrializada).

O cimento Portland é um aglomerante hidráulico (devido à reação da água com seus constituintes) que pode ser utilizado na composição de argamassas, sendo o principal responsável pela resistência mecânica da mistura.

Se, por um lado, quanto maior a quantidade de cimento presente na mistura, maior é a retração, por outro, maior também será a aderência à base. Além disso, o fato de ser composto por finas partículas contribuiu para a retenção da água de mistura e para a plasticidade (ABCP, 2003, p. 5).

O cimento ainda pode ser classificado de diferentes formas, dependendo de suas características, e conforme normas específicas, conforme Tabela 1.

**Tabela 1 - Classificações do cimento**

| Classificações do Cimento            | Sigla    | Norma       |
|--------------------------------------|----------|-------------|
| Portland comum                       | CP I     | NBR - 16697 |
| Portland composto com escória        | CP II-E  |             |
| Portland composto com pozolana       | CP II-Z  |             |
| Portland composto com filler         | CP II-F  |             |
| Portland de alto forno               | CP III   |             |
| Portland pozolânico                  | CP IV    |             |
| Portland de alta resistência inicial | CP V-ARI |             |

Fonte: Adaptada do Manual de Revestimentos de Argamassa (ABCP, 2003).

A água é um elemento indispensável nas argamassas, sendo responsável pela promoção das reações entre os diversos elementos da mistura, principalmente as que ocorrem com a química do cimento.

A água, embora seja o recurso diretamente utilizado pelo pedreiro para regular a consistência da mistura, fazendo a sua adição até a obtenção da trabalhabilidade desejada, deve ter o seu teor atendendo ao traço pré-estabelecido, seja para argamassa dosada em obra ou na indústria (ABCP, 2003, p.6).

É indicado o uso de água potável para a melhor mistura de produtos à base de cimento Portland, devendo ser evitado o uso de águas contaminadas ou com excesso de sais solúveis.

As areias podem ser provenientes de depósitos de leitos de rio ou rochas sedimentares. São constituídas de partículas de dimensões que variam de 0,06 a 2,0mm, que influenciam diretamente as proporções de água e aglomerantes na mistura.

Quando há deficiências na curva granulométrica (isto é, a curva não é contínua) ou excesso de finos, ocorre maior consumo de água de amassamento, reduzindo a resistência mecânica e causando maior retração por secagem na argamassa (ABCP, 2003, p.7). As influências das características das areias sobre a argamassa podem ser observadas na Tabela 2.

**Tabela 2 - Influência das características das areias sobre argamassas**

| <b>Propriedade</b>   | <b>Quanto mais fino</b> | <b>Quanto mais descontínua for a granulometria</b> | <b>Quanto maior o teor de grãos angulosos</b> |
|----------------------|-------------------------|--|---|
| Trabalhabilidade     | Melhor                  | Pior   | Pior  |
| Retenção de água     | Melhor                  | -  | Melhor  |
| Retração na secagem  | Aumenta                 | Aumenta  | -   |
| Porosidade           | -                       | Aumenta  | -   |
| Aderência            | Pior                    | Pior   | Melhor  |
| Resistência mecânica | -                       | Pior   | -   |
| Impermeabilidade     | Pior                    | Pior   | -   |

Fonte: Adaptada do Manual de Revestimentos de Argamassas (ABCP, 2003).

Segundo ABCP (2003, p. 7), os aditivos são compostos adicionados em pequenas quantidades à mistura, com finalidade de melhorar uma ou mais propriedades da argamassa no estado fresco e no estado endurecido e sua quantidade é expressa em porcentagem do aglomerante.

O uso de aditivos na argamassa colabora com a melhora da trabalhabilidade, aderência e resistência, além de diminuir as patologias como fissurações e

exsudações, bem como a permeabilidade da mistura. Os principais tipos de aditivos utilizados estão listados na Tabela 3.

**Tabela 3 - Principais tipos de aditivos**

| Tipos de aditivos                 |   |
|-----------------------------------|---|
| Redutores de água (plastificante) | São utilizados para melhorar a trabalhabilidade da argamassa sem alterar a quantidade de água.  |
| Retentores de água                | Reduzem a evaporação e a exsudação de água da argamassa fresca e conferem capacidade de retenção de água frente à sucção por bases absorventes. |
| Incorporador de ar                | Formam microbolhas de ar, estáveis, homogeneamente distribuídas na argamassa, aumentando a trabalhabilidade e atuando a favor da permeabilidade |
| Retardadores de pega              | Retardam a hidratação do cimento, proporcionando um tempo maior de utilização.  |
| Aumentadores da aderência         | Proporcionam a aderência química ao substrato.  |
| Hidrofugantes                     | Reduzem a absorção de água da argamassa, mas não a tornam impermeável e permitem a passagem de vapor d'água.                                    |

Fonte: Adaptada do Manual de Revestimentos de Argamassas (ABCP, 2003).

### 2.1.2 Propriedades da argamassa de contrapiso

A argamassa deve possuir propriedades e características suficientes para atender satisfatoriamente às inúmeras hipóteses de condições as quais a argamassa pode ser exposta, com as formas que pode ser executada, com os requisitos de desempenho e com o acabamento previsto.

Logo após a execução do contrapiso, o componente tem a necessidade de absorver as solicitações de tráfego dos trabalhadores e depósito de materiais, devendo possuir resistência à abrasão, superficial e de compressão, principalmente. Na fase de utilização com o revestimento já aplicado, o contrapiso deve resistir aos esforços do trânsito de pessoas, do peso de móveis e equipamentos posicionados sobre o piso e da queda de objetos. Com isso necessita-se resistência à compressão, à tração e ao cisalhamento. (FRÖLICH, 2019, p. 30)

De acordo com Pragosa (2012, p. 48, tradução nossa), as principais exigências funcionais a ter em conta nas argamassas de contrapiso são a sua trabalhabilidade, facilitando a obtenção de uma superfície plana e compacta, deve ainda apresentar uma cura e dimensionamento estável, deve apresentar-se seco e com uma boa resistência mecânica.

Conforme Barros (1991, p. 57), existem propriedades e requisitos que as argamassas de contrapiso devem atender. Estas propriedades são resistência

mecânica, resistência ao desgaste superficial por abrasão, resistência ao choque e ao puncionamento, resistência à compressão, tração e cisalhamento, resistência de aderência, capacidade de absorver deformações (módulo de elasticidade), entre outras condições superficiais.

### **2.1.2.1 Resistência mecânica**

A resistência mecânica é a propriedade que caracteriza a capacidade do contrapiso manter-se integro frente as diversas solicitações que estará submetido ao longo de sua vida útil. Conforme Pragosa (2012, p. 50), a resistência mecânica deve ser adequada à finalidade de uso da argamassa e, como tal, o seu gama de valores apresentável e aceitável é muito variado.

Para a ABCP (2003, p. 10), a resistência mecânica é a capacidade dos revestimentos de suportar esforços das mais diversas naturezas, que resultam, em tensões internas de tração, compressão e cisalhamento.

Pye (1984 apud Barros, 1991, p. 57) afirma que a integridade do contrapiso, envolve uma série de propriedades tais como as resistências ao desgaste superficial por abrasão, ao choque, ao puncionamento, à tração, à compressão bem como a de aderência.

Barros (1991, p. 58), ainda cita que o projeto e a produção do contrapiso deverão desenvolver-se de maneira tal que os requisitos de desempenho sejam atendidos conforme as solicitações de cada fase de utilização (antes e após acabamento de revestimento de piso).

### **2.1.2.2 Resistência ao desgaste superficial por abrasão**

Os contrapisos nem sempre são projetados como camada final, no entanto, podem ficar expostos a danos e desgastes durante as fases da construção, devendo receber proteções adequadas para evitar patologias relacionadas.

Segundo Barros (1991, p. 58), esta propriedade é característica da primeira fase de utilização do contrapiso, cujas solicitações, de maneira geral, têm origem no trânsito de operários e equipamentos, remoção de detritos ou entulho, entre outras.

### **2.1.2.3 Resistência ao choque e ao puncionamento**

Desde o momento de sua execução, o contrapiso está sujeito a estas solicitações. Durante as fases da obra, as ações podem ocorrer por queda de objetos, posicionamento de equipamentos, entre outros.

Após a execução do revestimento, o contrapiso poderá sofrer este tipo de ação, principalmente quando se tratar de revestimentos finos, em função da queda de objetos, posicionamento de móveis e equipamentos, entre outros (BARROS, 1991, p. 59).

### **2.1.2.4 Compacidade**

A compacidade é a propriedade mais importante por apontar se a argamassa se encontra adequada para aplicação do acabamento, devendo esta ser compacta e homogênea em todas as suas dimensões e superfície.

Para a determinação da capacidade de um material resistir ao esmagamento, deve ser analisada a compacidade do mesmo, que é a relação entre o volume de vazios e o volume total da argamassa. A presença de camadas ou zonas de consistência inferior, mais friáveis, é um sintoma de características mecânicas deficientes, que podem causar rupturas ou destacamentos do contrapiso (GALVÃO, 2016, p. 12, tradução livre).

### **2.1.2.5 Cura**

De acordo com Galvão (2016, p. 12), o período de cura é um dos requisitos mais importantes da betonilha (contrapiso), sendo o objetivo principal evitar a evaporação da água necessária à completa hidratação do cimento. Em seu processo de endurecimento, este fica sujeito a diversas condições ambientais, de temperatura e de umidade, que estão relacionados diretamente ao processo de cura.

Conforme a norma BS 8204:1 (2002 apud Galvão, 2016, p.12), a betonilha (contrapiso) deve ser mantida coberta com membranas à prova de água pelo menos 7 dias após a sua colocação para evitar a secagem rápida e consequente fissuração.

A norma ainda afirma que as betonilhas (contrapisos) devem secar tão lentamente quanto possível após a cura para reduzir o risco de fissurações.

Segundo Pragosa (2012, p. 50), a cura de uma argamassa de betonilha em cimento (contrapiso) é muito importante, pois todos os acabamentos que serão colocados sobre a argamassa devem ser colocados quando este estiver já bem curado e com a retração higrométrica praticamente acabada.

#### **2.1.2.6 Módulo de elasticidade**

O módulo de elasticidade tem relação direta com a capacidade elástica da argamassa, permitindo entender as suas propriedades de deformabilidade e rigidez. Pragosa (2012, p. 52) afirma que uma argamassa de betonilha (contrapiso) deve apresentar facilidade de se deformar quando sujeita a uma dada tensão, pois esta deve ter capacidade de absorver todas as deformações sem apresentar fissuras e mesmo sem romper, para que assim a betonilha (contrapiso) se apresente em boas condições de utilização e desempenho.

Como um componente do subsistema piso, o contrapiso estará sujeito a diversas solicitações que lhe provocarão o aparecimento de tensões de tração, compressão e cisalhamento, que deverão ser absorvidas ou dissipadas através de sua deformação, sem desagregar-se, sem apresentar um estado de fissuração acentuado e sem perder a sua aderência com a base, quando esta for necessária, ou seja, sem apresentar danos que possam comprometer o seu funcionamento. (BARROS, 1991, p. 63).

Segundo Souza (2000 apud Pragosa, 2012, p. 52), a tendência para a fissuração por retração apresenta valores muito grandes quando a retração é elevada e quando a relação módulo de elasticidade vs. resistência à tração é mais elevada.

#### **2.1.3 Tipos de contrapiso**

Segundo Hamoy (2017, p. 23), no Brasil, devido as suas grandes dimensões, diversidade de climas e especificidades regionais é difícil chegar a uma espessura única para a camada de contrapiso.

### 2.1.3.1 Contrapiso convencional

O contrapiso convencional é feito com argamassa dosada em obra, misturada em betoneira convencional, com consistência seca e esfarelada, chamada de “farofa”. Rubin (2015, p. 32) salienta que se deve atentar para a correta dosagem dos materiais e da água de amassamento

Barros (1991, p. 78), destaca que:

O contrapiso convencional é executado com argamassa plástica com consistência semelhante às argamassas de revestimento de alvenarias e teor de umidade na ordem de 20% a 25%, ou então feito com argamassa seca, denominada como “farofa”, a qual apresenta a mesma composição da argamassa plástica, porém com um teor de umidade mais baixo, cerca de 50% inferior.

Segundo Martins (2012, p. 37), o traço para a argamassa do tipo “farofa” é de 1:4, ou seja, uma parte de cimento para quatro partes iguais de areia, com a proporção podendo variar conforme o tipo de acabamento do ambiente.

### 2.1.3.2 Contrapiso autonivelante

O contrapiso autonivelante recebe essa nomenclatura por sua capacidade de preencher toda a área de aplicação sem precisar ser vibrado ou compactado, agindo apenas com o peso próprio e pela gravidade, devido a sua alta fluidez.

Para Souza (2013, p. 27), é um elemento do subsistema piso, constituído de uma única camada de material, lançado sobre uma base (laje estrutural) adequadamente preparada, devendo apresentar características como fluidez, espessura, resistência mecânica e durabilidade adequadas.

Segundo Poll (2018, p. 12), a argamassa autonivelante é uma combinação de insumos de construção que foi desenvolvida para permitir um contrapiso plano e nivelado, ou seja, sem falhas de moldagem, além de obter economia de tempo no serviço.

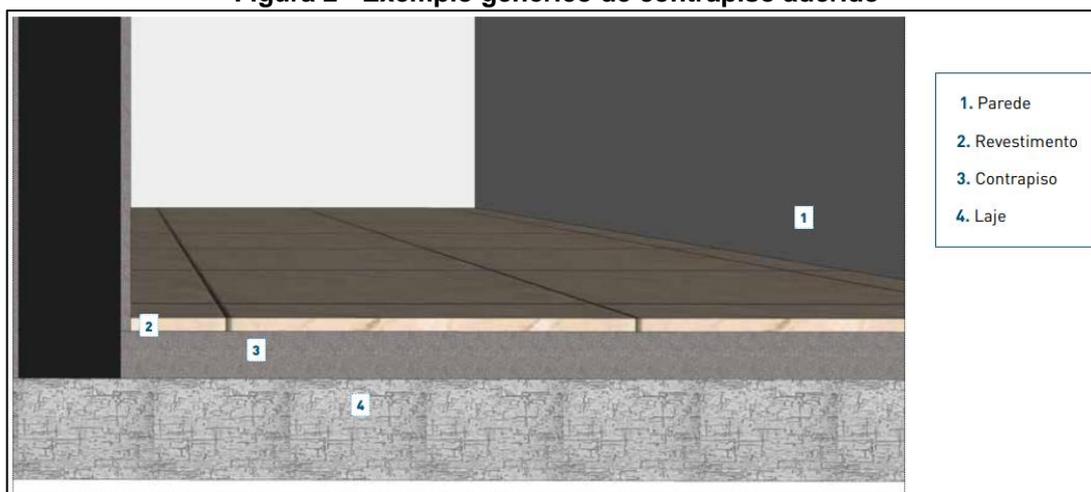
Rubin (2015, p. 30) destaca que a principal característica desse material, em relação aos convencionais métodos de contrapiso feitos com argamassa dosada em obra, é sua elevada fluidez e sua capacidade de se auto adensar, sem agregar.

Na atualidade, existem duas formas de fornecimento da argamassa autonivelante no Brasil: argamassa ensacada (industrializada) e argamassa produzida em central. A primeira é no formato seco, sendo necessário ser misturada com água no momento de sua aplicação. A segunda é preparada em central, sendo transportada pronta em caminhões betoneiras.

### 2.1.3.3 Contrapiso aderido

Esse tipo de contrapiso é aplicado diretamente sobre a base, podendo ser executado com pequenas espessuras entre 20 a 40 mm, atuando aderido e conjuntamente com a laje, sem camada intermediária entre ambas.

Figura 2 - Exemplo genérico de contrapiso aderido



Fonte: Adaptado do Manual Proacústica de Recomendações Básicas para Contrapisos Flutuantes (ProAcústica, 2015).

Conforme Hamoy (2017, p. 27), para a marcação de níveis, a laje deve estar completamente limpa, sem entulhos, resto de argamassas ou outros materiais aderidos à base que podem ser removidos com ajuda da ponteira e marreta.

O Manual de Revestimentos de Argamassa (ABCP, 2003, p. 86) orienta que:

Para o início da execução dos serviços de contrapiso aderido em um dado pavimento, deverão ser atendidas as seguintes condições:

- Conclusão da impermeabilização das áreas molháveis, quando existir;
- É desejável que as alvenarias do pavimento estejam executadas;
- É também desejável que as instalações elétricas e hidrossanitárias estejam concluídas;
- Que haja carência de 60 dias após a desforma definitiva da laje do pavimento sobre o qual será executado o contrapiso;

- Existir o projeto de contrapiso;
- Ter sido redefinido o projeto de contrapiso (reprojeto) considerando as reais condições de execução da base;
- Estar contratada a aquisição de argamassa industrializada ou implantada a central de produção de argamassa no canteiro, com previsão de aquisição dos materiais para a sua produção.

#### **2.1.3.4 Contrapiso não aderido**

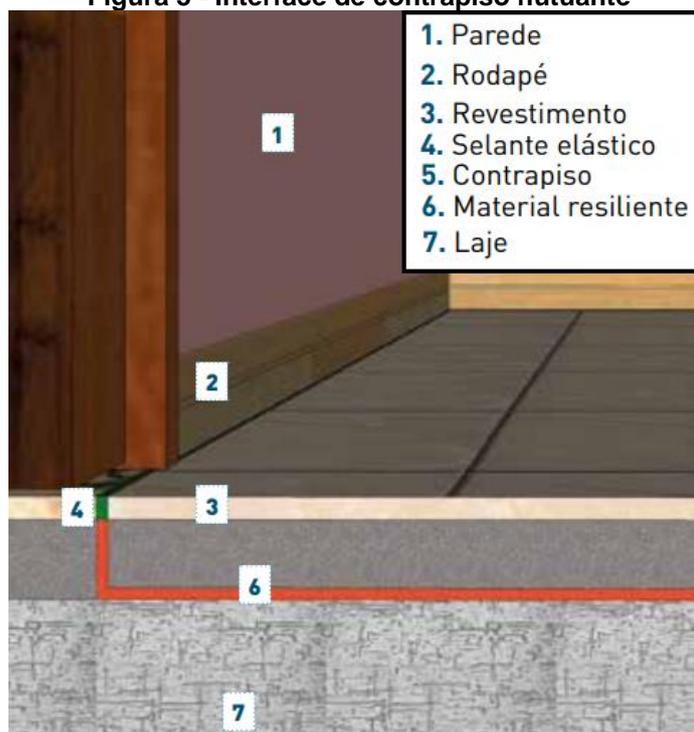
Neste tipo de contrapiso a falta de aderência com a base não interfere no desempenho, sendo o preparo e a limpeza da base dispensáveis, podendo conter todo e qualquer tipo de material, desde que estes não ataquem ou prejudiquem o material.

Barros (1991, p. 104) alerta sobre a necessidade da compactação para garantir maior compacidade da camada e, portanto, maior resistência mecânica do contrapiso.

#### **2.1.3.5 Contrapiso flutuante**

O contrapiso flutuante se diferencia dos demais por estar dessolidarizado, assente sobre um material resiliente (isolante térmico ou acústico), dos elementos estruturais e de vedação da edificação. Esta técnica é uma das encontradas para redução do ruído de impacto, tendo pouco efeito no isolamento ao ruído aéreo.

Conforme aponta a ProAcústica (2015, p. 11), para a fabricação destes elementos resilientes, geralmente são utilizados os seguintes materiais: borracha reciclada de pneu, cortiça, emulsões asfálticas, espuma de polietileno, lã mineral, lã de pet, mantas elastoméricas, sistemas mistos etc.

**Figura 3 - Interface de contrapiso flutuante**

Fonte: Adaptado de Manual de Recomendações Básicas para Contrapisos Flutuantes (ProAcústica, 2015).

Bistafa (2018, p. 301) afirma que a técnica construtiva funciona como um sistema massa-mola-amortecedor, em que a densidade superficial do contrapiso representa a massa, e a mola caracteriza a rigidez dinâmica do isolador, no qual o amortecimento é devido ao atrito interno do material isolador. Exatamente por essa condição, o material resiliente deve resistir também ao esforço mecânico, por estar sujeito à movimentação de pessoas, transporte e pesos de certos materiais, conforme afirma Santos (et al. 2017, p. 35).

AUBICON (2015 apud Frölich, 2019, p. 36) salienta que na execução de contrapiso flutuante, surge a necessidade de a camada de argamassa suportar as cargas em que ela é submetida e aos esforços causados pela retração, característica comum em elementos cimentícios, de modo a garantir uma durabilidade compatível com a vida útil de toda estrutura e mantendo níveis de desempenho adequados para o bem-estar e a qualidade de vida dentro dos ambientes. A AUBICON ainda adverte sobre o uso de reforços em contrapiso flutuante, com atribuição de tela ou adição de fibras de acordo com a dimensão do ambiente, conforme Tabela 4.

**Tabela 4 - Reforços recomendados na camada de contrapiso**

| Dimensão máxima da sala | Espessura média da camada de argamassa (cm) |                           |                           |                           |                           |
|-------------------------|---|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
|                         | 4,0   | 5,0                       | 6,0                       | 7,0                       | 8,0                       |
| 3,0                     | Sem reforços                                | Sem reforços              | Sem reforços              | Sem reforços              | Sem reforços              |
| 4,0                     | 0,6 km/m <sup>3</sup>                       | 0,6 km/m <sup>3</sup>     | 0,6 km/m <sup>3</sup>     | 0,6 km/m <sup>3</sup>     | 0,6 km/m <sup>3</sup>     |
| 5,0                     | 0,6 km/m <sup>3</sup> (*)                   | 0,6 km/m <sup>3</sup> (*) | 0,6 km/m <sup>3</sup> (*) | 0,6 km/m <sup>3</sup> (*) | 0,6 km/m <sup>3</sup> (*) |
| 6,0                     | 0,6 km/m <sup>3</sup> (*)                   | 0,6 km/m <sup>3</sup> (*) | 0,6 km/m <sup>3</sup> (*) | 1 Tela ou FEP             | 1 Tela ou FEP             |
| 7,0                     | 1 Tela ou FEP                               | 1 Tela ou FEP             | 1 Tela ou FEP             | 1 Tela ou FEP             | 1 Tela ou FEP             |
| 8,0                     | 1 Tela ou FEP                               | 1 Tela ou FEP             | 1 Tela ou FEP             | 2 Telas ou FEP            | 2 Telas ou FEP            |
| 9,0                     | 1 Tela ou FEP                               | 1 Tela ou FEP             | 2 Telas ou FEP            | 2 Telas ou FEP            | 2 Telas ou FEP            |
| 10,0                    | 1 Tela ou FEP                               | 1 Tela ou FEP             | 2 Telas ou FEP            | 2 Telas ou FEP            | 2 Telas ou FEP            |
| 11,0                    | 1 Tela                                      | 1 Tela                    | 2 Telas                   | 2 Telas                   | 2 Telas                   |
| 12,0                    | 1 Tela                                      | 2 Telas                   | 2 Telas                   | 2 Telas                   | 2 Telas                   |

LEGENDA: MF = microfibras; FEP = fibras estruturais poliméricas (macrofibras)

(\*) Em ambientes de até 6,0 m pode-se utilizar 0,6 kg/m<sup>3</sup> MF, se adotado um controle rigoroso para execução do contrapiso

Fonte: adaptado de AUBICON (2015 apud Frölich, 2019).

A AUBICON (2015 apud Frölich, 2019, p. 38) ainda orienta que o material tenha um traço desenvolvido em laboratório, de acordo com os requisitos informados na Tabela 5, de acordo com as características dos materiais disponíveis na região. Na Tabela 6, há alguns traços orientativos como base para a definição do traço.

**Tabela 5 - Requisitos exigidos para a argamassa de regularização**

| Características                                | Especificações  |
|--|-----------------|
| Fator água/cimento                             | < 0,4           |
| Consistência de aplicação                      | Seca ("Farofa") |
| Densidade após compactação (estado endurecido) | > 2Kg/Litro     |
| Resistência à Compressão (NBR 13279)           | > 10,0 Mpa      |
| Resistência à tração na flexão (NBR 13279)     | > 1,0 Mpa       |
| Retração aos 56 dias (NBR 15261)               | < 200 µm/m      |

Fonte: adaptado de AUBICON (2015 apud Frölich, 2019).

**Tabela 6 - Referência de traços orientativos**

| Características                         | Especificações                              |
|---|---|
| Traço sem pedrisco (espessuras < 35 mm) | 1:3 ou 1:4 (cimento:areia)                  |
| Traço sem pedrisco (espessuras > 35 mm) | 1:2,5:1,5 ou 1:2:2 (cimento:areia:pedrisco) |

Fonte: adaptado de AUBICON (2015 apud Frölich, 2019).

### 2.1.3.5.1 Execução de contrapiso flutuante

A execução do contrapiso flutuante exige um rigoroso cuidado, buscando evitar que ocorram pontes acústicas que diminuam a capacidade de isolamento acústico do contrapiso.

Conforme recomenda TÉCHNE (2010, p. 92), o piso acústico deve contar com um projeto específico que contenha informações quanto ao tipo de isolamento acústico e suas características de densidade e compressibilidade, a espessura do contrapiso em cada ambiente, a armadura de reforço e detalhes construtivos como juntas de movimentação, posicionamento das armaduras e características da argamassa.

Antes de iniciar a execução do contrapiso flutuante é essencial fazer uma varrição completa da laje, pois, por menor que seja o material que ficar entre o contrapiso e a laje, poderá servir de ponte acústica, reduzindo muito a característica isolante da manta. A AUBICON (2018, p. 3) indica o uso de talhadeira e marreta para retirada do excesso de massa na laje. Orienta também que, na ocorrência de buracos na laje, estes devem ser preenchidos com argamassa de consistência seca.

Após o procedimento anterior, a TÉCHNE (2010, p. 93) aponta para o mapeamento dos níveis das lajes, para definição da espessura efetiva do contrapiso, que poderá variar conforme a planicidade da laje, dos desníveis entre ambientes e do revestimento de piso que será executado.

Realizado o mapeamento, é realizada a aplicação da manta acústica. A espessura da manta pode variar entre 3 mm e 15 mm, dependendo da compressibilidade e densidade do material especificado. Ela deve ser alocada sobre a laje no momento anterior ao da execução e posicionamento das mestras e das taliscas.

A AUBICON (2018, p. 5) recomenda que entre uma manta e a outra as bordas ocorra a sobreposição em no mínimo 5 cm para as mantas com espessura de 3 a 5mm. Hamoy (2017 p. 27) destaca que a sobreposição entre as faixas de mantas acústicas nas emendas deverá seguir a especificação do fabricante, uma vez que, para alguns tipos, a sobreposição entre mantas nas emendas é necessária, sendo que para outros, emprega-se fita adesiva, não sendo necessária e nem mesmo recomendada a sobreposição entre mantas.

A AUBICON (2018, p. 5) salienta que primeiramente deve-se aplicar a manta sobre a laje e posteriormente as faixas de rodapé que devem ser aplicadas por trás da manta de forma que fiquem pressionadas por ela. Ainda, orienta que seja estendida uma lona plástica sobre a manta aplicada e sobre o rodapé, evitando que a argamassa penetre na manta, diminuindo seu desempenho. TÉCHNE (2014, p. 72) afirma que esses procedimentos são fundamentais para garantir que não haja contato entre a argamassa de regularização e a estrutura, o que poderia comprometer parcialmente o desempenho acústico do sistema.

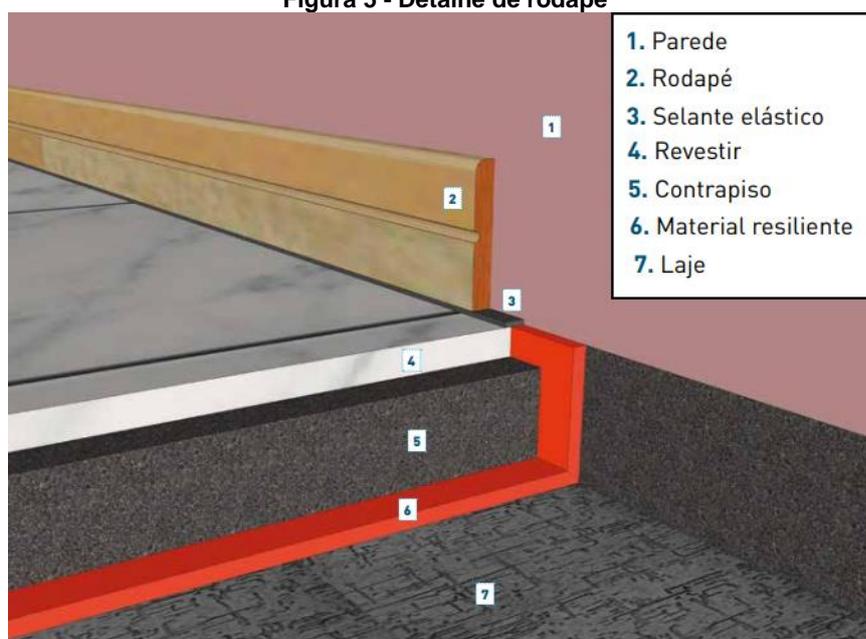
Para a execução do contrapiso flutuante, a AUBICON (2018, p. 8) recomenda como opções para estruturação do contrapiso microfibras ou macrofibras/telas de aço, de acordo com as dimensões do ambiente e do contrapiso. Ainda afirma a importância da consistência seca (farofa) da argamassa (Figura 4), respeitando o traço informado em projeto ou manual técnico. Já na instalação do rodapé de acabamento do revestimento final, deve ocorrer a desconexão do piso para evitar a transmissão de vibrações, conforme a Figura 5.

**Figura 4 - Exemplo de contrapiso flutuante executado**



Fonte: Manual de Aplicação – Mantas Acústicas (AUBICON, 2018).

Figura 5 - Detalhe de rodapé



Fonte: Adaptado de Manual de Recomendações Básicas para Contrapisos Flutuantes (ProAcústica, 2015).

Após a execução da argamassa, é de grande importância o momento de sua cura. Segundo Frölich (2019, p. 42), esse processo pode ser feito com mantas absorventes, resistentes às condições de serviço, molhando-as uma ou mais vezes por dia, dependendo das condições climáticas do local, mantendo a superfície do contrapiso saturada pelo período mínimo de 7 dias.

Para garantir a qualidade e o bom desempenho do sistema, AUBICON (2015 apud Frölich, 2019, p. 42) aponta que é necessário atentar-se a algumas especificações e realizar ensaios para o controle de execução, conforme Tabela 7.

Tabela 7 - Controle de execução do contrapiso flutuante

| Ensaio                                | Especificação                     | Frequência                                  | Norma                 |
|---------------------------------------|-----------------------------------|---|-----------------------|
| Consistência                          | Seca (na umidade ótima)           | Todas as betonadas                          | -                     |
| Resistência à compressão ( $f_{ck}$ ) | $\geq 10,0$ Mpa                   | 1 exemplar (2 cp's) a cada betonada         | NBR 13279             |
| Resistência à tração na flexão        | $\geq 1,0$ Mpa                    | 1 exemplar (2 cp's) a cada betonada         | NBR 13279             |
| Densidade                             | $\geq 2,0$ kg/litros              | 1 exemplar (2 cp's) a cada betonada         | NBR 13278 / NBR 13280 |
| Retração (8 semanas)                  | $\leq 200$ $\mu\text{m}/\text{m}$ | 1 exemplar (2 cp's) a cada 120 $\text{m}^2$ | ASTM C 157            |
| Acabamento                            | Desempenado / Rústico             | Após a execução de cada faixa               | Identificação visual  |

Fonte: adaptado de AUBICON (2015 apud Frölich, 2019).

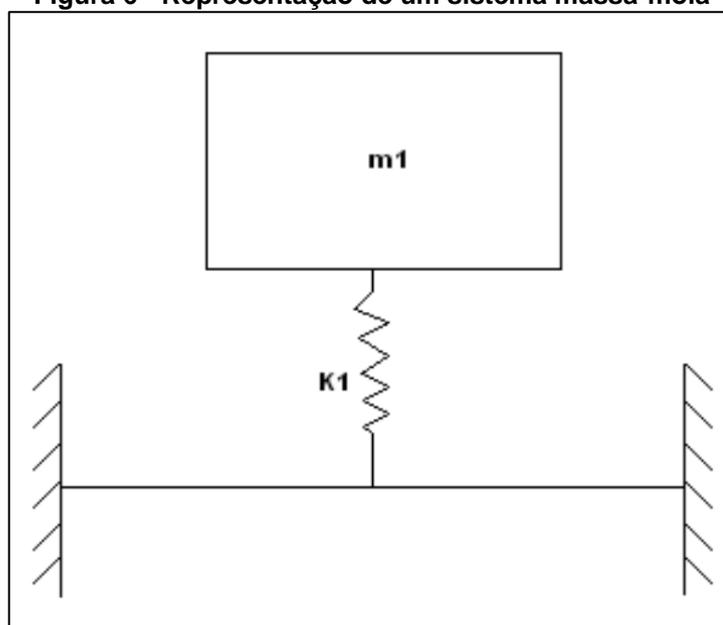
## 2.2 Mantas acústicas

A manta acústica é a camada resiliente que fará a separação entre contrapiso e laje. Ela objetiva promover o aumento do isolamento acústico e a redução/absorção dos ruídos e barulhos de um pavimento para outro. Exatamente por esse objetivo, a manta é produzida em materiais porosos e leves, que são caracterizados por possuírem altíssima absorção de ondas sonoras.

Segundo Sousa (2008, p. 13), o material resiliente pode ser dos mais variados tipos, desde fibras minerais como a lã de rocha ou a lã de vidro, até fibras vegetais como as fibras de madeira, de coco, poliestirenos expandidos, aglomerados de cortiça ou espumas de polietileno, entre outros, devendo, no entanto, para cada caso ser verificada a sua aplicabilidade, custos inerentes e respostas às exigências funcionais.

Para Sousa (2008, p. 29), o contrapiso flutuante é caracterizado por um sistema massa-mola, sendo composto por um corpo de massa  $m_1$  a que corresponde o contrapiso, ligado a um outro corpo, a laje estrutural, por uma mola de rigidez  $K_1$  que caracteriza a rigidez da camada resiliente, conforme pode ser observado na Figura 6.

Figura 6 - Representação de um sistema massa-mola



Fonte: Sousa (2008).

Führ (2016, p. 39) afirma que é necessário avaliar as propriedades dinâmicas dos materiais resilientes a fim de possibilitar a avaliação e o entendimento do desempenho do sistema de piso flutuante, em relação à redução do ruído de impacto.

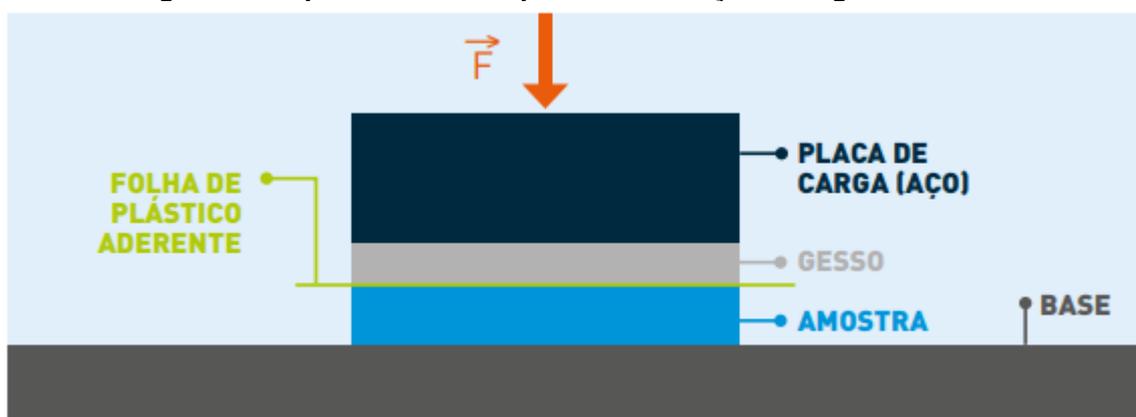
As propriedades principais que devem ser observadas são: a rigidez dinâmica e a fluência na compressão.

### 2.2.1 Rigidez dinâmica

Os materiais resilientes apresentam propriedades que estão relacionadas com a sua capacidade de redução do ruído de impacto, caracterizada pela rigidez dinâmica.

ProAcústica (2015, p. 13) afirma que a rigidez dinâmica pode ser determinada de acordo com a norma ISO 9052-1:1989, utilizando-se corpos de prova (amostras) com dimensões 200 mm x 200 mm, sujeitos a carga de 200 kg/m<sup>2</sup>, conforme ilustrado na Figura 7. Salienta, ainda, que quanto menor o valor dessa propriedade em um material, maior será a sua capacidade de absorver as vibrações produzidas por impactos e, por consequência, maior será a Redução Sonora (dB) resultante.

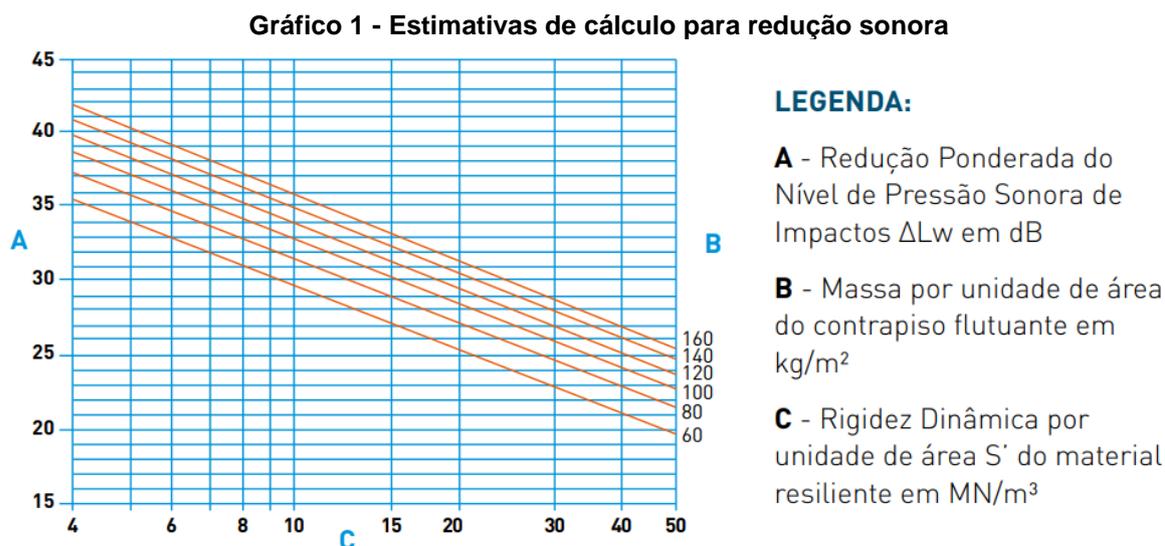
Figura 7 - Esquema de ensaio para determinação da Rigidez Dinâmica



Fonte: ProAcústica (2018).

Neves, António e Nossa (2008, p. 3) afirma que a rigidez dinâmica também pode ser obtida a partir da relação entre módulo de elasticidade (MN/m<sup>2</sup>) e a espessura do material (m).

A partir do conhecimento da rigidez dinâmica e da carga (por metro quadrado) de contrapiso flutuante que será aplicada sobre o material é possível estimar a redução sonora ( $\Delta L_w$ ), conforme as estimativas de cálculo presentes no Gráfico 1.



Fonte: ProAcústica, 2015, p. 17.

Silva, Patrício e Antonio (2012, apud Frölich, 2019, p. 22), utilizaram pequenas amostras de pisos flutuantes em laboratório, visando a comparação entre as medidas de nível de redução sonora e a rigidez dinâmica de diferentes tipos de camadas resilientes, conforme apresenta a Tabela 8.

**Tabela 8 - Correlações entre rigidez dinâmica e redução sonora**

| Rigidez dinâmica<br>( $\text{MN/m}^3$ ) | $\Delta L_w$ medido*<br>(dB) |
|---|------------------------------|
| 100                                     | 16                           |
| 87                                      | 18                           |
| 50                                      | 20                           |
| 23                                      | 24                           |
| 15                                      | 30                           |

\* Contrapiso flutuante com  $80\text{kg/m}^2$

Fonte: adaptado de Silva, Patrício e Antonio (2012, apud Frölich, 2019).

### 2.2.2 Fluência à compressão

A fluência à compressão refere-se à deformação do material no longo prazo quando comprimido por carga mantida constante ou por cargas acidentais ao longo de sua vida útil. Essas ações geram deformações e conseqüentes reduções na espessura da manta, gerando perdas da absorção de impactos e no isolamento acústico.

O estudo de Zuchetto, Nunes e Patrício (2016, p. 3), estimou que após 10 anos de uso sob condições padrão de carga acidental, os sistemas de pisos flutuantes compostos por 5 amostras diferentes tiveram uma perda de desempenho entre 3 e 4 dB. Com isso, os autores concluem que é de grande importância verificar o comportamento da camada resiliente em contrapisos flutuantes, pois a redução dela pode gerar danos a sua eficiência ao longo de sua vida útil.

### 2.2.3 Tipos de mantas acústicas

Em busca do mais alto índice de atenuação de ruídos de impacto em edifícios, muitas empresas têm trazido ao mercado uma grande variedade de mantas acústicas. Segundo Schiavi et al. (2007 apud Frölich, 2019, p. 25), para garantir uma melhor qualidade no isolamento acústico, a manta deve apresentar duas propriedades primordiais: resiliência e baixa compressibilidade.

A AUBICON possui em seu catálogo mantas acústicas para uso sob contrapiso e sob revestimentos. Sua matéria-prima são, principalmente, grânulos de pneus reciclados que atuam na atenuação acústica e desempenho a longo prazo. Conforme os manuais técnicos específicos de cada manta, foi possível produzir a Tabela 9.

**Tabela 9 - Níveis de ruído de impacto nas mantas acústicas da empresa AUBICON**

| Tipo             | Manta acústica          | Espessura | L'nT,w * (dB)  | ΔLw * (dB) |
|------------------|-------------------------|-----------|--|------------|
| Sob contrapiso   | Sound Soft Contrapiso   | 5 mm      | Em laje pretendida: 58<br>Em laje de concreto armado: 49 | 14         |
|                  | Sound Soft Ondulada     | 6/3 mm    | ***  | 22         |
|                  |                         | 8/4 mm    | ***  | 24         |
|                  |                         | 10/5 mm   | ***  | 25         |
|                  |                         | 17/8 mm   | ***  | 27         |
| Sob revestimento | Sound Soft Laje Zero    | 2 mm      | 68   | ***        |
|                  | Sound Soft Piso Acabado | ***       | 59   | ***        |

\* L'nT,w - Nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado

\*\* ΔLw - Redução ponderada do nível de pressão sonora de impacto

\*\*\* dado não informado.

Fonte: Adaptado conforme informações disponíveis em:  
<<https://www.aubicon.com.br/produtos/mantas-acusticas/>>.

No catálogo da empresa Viapol, são encontradas duas mantas antirruído, produzidas em manta asfáltica estruturada em não tecido de fibra de vidro, acoplada

em geotêxtil de alta gramadura, criando um compósito acústico adequado à absorção sonora por impacto em caso de pisos de edifícios. A Tabela 10 apresenta as características técnicas das mantas.

**Tabela 10 - Características técnicas das mantas Viapol**

| Tipo           | Manta acústica               | Espessura | L'nT,w * (dB) | ΔLw * (dB) |
|----------------|------------------------------|-----------|---------------|------------|
| Sob contrapiso | Manta Viapol Antirruído PLUS | 3mm       | ***           | 21         |
|                | Manta Viapol Antirruído MAX  | 5mm       | 51            | ***        |

\* L'nT,w - Nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado

\*\* ΔLw - Redução ponderada do nível de pressão sonora de impacto

\*\*\* dado não informado.

Fonte: Disponível em: <<http://www.viapol.com.br/produtos/antirru%C3%ADdo/manta-viapol-antirruido/>>.

Através da medição dos níveis de redução de ruído de impacto em diferentes composições de piso, Pedroso (2007 apud Frölich, 2019, p. 26) alcançou os resultados conforme Tabela 11.

**Tabela 11 - Isolamento acústico de diferentes materiais em camadas resilientes**

| Tipo de piso  | Material da camada resiliente   | Densidade (kg/m <sup>3</sup> ) | Espessura (mm) | L'nT,w * (dB) | ΔL'nT,w ** (dB) |
|---|---------------------------------|--------------------------------|----------------|---------------|-----------------|
| <b>Sem revestimento</b>   | -                               | -                              | -              | 78            | -               |
| <b>Com revestimento de piso porcelanato (laje + revestimento)</b>         | -                               | -                              | -              | 73            | -               |
|   | Placa de lã de vidro            | 60                             | 15             | 50            | 23              |
|   | Manta de borracha reciclada     | 130                            | 8              | 62            | 11              |
|   | Manta de borracha reciclada     | 260                            | 4              | 65            | 8               |
|   | Placa de poliestireno expandido | 27,5                           | 25             | 62            | 11              |
|   | Placa de poliestireno expandido | 32,5                           | 25             | 64            | 9               |
|   | Manta de polietileno            | 27                             | 5              | 65            | 8               |
| <b>Com revestimento de piso laminado de madeira (laje + revestimento)</b> | -                               | -                              | -              | 75            | -               |
|   | Placa de lã de vidro            | 60                             | 15             | 56            | 19              |
|   | Manta de borracha reciclada     | 130                            | 8              | 67            | 8               |
|   | Manta de borracha reciclada     | 260                            | 4              | 67            | 8               |
|   | Placa de poliestireno expandido | 27,5                           | 25             | 63            | 12              |
|   | Placa de poliestireno expandido | 32,5                           | 25             | 64            | 11              |
|   | Manta de polietileno            | 27                             | 5              | 67            | 8               |

\* L'nT,w - Nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado

\*\* ΔL'nT,w - Diferença de L'nT,w entre a referência e o material analisado

Fonte: Adaptado de Pedroso (2007 apud Frölich, 2019).

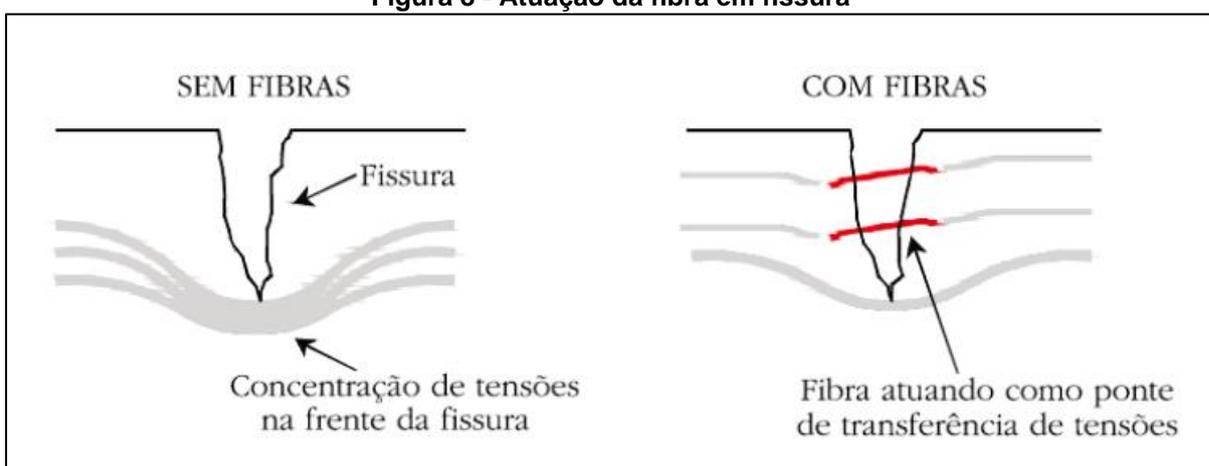
### 2.3 Fibras utilizadas no reforço do contrapiso

A argamassa de contrapiso, assim como o concreto e as demais variedades de argamassas, possui baixa resistência à tração e baixa capacidade de deformação. Por essa fragilidade, as fissuras que podem surgir nesses elementos tendem a aumentar facilmente.

Barros (2012, p. 46), afirma que o uso de fibras pode ajudar na redução do aparecimento de fissuras, inclusive aquelas decorrentes da retração do concreto. Holschemacher (2002 apud Barros, 2012, p. 47), salienta que, sob flexão, a carga que provoca a fissura inicial pode ser aumentada, e quando a primeira fissura ocorrer, as forças que são liberadas podem ser transferidas através das seções da fissura.

Para Bentur e Mindess (2007 apud Mendes, 2019, p. 32), em compósitos reforçados com fibras, a fibra desempenha seu principal papel na zona pós-fissuração, na qual as fibras se cruzam sobre a matriz fissurada. Segundo Salvador (2013, p. 56), as fibras interagem com a matriz no nível das microfissuras, proporcionando meios de transferências de tensões, de forma que a propagação das microfissuras seja retardada, e quando as macrofissuras forem formadas, as fibras podem restringir a sua abertura e seu crescimento, conforme pode ser observado na Figura 8.

**Figura 8 - Atuação da fibra em fissura**



Fonte: Nunes e Agopyan (1998 apud Mendes, 2019).

Leite (2018, p. 44), afirma que:

Dependendo da relação entre os módulos de elasticidade da fibra e da matriz cimentícia, as fibras podem ser classificadas como de alto módulo ou de baixo módulo. As fibras de alto módulo são as que possuem módulo de elasticidade

maior do que o da matriz na qual estão inseridas, enquanto as fibras de baixo módulo apresentam módulo de elasticidade menor do que a matriz.

Frölich (2019, p. 48), aponta que no mercado da construção civil as fibras de aço e as fibras poliméricas sintéticas (microfibras e macrofibras) são as mais utilizadas para o reforço do concreto, sendo que cada uma possui características e propriedades distintas, conforme demonstra a Tabela 12.

**Tabela 12 - Propriedade de variados tipos de fibras**

| <b>Material</b>                            | <b>Diâmetro (µm)</b> | <b>Densidade (g/cm<sup>3</sup>)</b> | <b>Módulo de elasticidade (GPa)</b> | <b>Resistência à tração (MPa)</b> | <b>Deformação na ruptura (%)</b> |
|--|----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| <b>Aço</b>                                 | <b>5-500</b>         | <b>7,84</b>                         | <b>190-210</b>                      | <b>500-2000</b>                   | <b>0,5-3,5</b>                   |
| <b>Vidro</b>                               | <b>9-15</b>          | <b>2,60</b>                         | <b>70-80</b>                        | <b>2000-4000</b>                  | <b>2-3,5</b>                     |
| <b>Amianto - Crocidolite</b>               | <b>0,02-0,40</b>     | <b>3,40</b>                         | <b>196</b>                          | <b>3500</b>                       | <b>2-3</b>                       |
| <b>Amianto - Crisolite</b>                 | <b>0,02-0,40</b>     | <b>2,60</b>                         | <b>164</b>                          | <b>3100</b>                       | <b>2-3</b>                       |
| <b>Polipropileno</b>                       | <b>20-400</b>        | <b>0,90-0,95</b>                    | <b>3,50-10</b>                      | <b>450-760</b>                    | <b>15-25</b>                     |
| <b>Kevlar</b>                              | <b>10-12</b>         | <b>1,44</b>                         | <b>63-120</b>                       | <b>2300-3500</b>                  | <b>2-4,5</b>                     |
| <b>Carbono</b>                             | <b>8-9</b>           | <b>1,60-1,70</b>                    | <b>230-380</b>                      | <b>2500-4000</b>                  | <b>0,5-1,5</b>                   |
| <b>Náilon</b>                              | <b>23-400</b>        | <b>1,14</b>                         | <b>4,10-5,20</b>                    | <b>750-1000</b>                   | <b>16-20</b>                     |
| <b>Celulose</b>                            | <b>-</b>             | <b>1,20</b>                         | <b>10</b>                           | <b>300-500</b>                    | <b>-</b>                         |
| <b>Acrílico</b>                            | <b>18</b>            | <b>1,18</b>                         | <b>14-19,50</b>                     | <b>400-1000</b>                   | <b>3</b>                         |
| <b>Polietileno</b>                         | <b>25-1000</b>       | <b>0,92-0,96</b>                    | <b>5</b>                            | <b>80-600</b>                     | <b>3-100</b>                     |
| <b>Fibra de madeira</b>                    | <b>-</b>             | <b>1,50</b>                         | <b>71</b>                           | <b>900</b>                        | <b>-</b>                         |
| <b>Sisal</b>                               | <b>10-50</b>         | <b>1,50</b>                         | <b>-</b>                            | <b>800</b>                        | <b>3</b>                         |
| <b>Matriz de cimento (para comparação)</b> | <b>-</b>             | <b>1,50-2,50</b>                    | <b>10-45</b>                        | <b>3-7</b>                        | <b>0,02</b>                      |

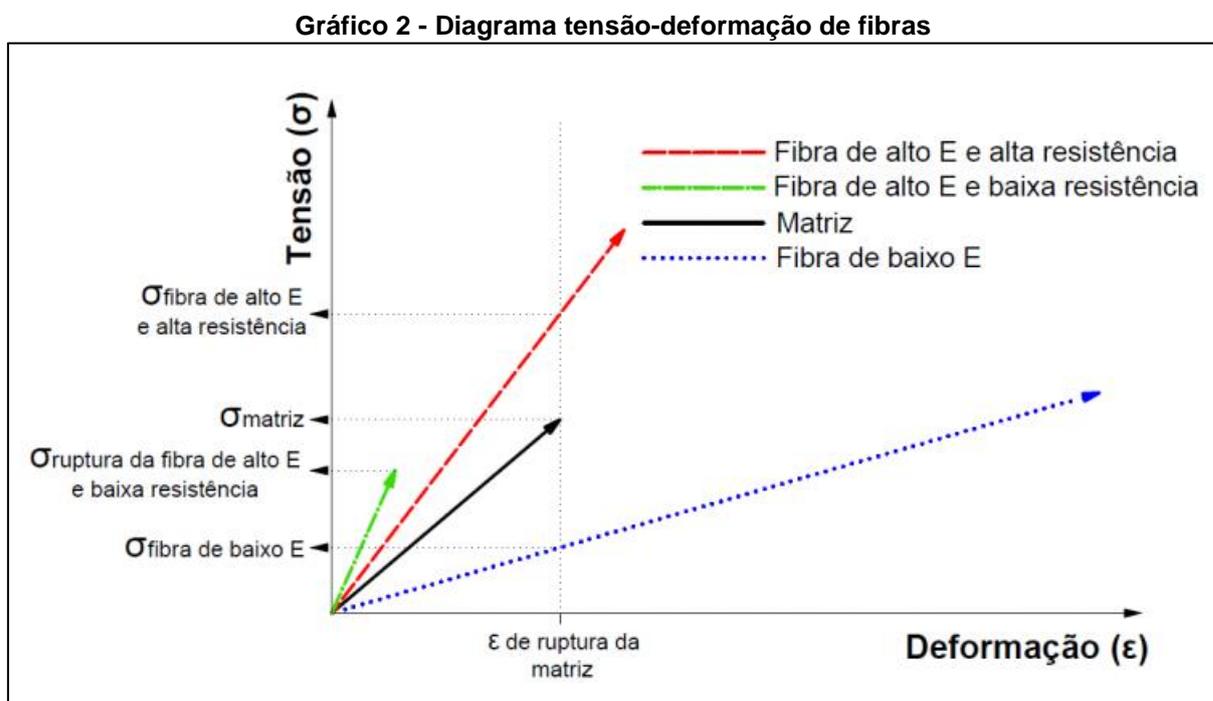
Fonte: Adaptado de Bentur e Mindess (2007 apud Frölich, 2019).

Dentre as fibras citadas, as características principais a serem levadas em conta são suas resistências mecânicas e seus módulos de elasticidade, visto que esses fatores influenciarão no seu desempenho nas argamassas e concretos.

Figueiredo (2011, p. 16) afirma que as fibras com alto módulo de elasticidade, mas baixa resistência mecânica, não são vantajosas para utilização como reforço, pois sofrem ruptura antes da matriz, em pequenas deformações. O autor também salienta que as fibras de alto módulo de elasticidade e de alta resistência mecânica

são capazes de resistir a carga transmitida pela matriz e atuar como reforço, por possuírem uma tensão superior à da matriz no momento da ruptura.

O Gráfico 2 apresenta o diagrama da relação tensão e deformação de uma matriz de concreto e de fibras com propriedade mecânica variada.



Fonte: Figueiredo (2011, p. 16).

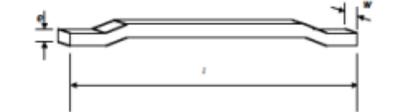
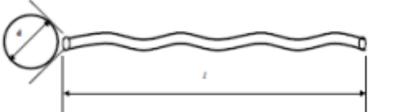
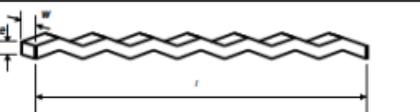
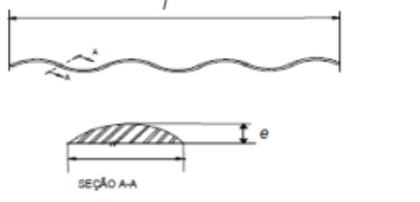
### 2.3.1 Fibras de aço

As fibras de aço devem atender a certos requisitos conforme orienta a ABNT NBR 15530:2019 (Fibras de aço para concreto – Especificação).

Esta norma apresenta as classificações das fibras de aço quanto a sua forma (com extremidades ancoradas, corrugadas e retas, conforme Figura 9) e em relação ao seu processo de produção (proveniente de arame trefilado a frio, de chapa laminada cortada a frio e de arame trefilado e escareado).

Partindo dessas especificações, são estabelecidos os limites de fator forma (relação comprimento vs. diâmetro) e da resistência à tração, conforme apresenta a Tabela 13.

Figura 9 - Geometria dos diversos tipos de fibras de aço

| Tipo | Classe da Fibra | Geometria  |
|------|-----------------|--|
| A    | I               |    |
|      | II              |    |
| C    | I               |    |
|      | II              |    |
|      | III             |   |
| R    | I               |  |
|      | II              |  |

Fonte: Adaptado de Figueiredo (2011, p. 11).

Tabela 13 – Requisitos da NBR 15530:2019 para as fibras de aço

| Tipo (geometria) | Classe da fibra | Fator de forma mínimo $\lambda$ | Limite de resistência à tração do aço $f_u$ Mpa |
|------------------|-----------------|---------------------------------|---|
| A                | I               | 40                              | 1000  |
|                  | II              | 30                              | 500   |
| C                | I               | 40                              | 800   |
|                  | II              | 30                              | 500   |
|                  | III             | 30                              | 800   |
| R                | I               | 40                              | 1000  |
|                  | II              | 30                              | 500   |

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 15530 (2019).

Segundo Frölich (2019, p. 50), a fibra de aço possui módulo de elasticidade elevado, sendo adequado para o reforço de concretos para fins estruturais, podendo até mesmo substituir totalmente a armadura convencional em algumas aplicações.

### **2.3.2 Fibras poliméricas sintéticas (macrofibras)**

Esse tipo de fibra é composta por inúmeros polímeros, que visam o ganho de resistência residual pós-fissuração do elemento, elevando sua ductibilidade. Segundo Frölich (2019, p. 56), a incorporação das macrofibras poliméricas acarreta uma melhora significativa em diversas propriedades mecânicas do concreto, principalmente sua tenacidade, resistência à fadiga e ao impacto.

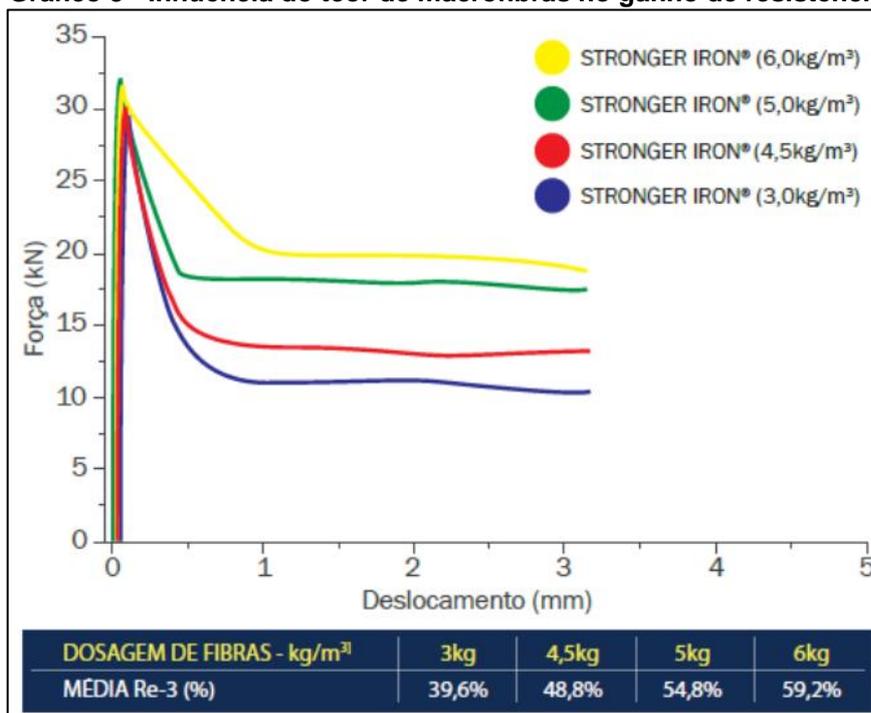
Segundo Medeiros (2012, p. 52), vários fatores justificam o emprego do polipropileno no concreto, entre eles: é um material quimicamente inerte, não sofre corrosão, não absorve água, apresenta baixo custo e é de fácil disponibilidade. Hannant (2013, apud Leite, 2018, p. 51) apresenta outra característica que justifica o emprego das fibras poliméricas: em situações de incêndio, ocorre a fusão das fibras, originando canais por onde os vapores são liberados mais facilmente, dificultando a ocorrência do *spalling*.

Devido a não existência de norma brasileira que regulamente o uso de fibras poliméricas em argamassas e concretos, pode-se utilizar normas estrangeiras, como a UNE-EN 14889-2, *Fibras para hormigón, Parte 2: Fibras poliméricas – Definiciones, especificaciones y conformidad* (AENOR, 2008).

A norma UNE-EN 14889-2 (AENOR, 2008), traz a classificação das fibras poliméricas conforme sua forma física. Nos casos em que a fibra tem mais de 0,30mm de diâmetro, ela entra na classificação de macrofibra de classe II. No mercado brasileiro, são encontradas fibras com medidas semelhantes às de aço, com 20 mm a 60 mm de comprimento.

Frölich (2019, p. 57), salienta que com o aumento no teor de macrofibra polimérica é possível se observar um ganho na carga resistida pelo concreto pós-fissura, da mesma forma como ocorre com a fibra de aço. Esse ganho de resistência está demonstrado no Gráfico 3.

Gráfico 3 - Influência do teor de macrofibras no ganho de resistência



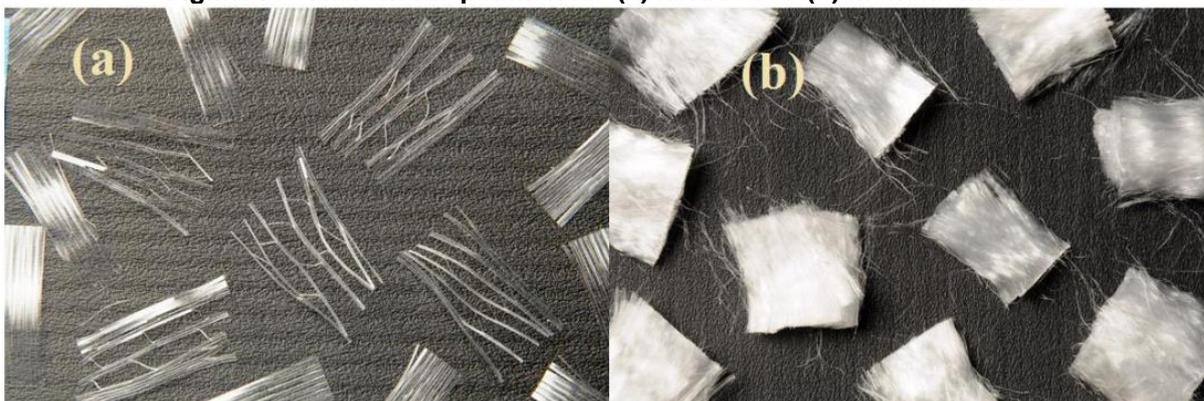
Fonte: CONCREFIBER (2016 apud Frölich, 2019).

### 2.3.3 Microfibras

As microfibras têm comprimentos que variam entre 6 mm e 20 mm, são utilizadas com o intuito de reduzir a exsudação e a fissuração por retração plástica no estado fresco do concreto, visto que possui baixo módulo de elasticidade e resistência.

Segundo, Figueiredo (2011, p. 13), existem dois tipos de microfibras: as fibriladas que são formadas por uma malha de finos filamentos e a de monofilamentos que é composta por pequenos fios cortados de comprimentos iguais, conforme podem ser observadas na Figura 10.

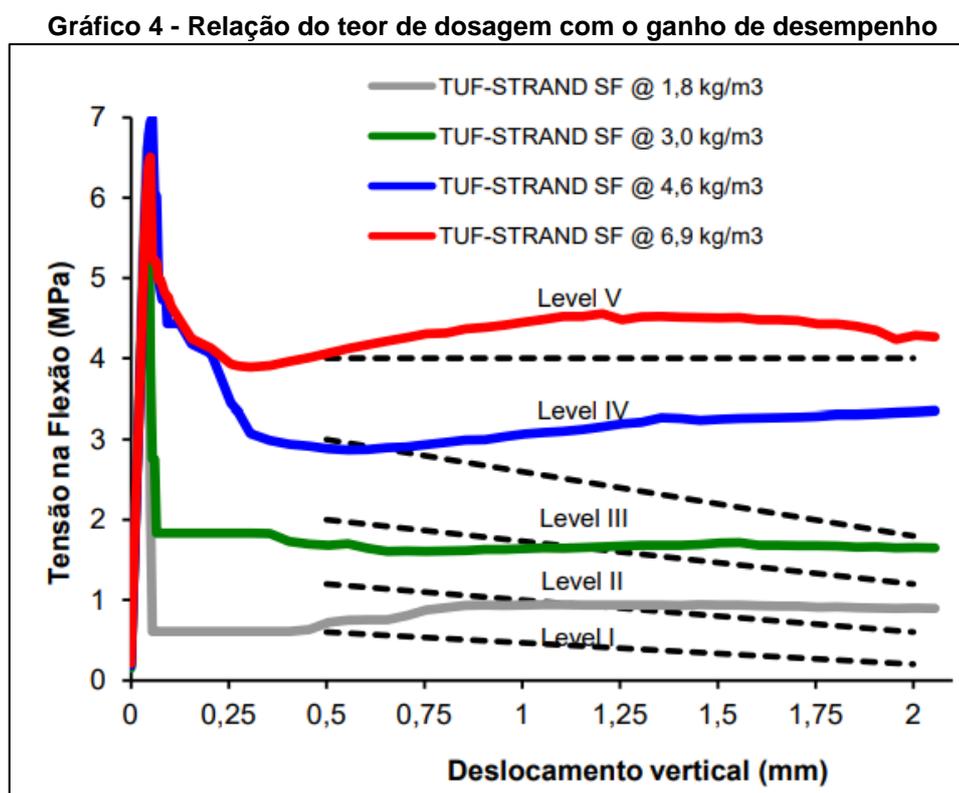
Figura 10 - Microfibras poliméricas (a) fibriladas e (b) monofilamentos



Fonte: Abcpolymer (2017 apud Leite, 2018).

No mercado da construção tem se utilizado a mistura entre as macrofibras e as microfibras, visto que suas propriedades unidas geram ganhos no controle de fissuração do concreto fresco e no reforço estrutural.

Um exemplo desse tipo de fibra é a TUF-STRAND-SF, da VIAPOL. Ela é composta por uma combinação de polipropileno e polietileno, e possui resistência equivalente a telas soldadas e fibras de aço. O teor de dosagem implica diretamente em seu desempenho, conforme pode ser verificado no Gráfico 4.



## 2.4 Fundamentos de Acústica

### 2.4.1 Som e Ruído

Segundo Bistafa (2018, p. 17), som é uma sensação produzida no sistema auditivo humano e o ruído é um som indesejável, sem harmonia. Ou seja, uma vez interferindo no bom andamento das atividades, nos objetivos dos espaços, prejudicando a função do ambiente, o som pode ser considerado ruído, independentemente de seu espectro (Souza, et al 2013).

Os ruídos são objeto de crescente número de estudos, uma vez que seus efeitos nocivos ao ser humano não se limitam às lesões do aparelho auditivo, podendo causar efeitos tanto físicos como psicológicos (Souza, et al 2013).

Existem muitas fontes sonoras diferentes transmitidas pela estrutura nos pisos, incluindo passos, impactos de crianças brincando, objetos caídos, cadeiras ou outros móveis sendo arrastados pelo chão e vibrações de máquinas como máquinas de lavar ou serviços mecânicos (Hopkins, 2007).

Em uma edificação de múltiplos pavimentos, os inúmeros habitantes podem gerar ruídos de distintas fontes, que são distribuídos em ruído de impacto ou ruído aéreo.

#### **2.4.1.1 Ruído de Impacto**

O ruído de impacto é produzido a partir de uma excitação mecânica que origina uma vibração que é irradiada pela estrutura dos edifícios (ZUCHETTO et al., 2016a). Em unidades habitacionais sobrepostas, essa excitação mecânica ocorre por diversos motivos, como ar-condicionado, bater de portas, queda de objetos, passos etc.

De acordo com Gerges (c2000, apud FÜHR, 2016, p. 34), as elevadas distâncias percorridas pelas ondas de impacto são frutos das propriedades dos meios sólidos, visto a alta densidade e velocidade de propagação do som característicos desses meios.

Todavia, segundo Lorenzi (et al, 2019), altas velocidades de propagação nem sempre se traduzem em alta transmissibilidade, uma vez que materiais resilientes e porosos apresentam alta velocidade de propagação e baixa transmissibilidade, fato que pode ser explicado pela baixa densidade aparente dos materiais.

#### **2.4.1.2 Ruído Aéreo**

O ruído aéreo consiste em sucessivas ondas de pressão ou vibrações que são geradas pela fala ou autofalantes e que são transmitidas pelo ar (NUNES et al. (2014, p. 18)). Esses ruídos podem provir de diversas possibilidades, bem como fala, televisão, rádio, tráfego de veículos etc.

De acordo com Carvalho (2010), quando uma onda sonora incide sobre um obstáculo, uma parcela dessa onda é transmitida através do material, via aérea, para outro ambiente, a segunda parcela é propagada pelo próprio material, a terceira absorvida por ele e a última refletida para o ambiente da fonte geradora.

O modo em que o ruído é gerado e propagado é diferente ao do ruído de impacto e isso gera uma grande dificuldade em encontrar maneiras de atenuar ambos os ruídos simultaneamente.

### **3. METODOLOGIA**

No presente trabalho foi realizado estudo experimental do desempenho acústico de contrapisos reforçados com fibras, através da realização de ensaios em corpos de prova de contrapisos do tipo “farofa”, com um traço previamente estabelecido e com diferentes espessuras para avaliar o seu uso em sistemas de pisos flutuantes. Essa pesquisa é do tipo descritiva de natureza quantitativa.

Primeiramente, foram caracterizados os materiais utilizados no contrapiso e a fibra empregada para o reforço do elemento. Após esse levantamento, e somando as referências encontradas na literatura, foram definidos os traços, os teores de fibras adicionadas e as espessuras do contrapiso para serem ensaiados.

#### **3.1 Caracterização dos contrapisos e seus materiais**

O contrapiso ensaiado é do tipo “farofa”, composto por cimento, agregado miúdo e água, porém em diferentes dimensões.

##### **3.1.1 Cimento**

Para os ensaios, foi utilizado o cimento do tipo CP IV 32 RS – Cimento Portland Pozolânico da marca CAUÊ. Apresenta calor de hidratação baixo e resistência aumentada com o tempo.

##### **3.1.2 Agregado miúdo**

Para este trabalho foi utilizada areia de granulometria média com diâmetro máximo entre 2,4 mm a 4,8 mm. Caracterizada pelo procedimento apontado na norma NBR 7211 (ABNT, 2009).

##### **3.1.3 Água**

A água utilizada para a produção do contrapiso é proveniente de uma rede de água potável.

### 3.1.4 Fibras poliméricas

No presente trabalho foi utilizado, para o reforço dos contrapisos, a fibra TUF-STRAND-SF que, de acordo com o Anexo E, é composta por uma mistura de polipropileno e polietileno e pode ser utilizada em uma variedade de aplicações para substituir com sucesso as fibras de aço e as telas soldadas. Essas fibras objetivam uma maior ancoragem na matriz, permitindo assim um aumento da resistência pós-fissuração, da resistência ao impacto e à fadiga, e diminuição de fissuras de retração.

Figura 11 - Fibra TUF-STRAND-SF



Fonte: Autor.

## 3.2 Determinação do traço e das espessuras do contrapiso

Definidos os materiais que serão utilizados para a produção do contrapiso, é necessária a determinação dos traços, das espessuras e o teor de fibras.

Segundo Rubin (2015, p. 25), os traços mais utilizados em obra, na cidade de Porto Alegre (RS), para confecção do contrapiso convencional, são 1:3 (de maior resistência) e 1:6 (de menor resistência).

A ABNT NBR 13753 (1996) relativa a revestimentos cerâmicos utilizando argamassa colante, afirma que o contrapiso deve ser constituído por uma argamassa de cimento e areia média úmida, com traço recomendado em volume de uma parte de cimento para seis partes de areia. Já a AUBICON (2015 apud Frölich, 2019, p. 68)

recomenda a utilização de traço 1:3 ou 1:4 para contrapisos com camada de isolamento acústico.

No que se refere à espessura do contrapiso, AUBICON (2015 apud Frölich, 2019, p. 69) orienta a utilização de camadas que variam de 4 a 8 cm. Já TÉCHNE (2010, p. 92) salienta que a espessura deve atender as especificações do projeto, variando entre 4 e 7 cm.

Em relação ao teor de fibras adicionadas a argamassa de contrapiso, a ANAPRE (2011, p. 2) recomenda que a adição fique entre 2 kg/m<sup>3</sup> a 6 kg/m<sup>3</sup>, sendo está uma dosagem normalmente utilizada no mercado. Já a VIAPOL (2019) recomenda para a fibra TUF-STRAND-SF dosagens que variam de 1,8 a 12kg/m<sup>3</sup>.

Diante disto, o traço escolhido para o presente trabalho foi o 1:3 (uma parte de cimento para três partes de areia média úmida), com a relação água e cimento (a/c) menor que 0,4. Quanto a sua espessura, foram escolhidos 2, 3, 4, 5 e 6 cm. Embora não exista literatura que recomende contrapisos com camadas de 2 e 3 cm, ambos serão analisados. No que tange a adição de fibras, o teor escolhido foi de 2 kg/m<sup>3</sup>.

### **3.3 Mantas acústicas**

Para o presente trabalho, foram escolhidas três marcas de mantas acústicas para aplicação nas configurações de contrapiso estudadas.

A primeira, manta Tipo 1, possui 5 mm de espessura, fabricada em polietileno expandido e que é distribuída em bobinas de 1,20 x 50 metros. Conforme o Anexo A, além de atender à norma ABNT 15575-3, é 100% reciclável, não deteriora em contato com a umidade, não propaga chama, não precisa de mão de obra especializada para aplicação e é conhecida por ter o melhor custo-benefício da categoria.

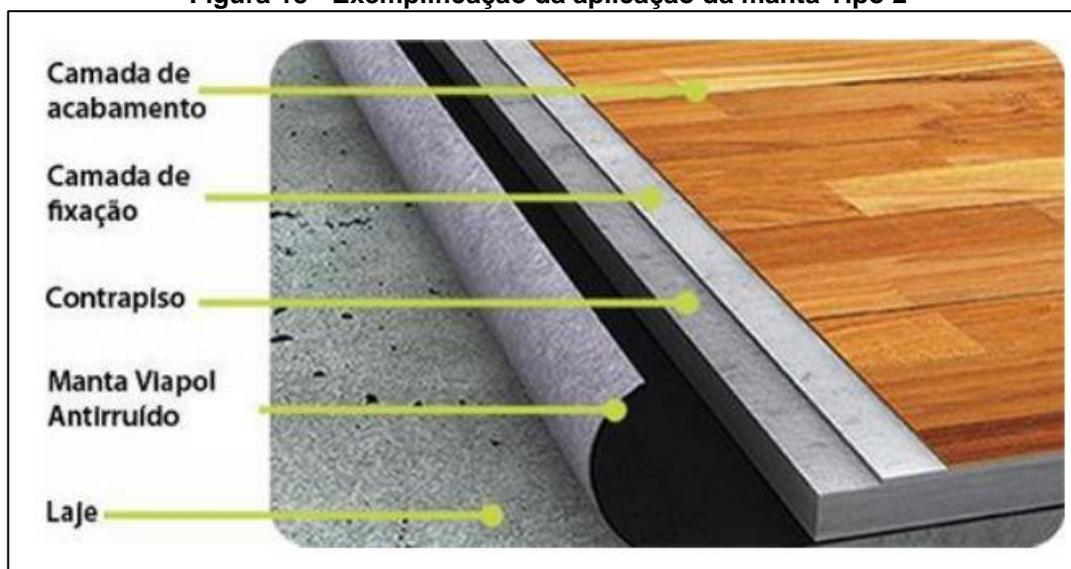
**Figura 12 – Exemplificação da aplicação da manta Tipo 1**



Fonte: Disponível em: <<http://multinova.ind.br/produtos/pmultimpact-p-6>>.

A segunda manta acústica utilizada é a manta Tipo 2. A manta de 5 mm é composta de manta asfáltica estruturada em não tecido de fibra de vidro, produzida com asfalto especial em espessuras de 5 mm, acoplada à geotêxtil de alta gramatura. Segundo o Anexo D, possui densidade de  $900 \text{ kg/m}^3$  e, segundo relatório de ensaio em campo 140.165 da Concremat, atinge o nível superior da norma ABNT NBR 15575-3, com nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado ( $L'_{nT,w}$ ) de 51 dB.

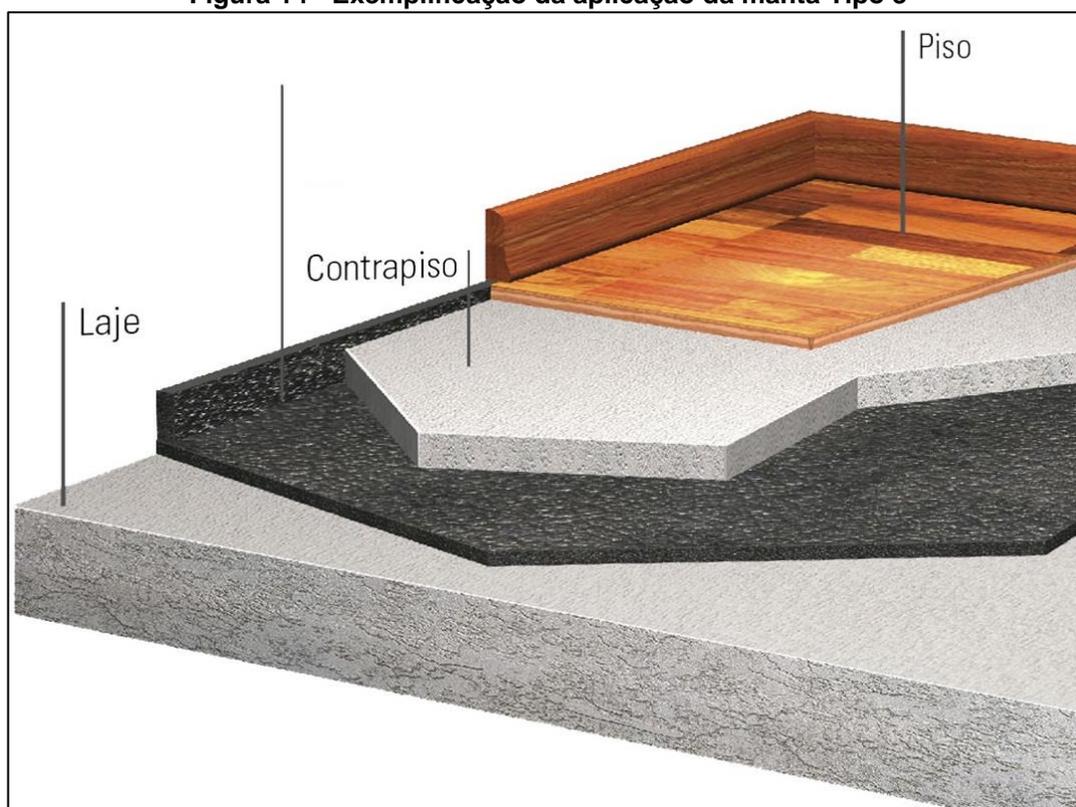
**Figura 13 - Exemplificação da aplicação da manta Tipo 2**



Fonte: Disponível em: <<http://www.viapol.com.br/media/132777/ft-mantas-viapol-antirruido-01-06-13.pdf>>.

A terceira é a manta Tipo 3. Conforme Anexos B e C, ela é pré-fabricada de grânulos de pneus reciclados aglomerados com poliuretano, possui densidade entre 600 a 750 kg/m<sup>3</sup>, apresentando alta resistência à compressão, permitindo a execução de contrapisos de menor espessura e com adição de microfibras. Por sua permanente elasticidade e alta capacidade de resiliência, permite submissão a cargas de até 2500 kg/m<sup>2</sup>.

**Figura 14 - Exemplificação da aplicação da manta Tipo 3**

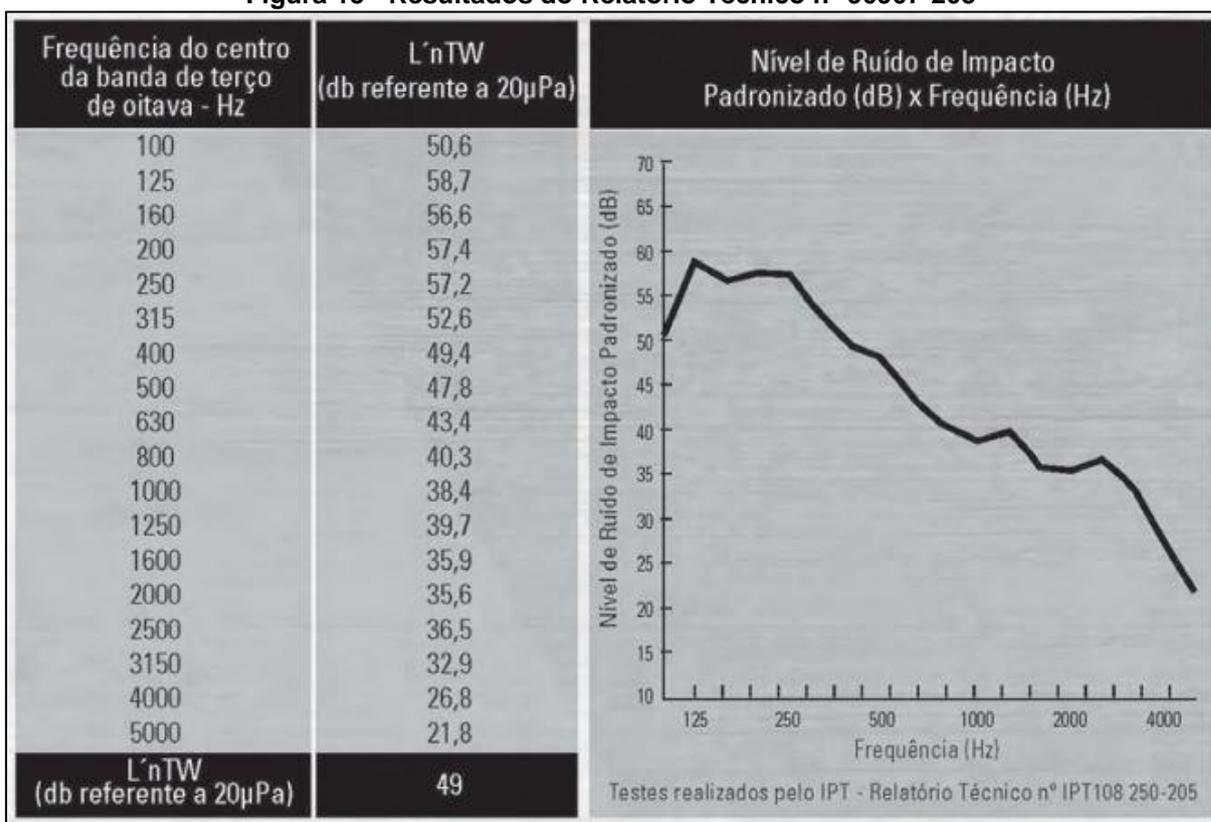


Fonte: Disponível em: <<https://revistaprojeto.com.br/produto/aubicon-linha-sound-soft/>>.

O ensaio de fluência à compressão identificou a perda de 7% da espessura da manta quando exposta a uma carga de 10 kPa, o que garante que a movimentação do sistema não causará danos ao contrapiso e ao revestimento ao longo da vida útil da obra.

O Relatório Técnico nº 108 250-205, realizado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, apresenta o teste realizado com a manta de 5mm em laje de concreto armado, conforme Figura 16.

Figura 15 - Resultados do Relatório Técnico n° 90907-205



Fonte: Disponível em: < <https://www.aecweb.com.br/cls/catalogos/aubicon/sound-soft.pdf>>.

Com base nos níveis de desempenho ao ruído de impacto em sistema de pisos, conforme Tabela 14, e levando em consideração que o Relatório Técnico n° 108 250-205 apontou o nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado ( $L'_{nT,w}$ ) em 49 dB, percebe-se que a manta atinge ao nível superior da norma ABNT NBR 15575-3.

Tabela 14 - Níveis de desempenho ao ruído de impacto em sistema de pisos

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

Fonte: ABNT NBR 15.575-3: 2013.

### **3.4 Ensaios realizados para avaliação das amostras**

Para a análise do desempenho acústico do contrapiso, foi utilizada a metodologia de medição especificada na ISO 16283-2 (2018). Para uma avaliação mais completa do contrapiso, foram realizados dois ensaios mecânicos em quatro corpos de prova cilíndricos: ensaio de resistência à compressão e ensaio de resistência à tração por compressão diametral.

#### **3.4.1 Ensaio de ruído de impacto**

A partir da metodologia de medição disposta na ISO 16283-2 (2015), que visa a determinação da emissão de ruído de impacto, utilizou-se uma fonte de impacto sobre o contrapiso e um aparelho capaz de medir o nível de pressão sonora em bandas de terço de oitava, que variam de 100 a 3150 Hz, no ambiente inferior.

O resultado foi convertido conforme a ISO 717-2 (2013) em um número único, para definição do nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado ( $L'_{nT,w}$ ), que tornou possível verificar se atende ao nível requerido pela ABNT NBR 15575-3 (2013).

##### **3.4.1.1 Gerador de som de impacto**

O gerador de som de impacto, ou máquina de batida, da empresa Brüel & Kjær, é capaz de produzir uma frequência de operação de 10 Hz, devido aos seus cinco martelos de 500 g que operam a 2 Hz, que são lançados ao chão de uma altura de 40 mm.

**Figura 16 - Gerador de som de impacto**



Fonte: Autor

Essa máquina deve ser alocada no apartamento que está o contrapiso a ser ensaiado, para gerar o ruído necessário para o receptor que estará no andar abaixo. Para este ensaio, a máquina de impacto (Figura 17) foi posicionada em 16 posições diferentes, respeitando o distanciamento mínimo de 0,5 metros dos limites do piso e seu posicionamento à 45° em relação as vigas, conforme orienta a EN ISO 16283-2 (2015).

#### **3.4.1.2 Sonômetro**

O sonômetro Type 2270, da empresa Brüel & Kjær, tem como objetivo a medição sonora do ruído de impacto, neste caso, gerado pela máquina de batida, devendo ser alocado no andar abaixo do dormitório ensaiado, seguindo os 16 posicionamentos pré-definidos do gerador de som de impacto.

**Figura 17 - Sonômetro**

Fonte: Autor

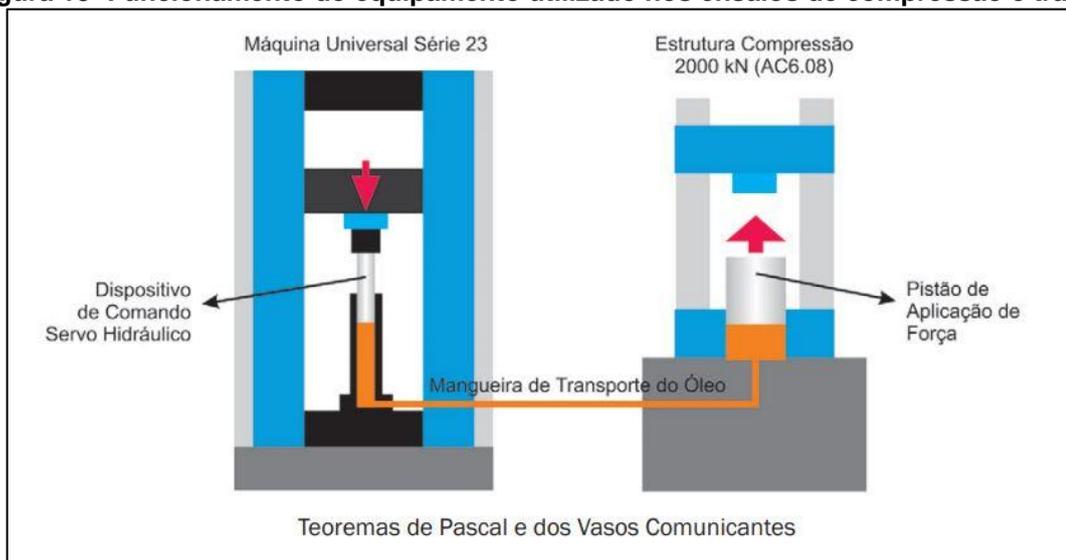
O nível medido é processado pelo aparelho de medição e resulta em um nível pressão sonora de impacto padronizado ( $L'nT$ ). Com a aplicação da EN ISO 712-2 (2013) é possível converter o valor obtido em um número único, conhecido como nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado ( $L'nT,w$ ), que permite a caracterização do desempenho acústico dos objetos ensaiados.

### **3.4.2 Ensaio de resistência à compressão**

Para verificar a resistência à compressão do contrapiso, visto que não há norma específica para este caso, foi utilizado o ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos de concreto, seguindo as orientações da norma NBR 5739 (ABNT, 2018).

A máquina de ensaio de resistência à compressão aplica cargas através dos Teoremas de Pascal e dos Vasos Comunicantes, com a força aplicada sendo amplificada e transferida hidráulicamente para a Estrutura de Compressão, conforme Figura 19.

**Figura 18- Funcionamento do equipamento utilizado nos ensaios de compressão e tração**



Fonte: Disponível em: <<http://www.viapol.com.br/produtos/antirru%C3%ADdo/manta-viapol-antirruído/>>.

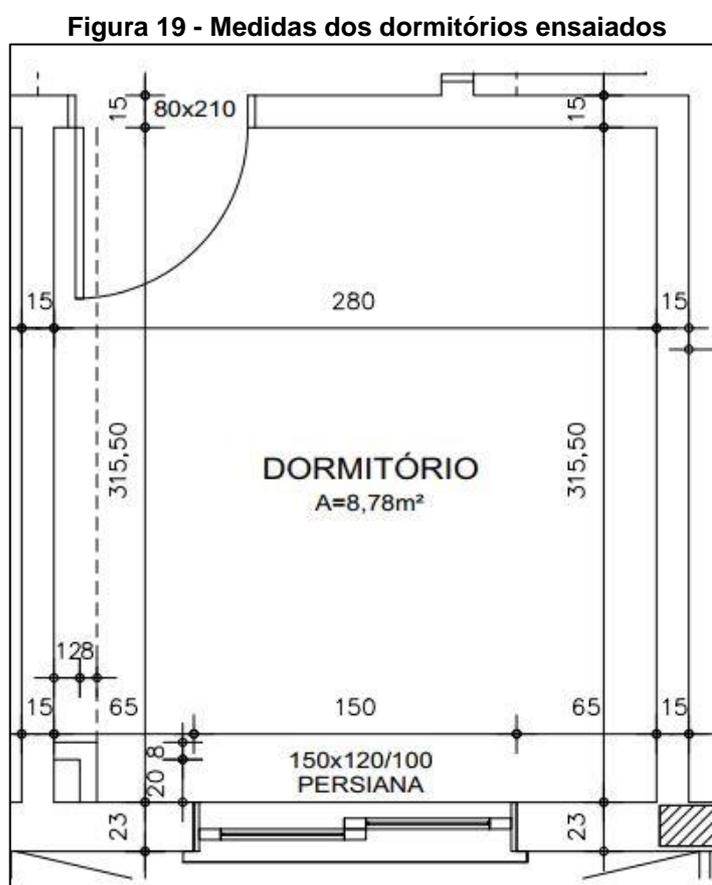
### 3.4.3 Ensaio de resistência à tração por compressão diametral

Para o ensaio de resistência à tração por compressão diametral utilizou-se as orientações da norma NBR 7222 (ABNT, 2011), que trata da determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos de argamassa e concreto. A máquina é a mesma utilizada no ensaio de compressão (Figura 19).

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Localização, produção e moldagem dos corpos de prova

Tendo em vista os ensaios necessários para analisar o desempenho acústico das 16 configurações de contrapisos com adição de fibras poliméricas, optou-se pela aplicação dos corpos de prova em um dormitório de 8,78 m<sup>2</sup>, em 16 apartamentos do Edifício Urb Park, localizado na Rua Santana, 277, bairro Farroupilha, na cidade de Porto Alegre.



Fonte: Planta Baixa Pavimento Tipo Torre 02 - Urban Park.

Para garantir que a espessura das lajes não interferisse nos ensaios de desempenho acústicos, foram realizadas furações nos pontos de luz nos 16 dormitórios, com a utilização de furadeira e broca 8,0 milímetros, sendo aceitáveis diferenças de até 1,5 centímetros na espessura das lajes.

**Figura 20 - Furo de 8 mm realizado em laje**



Fonte: Autor.

Para esta verificação, foi produzido manualmente um medidor, conforme Figura 22, que pudesse ser encaixado de cima para baixo e permitisse a verificação no andar inferior. Por possuir uma a parte superior em formato retangular, foi possível nivelar o medidor com a laje, visto que as furações causavam quebras no entorno dos furos.

**Figura 21 - Medidor produzido manualmente**



Fonte: Autor.

Os apartamentos aptos a receber a aplicação do contrapiso constam nas Tabelas 15, 16 e 17, conjuntamente com as descrições de espessura de contrapiso, empresa responsável pela fabricação da manta e a data de aplicação.

**Tabela 15 - Disposição das aplicações da manta Tipo 1 e sem manta**

| Apartamento | Espessura da laje | Espessura do contrapiso | Manta     | Data da aplicação |
|-------------|-------------------|-------------------------|-----------|-------------------|
| 407         | 13,5cm            | 2cm                     | Tipo 1    | 17/09/2020        |
| 401         | 13cm              | 3cm                     | Tipo 1    | 08/09/2020        |
| 802         | 14cm              | 4cm                     | Tipo 1    | 04/09/2020        |
| 807         | 14cm              | 5cm                     | Tipo 1    | 03/09/2020        |
| 808         | 13cm              | 6cm                     | Tipo 1    | 01/09/2020        |
| 801         | 13cm              | 5cm                     | SEM MANTA | 01/09/2020        |

Fonte: Autor.

**Tabela 16 - Disposição das aplicações da manta Tipo 2**

| Apartamento | Espessura da laje | Espessura do contrapiso | Manta  | Data da aplicação |
|-------------|-------------------|-------------------------|--------|-------------------|
| 601         | 13cm              | 2cm                     | Tipo 2 | 22/09/2020        |
| 301         | 13,5cm            | 3cm                     | Tipo 2 | 21/09/2020        |
| 608         | 13,5cm            | 4cm                     | Tipo 2 | 22/09/2020        |
| 408         | 13,5cm            | 5cm                     | Tipo 2 | 19/09/2020        |
| 708         | 13cm              | 6cm                     | Tipo 2 | 21/09/2020        |

Fonte: Autor.

**Tabela 17 - Disposição das aplicações da manta Tipo 3**

| Apartamento | Espessura da laje | Espessura do contrapiso | Manta  | Data da aplicação |
|-------------|-------------------|-------------------------|--------|-------------------|
| 501         | 13cm              | 2cm                     | Tipo 3 | 29/09/2020        |
| 502         | 14cm              | 3cm                     | Tipo 3 | 25/09/2020        |
| 507         | 12,5cm            | 4cm                     | Tipo 3 | 22/09/2020        |
| 508         | 13cm              | 5cm                     | Tipo 3 | 22/09/2020        |
| 602         | 13,5cm            | 6cm                     | Tipo 3 | 24/09/2020        |

Fonte: Autor.

Estabelecidos os ensaios necessários, as mantas e as espessuras a serem executadas nos devidos apartamentos, procedeu-se com a aplicação das mantas para posterior produção e moldagem dos corpos de prova.

#### 4.1.1 Aplicação das mantas acústicas

Para aplicação da manta Tipo 3, com o auxílio de um estilete, deve ser realizado um corte deixando 1 cm nas paredes de alvenaria. Entre um pano e outro deve ser realizada sobreposição de 5 cm. As faixas de rodapés devem ser colocadas por trás

das mantas. O resultado da aplicação através dessas orientações pode ser verificado na Figura 23.

**Figura 22 – Aplicação da manta Tipo 3**



Fonte: Autor.

A manta Tipo 1 utiliza rodapé acústico adesivado que deve ser aplicado 5 centímetros sobre a manta e 10 centímetros nas paredes e soleiras de porta. Em sua aplicação não devem ocorrer sobreposições de mantas, para evitar possíveis pontes acústicas, devendo ser utilizada fita de banda acústica nos encontros entre as mantas. O resultado pode ser conferido na Figura 24.

**Figura 23 - Aplicação da manta Tipo 1**

Fonte: Autor.

A instalação da manta acústica Tipo 2, deve ser realizada com o posicionamento da face do asfalto para cima e a do geotêxtil para baixo. Salienta-se que sempre deve se tentar subir com 10 cm sobre as paredes, fazendo uma espécie de rodapé. Nas emendas, não deve ser realizadas sobreposições, devendo receber fechamento com fita específica de largura mínima de 5 cm. O resultado da instalação pode ser observado na Figura 25.

**Figura 24 - Aplicação da manta Tipo 2**

Fonte: Autor.

#### 4.1.2 Aplicação da argamassa de contrapiso

A aplicação e produção do contrapiso “farofa” foi por bombeamento, através de uma máquina misturadora e transportadora de argamassa à base de areia e cimento, que bombeia através de ar comprimido e pode ser observada na Figura 26.

Figura 25 - Maquinário utilizado para bombeamento do contrapiso



Fonte: Autor.

Com a definição do traço de  $2 \text{ kg/m}^3$  de teor de fibras adicionadas a argamassa de contrapiso e tendo em vista que são necessários, na máquina misturadora, cinco bombeamentos para produção de um metro cúbico de contrapiso, estimou-se a adição de 335 gramas de fibras poliméricas em cada bombeamento. O aspecto final da argamassa com adição das fibras pode ser observado na Figura 27.

**Figura 26 - Argamassa "farofa" com adição das fibras**



Fonte: Autor.

A argamassa “farofa”, após ter todos seus componentes misturados, é bombeada para as áreas de aplicação, em pequenas quantidades, percorrendo toda a extensão da mangueira que sai da máquina até o cômodo pré-estabelecido. Ao chegar no local de aplicação, a argamassa deve ser distribuída igualmente por toda a área do cômodo, conforme Figura 28. Com a utilização de um nível a laser, foram realizadas as marcações para garantir a correta espessura e padronização do contrapiso

**Figura 27 - Chegada da argamassa "farofa" bombeada ao dormitório**



Fonte: Autor.

Após a distribuição da argamassa por toda a área do cômodo foi realizada a sua compactação e posterior regularização com auxílio de régua de alumínio, conforme pode ser melhor observado na Figura 29. Após a finalização deste processo, é necessário evitar ao máximo o trânsito de pessoas sobre o contrapiso executado, permitindo a cura sem interferências externas.

**Figura 28 - Contrapiso logo após ser nivelado e desempenado**



Fonte: Autor.

Decorrido o tempo necessário de cura, já é permitido o trânsito dos colaboradores sobre o contrapiso executado. O resultado da aplicação pode ser observado na Figura 30, onde também fica visível a subida e cobertura da manta nas soleiras e em cantos.

**Figura 29 – Resultado da aplicação do contrapiso e detalhes da manta**



Fonte: Autor.

Em uma imagem mais ampliada, conforme Figura 31, pode-se observar os “cabelos” que ficam no contrapiso já curado, devido as fibras poliméricas incorporadas a argamassa, demonstrando uma dispersão regular ao longo de todo o contrapiso.

**Figura 30 - Detalhe das fibras aparentes na superfície do contrapiso executado**



Fonte: Autor.

## 4.2 Análise dos resultados

Decorrido o tempo necessário de moldagem e cura, os contrapisos executados nos apartamentos e os corpos de provas do contrapiso foram submetidos aos ensaios descritos no item 3.4, permitindo avaliar o desempenho real das amostras através dos resultados obtidos.

Para os contrapisos executados nos apartamentos e submetidos ao ensaio de ruído de impacto, tomou-se como referência de desempenho adequado, os requisitos estabelecidos na norma NBR 15575 (ABNT, 2013), conforme consta na Tabela 18.

**Tabela 18 - Critérios e níveis de pressão sonora de impacto padrão ponderado,**

| Elemento  | $L'_{nT,w}$ | Nível de desempenho |
|---|-------------|---------------------|
| Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas posicionadas em pavimentos distintos | 66 a 80     | M                   |
|   | 56 a 65     | I                   |
|   | $\leq 55$   | S                   |

Fonte: Adaptado de NBR 15575-3 (ABNT, 2013).

Referente aos corpos de prova do contrapiso submetidos aos ensaios de resistência à compressão e resistência à tração por compressão diametral, utilizou-se com base de referência, os valores recomendados pela AUBICON (2015, apud FRÖLICH, 2018), conforme Tabela 19.

**Tabela 19 - Requisitos mínimos para amostras de contrapiso**

| Ensaio  | Requisitos      |
|---|-----------------|
| Resistência à compressão                      | $\geq 10,0$ MPa |
| Resistência à tração por compressão diametral | $\geq 1,0$ MPa  |

Fonte: Adaptado de AUBICON (2015, apud FRÖLICH, 2018).

## 4.3 Ensaios de resistência mecânica dos corpos de prova

Tendo em vista os critérios estabelecidos na Tabela 19, referentes aos desempenhos mínimos de resistência à compressão e à tração por compressão diametral, foram realizados os ensaios apontados no item 3.4.

### 4.3.1 Resistência à compressão

Para este ensaio, foram moldados dois corpos de prova cilíndricos seguindo as orientações da norma NBR 5738 (ABNT, 2016). Como a norma define que a altura deve ser igual ao dobro do diâmetro, foram moldados corpos de prova com altura de 20 cm e diâmetro de 10 cm. Os moldes e suas bases foram revestidos internamente com uma fina camada de óleo. Foi realizado adensamento manual, recebendo 50 golpes em cada uma das 4 camadas de adensadas, seguindo as indicações da norma, conforme pode ser verificado na Tabela 20.

**Tabela 20 - Número de camadas para moldagem dos corpos de prova**

| Tipo de corpo de prova | Dimensão básica (d) mm | Número de camadas em função do tipo de adensamento |        | Número de golpes para adensamento manual |
|------------------------|------------------------|--|--------|--|
|                        |                        | Mecânico   | Manual |  |
| Cilíndrico             | 100                    | 1  | 2      | 12                                       |
|                        | 150                    | 2  | 3      | 25                                       |
|                        | 200                    | 2  | 4      | 50                                       |
|                        | 250                    | 3  | 5      | 75                                       |
|                        | 300                    | 3  | 6      | 100                                      |
|                        | 450                    | 5  | -      | -  |

Fonte: Adaptado de NBR 5738 (ABNT, 2016).

Os corpos de prova foram posicionados conforme Figura 32, na máquina de ensaio de resistência à compressão.

**Figura 31 - Posicionamento do corpo de prova para ensaio de resistência a compressão**



Fonte: Autor

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão, realizados seguindo o método da NBR 5739 (ABNT, 2018), podem ser observados na Tabela 21.

**Tabela 21 - Resultados de resistência à compressão**

| Amostra | Resistência à compressão (MPa) | Média (MPa) |
|---------|--------------------------------|-------------|
| CP1     | 21,15                          | 19,34       |
| CP2     | 17,53                          |             |

Fonte: Autor

A partir da análise dos resultados expressos, constata-se que as amostras atingem satisfatoriamente os requisitos mínimos de 10 Mpa de resistência à compressão estabelecidos na Tabela 19.

#### **4.3.2 Resistência à tração por compressão diametral**

Assim como para o ensaio de resistência à compressão, foram moldados dois corpos de prova cilíndricos com altura de 20 cm e diâmetro de 10 cm do contrapiso com adição de fibras, com a idade de 28 dias. Também foram observadas todas as

orientações sobre o procedimento de moldagem de corpos de prova previstos na NBR 5738 (ABNT, 2016).

Os corpos de prova foram posicionados conforme Figura 33, na máquina de ensaio de resistência à compressão diametral. A máquina é a mesma utilizada no ensaio de compressão (Figura 32).

**Figura 32 - Posicionamento do corpo de prova para ensaio de resistência à compressão diametral**



Fonte: Autor

Através dos dados do ensaio de resistência à tração por compressão diametral e, utilizando a Equação 3 da norma NBR 7222 (ABNT, 2011), obteve-se os resultados constantes na Tabela 22.

**Tabela 22 - Resultados de resistência à tração por compressão diametral**

| Amostra | F (kgf) | F (N)    | Fct,sp (MPa) | Média (MPa) |
|---------|---------|----------|--------------|-------------|
| CP3     | 7632,04 | 74844,75 | 2,38         | 2,29        |
| CP4     | 7022,91 | 68871,22 | 2,19         |             |

Fonte: Autor.

A partir da análise dos resultados expressos, constata-se que as amostras atingem satisfatoriamente os requisitos mínimos de 1 MPa de resistência à tração por compressão diametral estabelecidos na Tabela 19.

#### 4.3.3 Comportamento mecânico

No acompanhamento dos ensaios apontados no item 3.4, foi possível verificar que, após o início da fissuração das amostras de contrapiso, as fibras absorveram a tensão e impediram que ocorresse o rompimento brusco, conforme pode ser observado na Figura 34.

**Figura 33 - Comportamento de amostra ensaiada**



Fonte: Autor

#### 4.4 Ensaios de desempenho acústico

Tendo em vista os critérios estabelecidos na Tabela 18, referentes aos níveis de desempenho de isolamento acústico através da análise dos níveis de pressão sonora de impacto padrão ponderado, foi realizado o ensaio apontado no item 3.4.1.

A partir dos resultados obtidos, constantes na Tabela 23, foi possível verificar que apenas dois dos contrapisos ensaiados apresentaram classificação mínima de desempenho de isolamento acústico conforme os níveis estabelecidos pela NBR 15575-3 (ABNT, 2013), enquanto os outros 14 atingiram o nível intermediário.

**Tabela 23 - Resultados os ensaios de desempenho acústico**

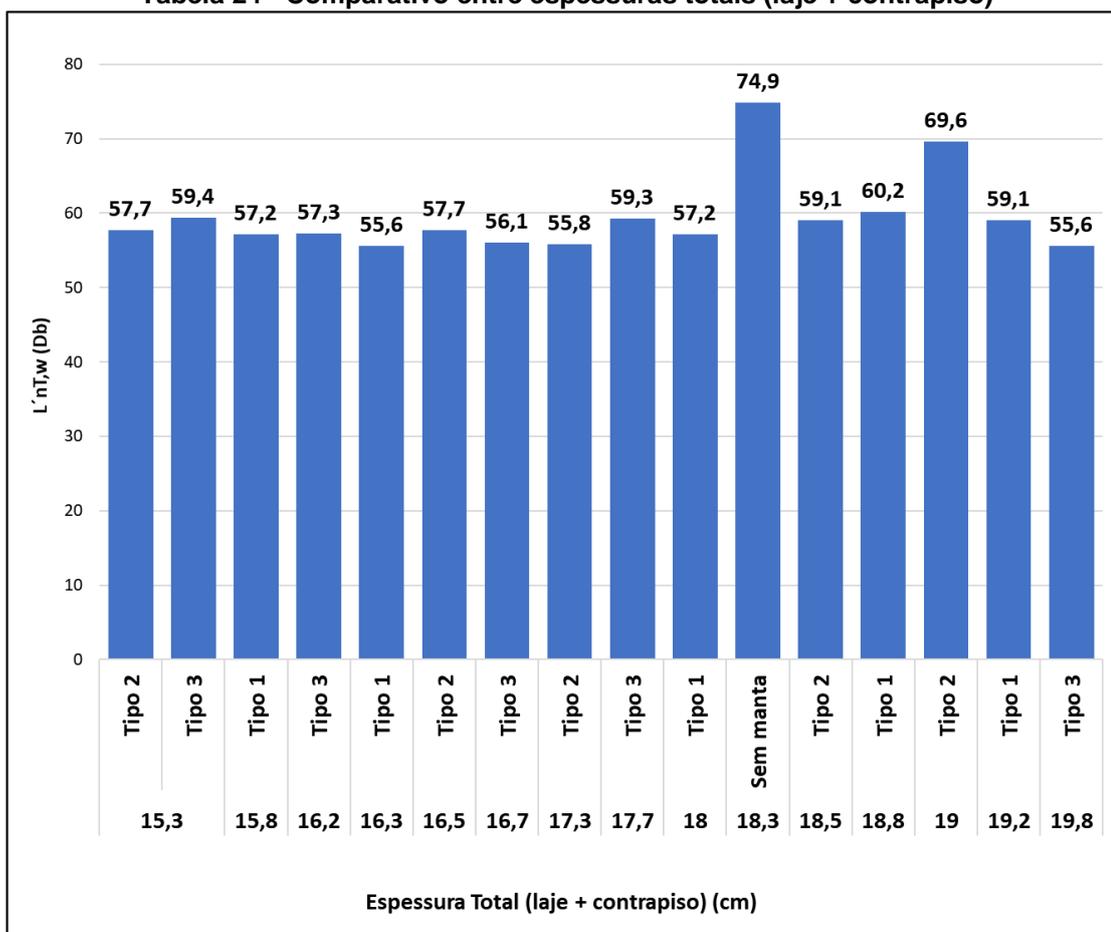
| Espessura do contrapiso (cm) | Manta utilizada | Espessura total (contrapiso + laje) | Apartamento | L'nT (dB) | L'nT,w (dB) | Classificação de desempenho segundo a ABNT NBR 15575-3 |
|------------------------------|-----------------|-------------------------------------|-------------|-----------|-------------|--|
| 6,00                         | Tipo 1          | 18,8                                | 808         | 60,2      | 61          | INTERMEDIÁRIO  |
| 6,00                         | Tipo 2          | 19                                  | 708         | 69,6      | 70          | MÍNIMO   |
| 6,00                         | Tipo 3          | 19,8                                | 602         | 55,6      | 56          | INTERMEDIÁRIO  |
| 5,00                         | Sem manta       | 18,3                                | 801         | 74,9      | 75          | MÍNIMO   |
| 5,00                         | Tipo 1          | 19,2                                | 807         | 59,1      | 60          | INTERMEDIÁRIO  |
| 5,00                         | Tipo 2          | 18,5                                | 408         | 59,1      | 60          | INTERMEDIÁRIO  |
| 5,00                         | Tipo 3          | 17,7                                | 508         | 59,3      | 60          | INTERMEDIÁRIO  |
| 4,00                         | Tipo 1          | 18                                  | 802         | 57,2      | 58          | INTERMEDIÁRIO  |
| 4,00                         | Tipo 2          | 17,3                                | 608         | 55,8      | 56          | INTERMEDIÁRIO  |
| 4,00                         | Tipo 3          | 16,2                                | 507         | 57,3      | 58          | INTERMEDIÁRIO  |
| 3,00                         | Tipo 1          | 16,3                                | 401         | 55,6      | 56          | INTERMEDIÁRIO  |
| 3,00                         | Tipo 2          | 16,5                                | 301         | 57,7      | 58          | INTERMEDIÁRIO  |
| 3,00                         | Tipo 3          | 16,7                                | 502         | 56,1      | 57          | INTERMEDIÁRIO  |
| 2,00                         | Tipo 1          | 15,8                                | 407         | 57,2      | 58          | INTERMEDIÁRIO  |
| 2,00                         | Tipo 2          | 15,3                                | 601         | 57,7      | 58          | INTERMEDIÁRIO  |
| 2,00                         | Tipo 3          | 15,3                                | 501         | 59,4      | 60          | INTERMEDIÁRIO  |

Fonte: Autor.

Tendo em vista que todos os resultados ficaram muito próximos quando analisados pelo nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado ( $L'nT,w$ ), que é um número inteiro resultante da conversão descrita na ISO 712-2 e utilizado para classificação do nível de desempenho conforme a NBR 15575-3 (ABNT, 2013), optou-se pela utilização do nível de pressão sonora de impacto padrão ( $L'nT$ ), por possibilitar uma comparação mais precisa.

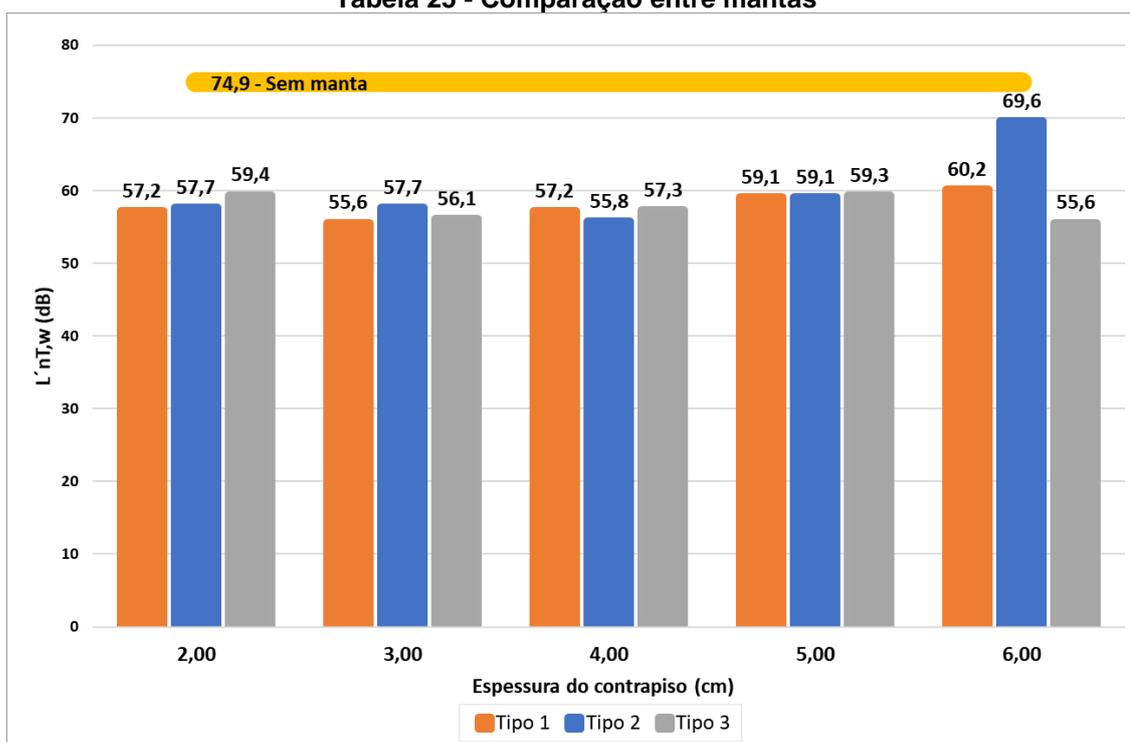
Analisando as espessuras totais (contrapiso + laje), conforme comparativo da Tabela 24, é possível verificar um ganho de isolamento ao ruído de impacto de 3,8 dB (6,40%) da maior espessura (19,8cm) sobre a menor (15,3 cm). Entretanto, através da análise dos demais resultados, constatou-se que a espessura total não é capaz de gerar uma diferença significativa no isolamento ao ruído de impacto.

Tabela 24 - Comparativo entre espessuras totais (laje + contrapiso)



Fonte: Autor.

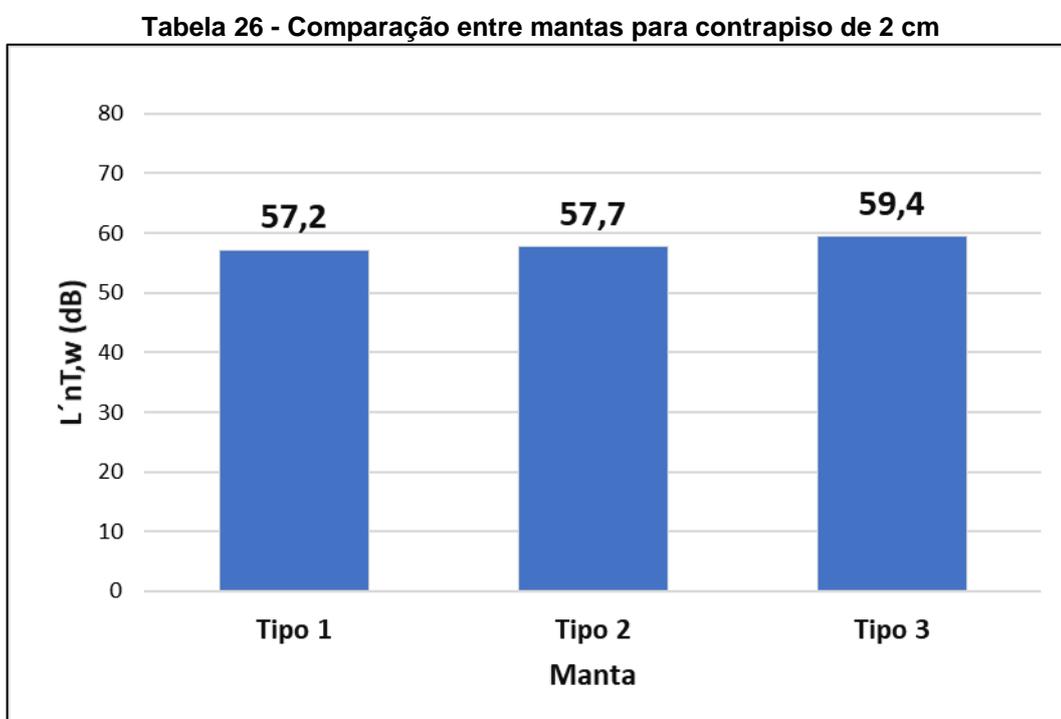
Tabela 25 - Comparação entre mantas



Fonte: Autor.

Através do comparativo presente na Tabela 25, verifica-se que a não utilização de manta sobre a laje, ainda que atinja o nível mínimo de desempenho estabelecido na NBR 15575-3 (ABNT, 2013), causa uma redução de isolamento ao ruído de impacto de 5,3 dB (7,62%) quando comparado ao maior valor obtido nas amostras com utilização da manta.

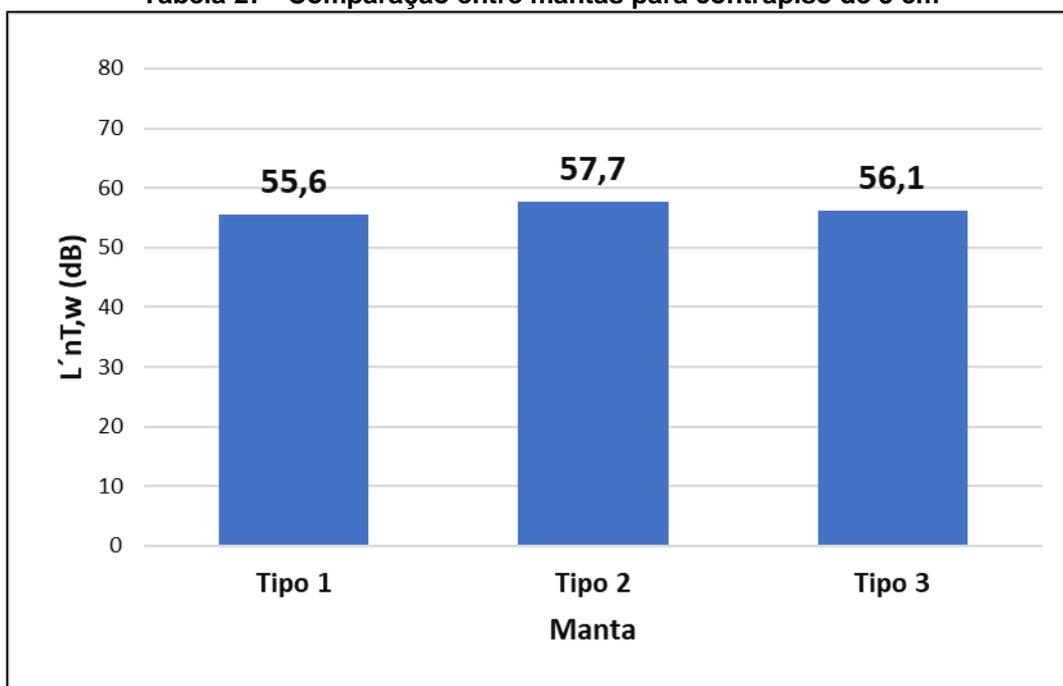
No comparativo entre as mantas aplicadas sob contrapiso com 2 cm de espessura, exposto na Tabela 26, verifica-se uma perda de isolamento de 0,5 dB (0,87%) da manta Tipo 2 comparada a manta Tipo 1, e de 2,2 dB (3,85%) da manta Tipo 3 sobre esta.



Fonte: Autor.

Comparando as mantas aplicadas sob contrapiso com 3 cm de espessura, conforme Tabela 27, verifica-se uma perda de isolamento de 0,5 dB (0,89%) da manta Tipo 3 comparada a manta Tipo 1, e de 2,1 dB (3,77%) da manta Tipo 2 sobre esta.

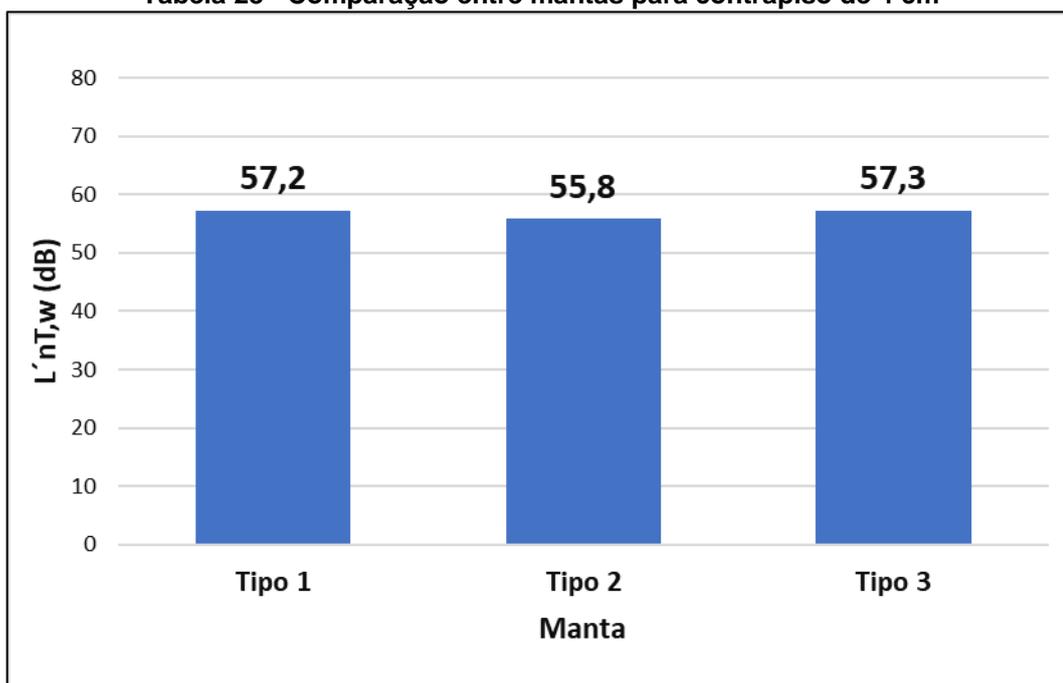
Tabela 27 - Comparação entre mantas para contrapiso de 3 cm



Fonte: Autor.

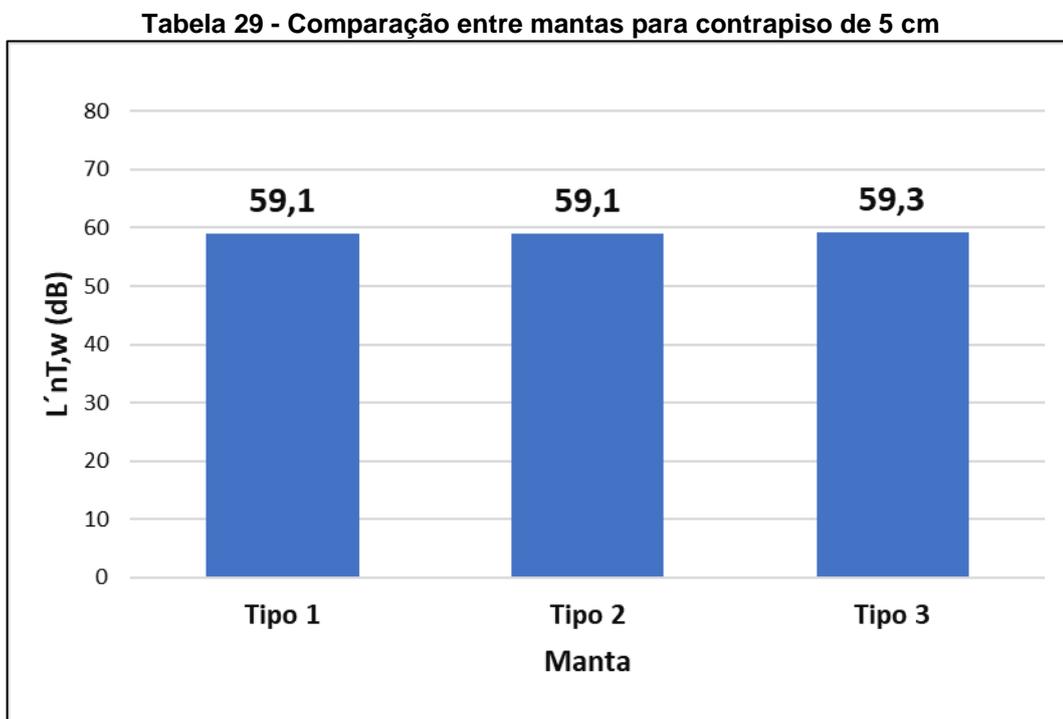
Em uma comparação entre as mantas aplicadas sob contrapiso com 4 cm de espessura, conforme Tabela 28, verifica-se uma perda de isolamento de 1,4 dB (2,51%) da manta Tipo 1 comparada a manta Tipo 2, e de 1,5 dB (2,69%) da manta Tipo 3 sobre esta.

Tabela 28 - Comparação entre mantas para contrapiso de 4 cm



Fonte: Autor.

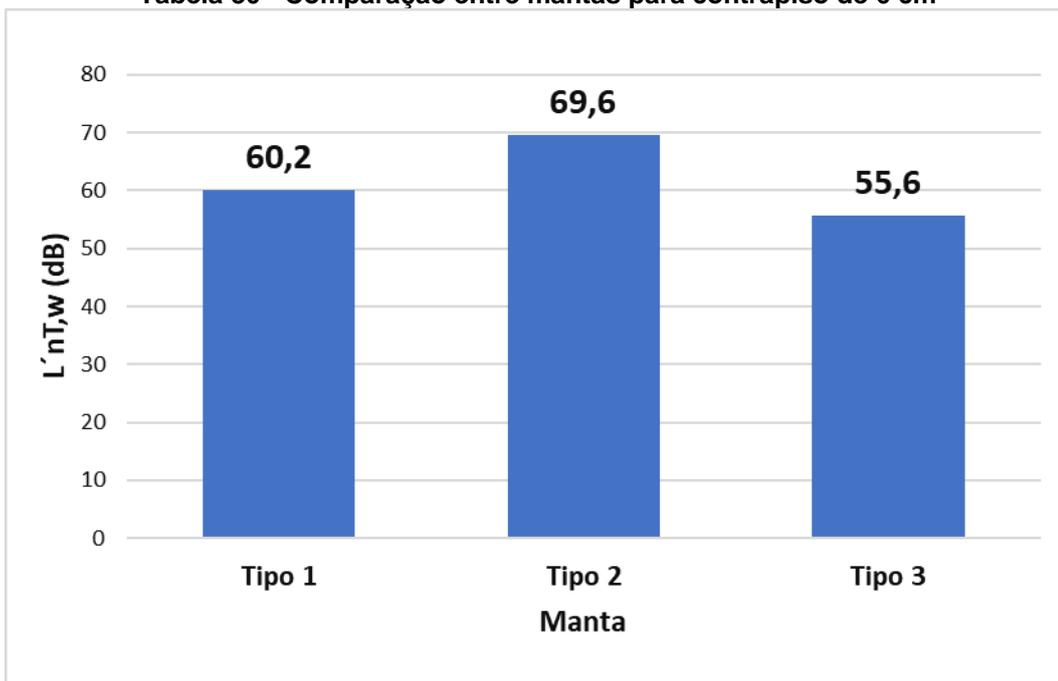
Confrontando os resultados das mantas aplicadas sob contrapiso com 5 cm de espessura, expostos na Tabela 29, verifica-se uma perda de isolamento de 0,2 dB (0,34%) da Tipo 3 para as mantas Tipo 2 e Tipo 1.



Fonte: Autor.

Contraopondo as informações da Tabela 30, referente aos resultados obtidos entre as mantas aplicadas sob contrapiso com 6 cm de espessura, verifica-se uma perda de isolamento de 14 dB (25,18%) da Tipo 2 comparada a Tipo 3, e de 4,6 dB (8,27%) da manta Tipo 1 sobre esta.

Tabela 30 - Comparação entre mantas para contrapiso de 6 cm



Fonte: Autor.

## 5. CONCLUSÃO

O presente trabalho avaliou, através de ensaio de isolamento ao ruído de impacto, se o sistema de contrapiso flutuante com adição de fibras poliméricas sobre manta acústica atende os requisitos de desempenho acústico estabelecidos na norma NBR 15575 (ABNT, 2013), levando em consideração a variação da espessura da camada de contrapiso. O estudo experimental comparou 15 amostras com espessuras e mantas diferentes, além de uma amostra sem manta. Também foram realizados ensaios de compressão e compressão diametral de 4 corpos de prova, para verificação de atendimento aos requisitos estabelecidos pela AUBICON (2015).

O ensaio de resistência à compressão indica a qual tensão a argamassa tem capacidade de resistir antes de ocorrer uma ruptura, sendo a resultante da divisão entre a força e a área em ela atua. Os resultados deste ensaio apontaram que a argamassa é capaz de resistir a uma carga de compressão 93,40% maior que o mínimo estabelecido. O ensaio de resistência à compressão diametral determina a capacidade da argamassa resistir aos esforços de tração. Os resultados deste ensaio demonstraram que as amostras atingem uma de resistência à tração 129% maior que o critério mínimo estabelecido. Em todos os ensaios mecânicos realizados foi possível verificar que as fibras absorvem a tensão e impedem que ocorra um rompimento brusco dos corpos de prova.

O ensaio de desempenho acústico mede o isolamento ao ruído de impacto através de níveis de pressão sonora de impacto padrão que, através da conversão realizada através da ISO 712-2 (EN, 2016), permite a classificação do nível de isolamento conforme os níveis estabelecidos pela NBR 15575-3 (ABNT, 2013). Os resultados dos ensaios apontaram que todos os contrapisos do presente estudo atendem as classificações da norma, ficando 2 deles no nível mínimo e os demais no nível intermediário.

O ensaio de desempenho acústico também permitiu comparar a influência da espessura total da estrutura (contrapiso + laje) no isolamento ao ruído de impacto. Analisando os resultados constatou-se que a espessura total não é capaz de gerar um impacto significativo no isolamento. Além disso, foi possível verificar que o contrapiso que não recebeu a aplicação da manta acústica possui um isolamento ao ruído de impacto de 7,62% menor em comparação ao resultado mais baixo dos contrapisos com aplicação de manta.

Para a manta Tipo 1, o melhor resultado de isolamento acústico foi obtido na aplicação do contrapiso com 3 cm de espessura, com estrutura total (contrapiso + laje) de 16,3 cm, sendo classificado no nível intermediário da norma, tendo apenas 1,09% a menos de isolamento em comparação ao mínimo do nível superior. No caso da manta Tipo 3, o melhor resultado de isolamento acústico foi obtido na aplicação do contrapiso com 6 cm de espessura, com estrutura total (contrapiso + laje) de 19,8 cm, sendo classificado no nível intermediário da norma, tendo apenas 1,09% a menos de isolamento em comparação ao mínimo do nível superior. Já a manta Tipo 2, o melhor resultado de isolamento acústico foi obtido na aplicação do contrapiso com 4 cm de espessura, com estrutura total (contrapiso + laje) de 17,3 cm, sendo classificado no nível intermediário da norma, tendo apenas 1,45% a menos de isolamento em comparação ao mínimo do nível superior.

Com base nos resultados analisados é possível afirmar que os resultados dos ensaios mecânicos e de desempenho acústico foram satisfatórios. Todos os contrapisos com adição de fibras poliméricas sobre manta acústica analisados alcançaram os requisitos de desempenho acústico estabelecidos na norma NBR 15575 (ABNT, 2013), inclusive o contrapiso sem aplicação de manta. O estudo demonstrou que, apesar da literatura recomendar contrapisos com espessura superior a 4 cm, os contrapisos com espessura de 2 e 3 cm atendem os níveis intermediários de desempenho acústico. Com isso, conclui-se que as fibras poliméricas podem ser aplicadas como alternativa ao reforço do contrapiso, garantindo desempenho acústico e mecânico satisfatórios, substituindo as telas de aço e permitindo um ganho de produtividade na aplicação do sistema.

## **5.1 Sugestões para trabalhos futuros**

Através do trabalho realizado é possível observar que inúmeras são as possibilidades de estudos que podem ser realizados com contrapisos, visto que sua execução não possui norma e nem parâmetros definidos de dimensionamento. Alguns trabalhos futuros que podem ser sugeridos são:

- Realizar ensaio de desempenho acústico em argamassa sem fibra;
- Realizar ensaio de desempenho acústico em argamassa com microfibras;
- Realizar ensaio de desempenho acústico em contrapisos com espessuras maiores que os do presente trabalho;

- Realizar ensaios com controle de espessuras das lajes de concreto.

## REFERÊNCIAS

ABCP. Associação Brasileira de Cimento Portland. *Manual de revestimentos de argamassa*. São Paulo, 2003.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova – Versão corrigida*. Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos*. Rio de Janeiro, 2018.

\_\_\_\_\_. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 7211: Agregados para concreto – Especificação – Versão Corrigida*. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 7222: Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos*. Rio de Janeiro, 2011.

\_\_\_\_\_. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 13281: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos*. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 15530: Fibras de aço para concreto – Requisitos e métodos de ensaio*. Rio de Janeiro, 2019.

\_\_\_\_\_. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 15575-1: Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais*. Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 15575-3: Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos*. Rio de Janeiro, 2013.

AENOR. Asociación Española de Normalización. *UNE-EN 14889-2: Fibras para hormigón – Parte 2: Fibras poliméricas – Definiciones, especificaciones y conformidad*. Madrid, Espanha, 2008.

ANAPRE. Associação Nacional de Pisos e Revestimentos de Alto Desempenho. *Macrofibras sintéticas para pisos industriais – especificações CF 001/2011*. São Paulo, 2011.

AUBICON. *Manual de aplicação – Mantas acústicas*. São Paulo, 2011. Disponível em <<https://www.aubicon.com.br/wp-content/uploads/2018/04/instalacao-Contrapiso.pdf>>. Acesso em 29 abr. 2020.

BARROS, Mércia Maria Semensato Bottura de. *Tecnologia de produção de contrapisos para edifícios habitacionais e comerciais*. 1991. Dissertação para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil – Escola Politécnica, da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.

BISTAFA, Sylvio. R. *Acústica aplicada ao controle do ruído* – 3ª edição. São Paulo: Blucher, 2018.

CARVALHO, Regio Paniago. *Acústica arquitetônica* – 2ª edição. Brasília, Editora Thesaurus, 2010.

FIGUEIREDO, Antonio Domingues de. *Concreto reforçado com fibras*. 2011. Trabalho para obtenção do título de Livre Docente – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

FRÖLICH, Augusto. *Contrapiso flutuante reforçado com fibras poliméricas*. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil – Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 2019.

FÜHR, Guilherme. *Argamassas de contrapiso com propriedades de isolamento acústico: atenuação de ruídos de impacto em edificações*. 2016. Trabalho de diplomação (Departamento de Engenharia Civil) – Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

GALVÃO, Carolina Maria Sodré. *Requisitos e avaliação de argamassas de betonilhas*. 2016. Dissertação para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil – Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa, Portugal, 2016.

HAMOY, Luciana Biscaro. *Contrapiso autonivelante: uma proposta de sistema construtivo racionalizado para edificações*. 2017. Dissertação para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

HAAS, Alessandra. *Isolamento a ruído de impacto de laje pré-fabricada nervurada composta de vigotas protendidas e lajotas cerâmicas com revestimento cerâmico*. 2019. Dissertação (Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2019.

ISO. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 717-2: Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of buildings elements – Part 2: Impact sound insulation*. Genebra, 2013.

\_\_\_\_\_. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 10052: Acoustics – Field measurements of airborne and impact sound insulation and of service equipment sound – Survey method*. Genebra, 2004.

\_\_\_\_\_. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 16283-2: Acoustics – Field measurements of sound insulation in buildings and of building elements – Part 2: Impact sound insulation*. Genebra, 2018.

LARAS, Guilherme Lise. *Padronização do processo de planejamento de execução de contrapisos*. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso para obtenção do Título de

Bacharel em Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.

LEITE, Alex Macêdo. *Avaliação do uso da macrofibra polimérica na composição de concreto para fins estruturais*. 2018. 257 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018.

LORENZI, Luciani S.; PARISE, Carlos H. *Soluções construtivas para sistemas de pisos: desempenho acústico*. Workshop de Tecnologia de Processos e Sistemas Construtivos (2.: 2019: São Paulo, SP). Anais [recurso eletrônico]. Porto Alegre: ANTAC, 2019.

MARTINS, Albano Joaquim Gomes. *Estudo da durabilidade dos revestimentos de piso*. 2012. Dissertação para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2012.

MEDEIROS, Arthur. *Estudo do comportamento à fadiga em compressão do concreto com fibras*. 2012. Dissertação para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil – Pós-Graduação em Engenharia Civil, PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2012.

MENDES, Ana Paula de Lima. *Efeito da adição de fibras sintéticas e naturais nas propriedades físicas e mecânicas de argamassas autonivelantes com metacaulinita*. 2019. Dissertação para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2019.

MITIDIARI FILHO, Cláudio Vicente. *Avaliação de desempenho de componentes e elementos construtivos inovadores destinados a habitações: proposições específicas à avaliação do desempenho estrutural*. São Paulo. 1998. 218p. Tese (Pós-Graduação em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

NETO, José Agnaldo de Souza Araujo; RAMIRES, Thiago Lins. *Análise comparativa da utilização do contrapiso autonivelante em relação ao sistema tradicional – Estudo de caso em uma obra vertical na cidade de Maceió – AL*. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil – Centro Universitário CESMAC, Maceió, 2017.

NEVES, Ana; ANTÓNIO, Julieta; NOSSA, Ana. *Resultados experimentais da rigidez dinâmica de materiais usados sob pavimentos flutuantes*. Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal, 2008.

NUNES, M. F. O.; ZINI, A.; PAGNUSSAT, D. T. *Desempenho acústico de sistemas de pisos: estudos de caso para isolamento ao ruído aéreo e de impacto*. *Acústica e Vibrações*, n. 46, p. 13-19, dez. 2014. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/277305728\\_Desempenho\\_Acustico\\_de\\_Sistemas\\_de\\_Piso\\_Estudos\\_de\\_Caso\\_Para\\_Isolamento\\_ao\\_Ruido\\_Aereo\\_e\\_de\\_Impacto](https://www.researchgate.net/publication/277305728_Desempenho_Acustico_de_Sistemas_de_Piso_Estudos_de_Caso_Para_Isolamento_ao_Ruido_Aereo_e_de_Impacto)>. Acesso em: 28 abr. 2020.

OLIVEIRA, Thallianne B.; SANTOS, Ariane G. *Isolamento de ruído de impacto entre pisos de edificações*. 2017. Trabalho de diplomação (Departamento de Engenharia Civil) - Universidade Federal de Goiás, Goiás, 2017.

PARISE, Carlos Henrique. *Desempenho acústico de sistemas de pisos quanto ao ruído de impacto: Análise de soluções construtivas*. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

POLL, Murilo do Amaral. *Estudo de viabilidade econômica do uso de contrapiso autonivelante em relação ao método tradicional*. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil – Universidade Luterana Brasileira, Palmas, 2018.

PRAGOSA, Rui Pedro Borges. *Desempenho das argamassas de betonilha com incorporação de RCD*. 2012. Dissertação para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil – Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa, Portugal, 2012.

PROACÚSTICA – Associação Brasileira para Qualidade Acústica. *Manual Proacústica de recomendações básicas para contrapisos flutuantes*. São Paulo: Editora O Nome da Rosa, 2015.

RUBIN, Ariane Prevedello. *Argamassas autonivelantes industrializadas para contrapiso: análise do desempenho físico-mecânico frente às argamassas dosadas em obra*. 2015. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

SALVADOR, Renan Pícolo. *Análise comparativa de métodos de ensaio para caracterização do comportamento mecânico de concreto reforçado com fibras*. 2006. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Construção Civil – Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2013.

SILVA, Narciso Gonçalves da. *Argamassa de revestimento de cimento, cal e areia britada de rocha calcária*. 2006. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Construção Civil – Mestrado) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2006.

SIQUEIRA, Ana Paula Lopes. *Análise do desempenho acústico de pisos flutuantes: uso de camada resiliente à base de pneus reciclados*. 2018. Artigo para obtenção do Título de Especialista em Construção Civil – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2018.

SOUSA, Nelson Ricardo Vieira de. *Caracterização do comportamento acústico a sons de percussão de soluções à base de espumas de poliuretano*. 2008. Dissertação (Departamento de Engenharia Civil – Mestrado Integrado) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2008.

SOUZA, Natália Cerqueira de. *Análise de Desempenho do Contrapiso Autonivelante em Relação ao Sistema Tradicional*. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em

Construção Civil – Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2013.

SOUZA, L.C.L. et al. *Bê-á-bá da acústica arquitetônica: ouvindo à Arquitetura*. São Carlos: EdUFsCar, 2013.

TÉCHNE. *Execução de contrapiso autonivelante sobre manta acústica*. Ed. 209. São Paulo: Editora PINI, 2014. Disponível em <[https://bc-v2.pressmatrix.com/pt-BR/profiles/fb8080454e27/editions/cd4977074e3f72d9a61f/preview\\_pages/page/2](https://bc-v2.pressmatrix.com/pt-BR/profiles/fb8080454e27/editions/cd4977074e3f72d9a61f/preview_pages/page/2)>. Acesso em 29 abr. 2020.

TÉCHNE. *Contrapiso flutuante*. Ed. 164. São Paulo: Editora PINI, 2010. Disponível em <<https://documentos.tips/document/techne-edicao-164.html>>. Acesso em 29 abr. 2020

ZUCHETTO, L. K. et al. *Architectural Acoustics - Room and Building Acoustics : Influence of the compression conditions in the acoustic performance of resilient layers of floors Influence of the compression conditions in the acoustic performance of resilient layers of floors*. [s. l.], n. September, 2016. a.

ZUCHETTO, Letícia; PATRICIO, Jorge; OLIVEIRA, Maria Fernanda de. *Influence of the compression conditions in the acoustic performance of resilient layers of floors*. n. September, 2016. a.