

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO
NÍVEL MESTRADO**

JONAS CESAR DELAZERI

**DESENVOLVIMENTO DE CONTRAPISO AUTONIVELANTE PARA
REDUÇÃO DO RUÍDO DE IMPACTO EM EDIFICAÇÕES**

São Leopoldo

2021

JONAS CESAR DELAZERI

**DESENVOLVIMENTO DE CONTRAPISO AUTONIVELANTE PARA
REDUÇÃO DO RUÍDO DE IMPACTO EM EDIFICAÇÕES**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, pelo Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS

Orientador: Prof. Dr. Bernardo Fonseca Tutikian

São Leopoldo

2021

D343d Delazeri, Jonas Cesar
Desenvolvimento de contrapiso autonivelante para
redução do ruído de impacto em edificações / por Jonas
Cesar Delazeri. – 2021.
111 f. : il.; 30 cm.

Dissertação (mestrado) — Universidade do Vale do
Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em
Arquitetura e Urbanismo, 2021.
Orientação: Prof. Dr. Bernardo Fonseca Tutikian.

1. Contrapiso autonivelante. 2. Ruído de impacto.
3. Resíduo de EVA. 4. Desempenho acústico. 5. Entrepisos
de edificação. I. Título.

CDU 692.5

Catálogo na Fonte:

Bibliotecária Vanessa Borges Nunes - CRB 10/1556

JONAS CESAR DELAZERI

**DESENVOLVIMENTO DE CONTRAPISO AUTONIVELANTE PARA
REDUÇÃO DO RUÍDO DE IMPACTO EM EDIFICAÇÕES**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, pelo Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS

Aprovado em 21 de junho de 2021.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marco Aurélio Stumpf Gonzalez – Universidade do Vale do Rio dos Sinos

Dra. Maria Fernanda de Oliveira – Universidade do Vale do Rio dos Sinos

Prof. Dr. Roberto Christ – Universidade do Vale do Rio dos Sinos

A meu pai por todos os ensinamentos, incentivo e amor. A minha mãe, irmãos e família por compreenderem a distância e a motivação; e a minha noiva pelo companheirismo, carinho e dedicação em todos os nossos momentos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por estar sempre me guiando aos melhores caminhos, mesmo quando eles não estavam nos planos, e por toda a força e saúde para seguir sempre em frente nesta caminhada.

A meu pai, Valdir (*in memoriam*), saudades, meu eterno guerreiro, que fazia da vida sua simplicidade e adorava uma roda de amigos, de conversa e de chimarrão.

A minha mãe Darlene, a meus irmãos Josué e Jiane, por todo amor, força e carinho nesta jornada das nossas vidas.

A Tatiana, minha noiva, pelo incentivo, paciência e amor em todos os momentos que compartilhamos.

A toda a família, tios, tias, primos, dindos, avós, que sempre compartilharam apoio e carinho.

Aos amigos que se fizeram presentes em todos os momentos alegres e outros nem tanto.

Agradeço imensamente a Pedro Grassi e à empresa Bennter.

Ao professor, Dr. Bernardo Fonseca Tutikian, pela orientação, incentivo e dedicação. Junto a ele, um agradecimento à professora Dr^a. Maria Fernanda de Oliveira, ao Dr. Roberto Christ, ao Dr. Marcos Klunk, ao Dr. André de Souza Silva e a todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo e Engenharia Civil.

Ao professor, Dr. Eduardo Polessello, do curso de graduação em engenharia civil da FEEVALE, por suas contribuições.

À Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS e também à melhor e mais qualificada equipe de laboratório que auxiliou e colaborou para os métodos de ensaios, e a todos os funcionários, entre eles Matheus, Simone, Hinoel, Lorenzo, Jean, Vinicius, Maira, Fabrício, Rafael e a secretária do curso, Victória.

A todos aqueles que, de alguma forma ou de outra, contribuíram para a realização deste sonho o meu MUITO OBRIGADO!

RESUMO

DELAZERI; J, C. **Desenvolvimento de contrapiso autonivelante para redução do ruído de impacto em edificações**. São Leopoldo, 2021. 111 f. Dissertação de mestrado do Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), São Leopoldo. 2021.

O crescimento das cidades e da população traz consigo benefícios aos habitantes e aumento da construção civil, porém, acarreta o desconforto gerado pelos ruídos externos e internos, sendo, portanto, de extrema importância a acústica das edificações. Simultaneamente a isso, existe a necessidade de suas comprovações em estudos de desempenho. Nesta dissertação foi estudado o potencial acústico de contrapiso autonivelante desenvolvido com substituição parcial e total da areia por resíduo da indústria calçadista o Etileno Acetato de Vinila (EVA). Trabalhou-se com os seguintes teores de substituição 40%, 60% e 100%; e as medições de ruído de impacto foram realizadas em laboratório em placas de 2,50 cm, 5,00 cm e 7,00 cm de espessura, com placas de contrapiso moldadas sobre a laje, com tamanho 80 cm x 80 cm. Conforme era realizada a substituição da areia por EVA nas dosagens, temos uma maior redução do ruído de impacto, o qual era perceptível a partir da frequência de 500 Hz. Com relação à variação na espessura das placas, não houve melhora no nível de pressão sonora de impacto normatizado ponderado, e ocorreu uma inversão da posição na curva logarítmica devido ao amortecimento. A partir do estudo preliminar em placas de tamanho reduzido (80 cm x 80 cm), foi moldada uma placa do tamanho da sala acústica de 16,28 m², com 5 cm de espessura e utilizado o traço com 100% de substituição da areia por EVA, a fim de confrontar o desempenho das duas placas. Conclui-se que o desempenho no ensaio foi idêntico. Sendo assim, este estudo propiciou uma redução de $L_{n,w}$ 23 dB com o uso do contrapiso autonivelante com 100% de resíduo de EVA, quando comparado com o desempenho de uma laje de concreto maciço de 12 cm de espessura sem o uso de contrapiso. Com relação a norma NBR 15757-3 (ABNT, 2013) fazendo uma analogia a estes resultados em campo e laboratório está classificou o desenvolvimento de contrapiso autonivelante para o nível de desempenho intermediário. Contribuído com a sustentabilidade, pois utiliza o resíduo gerado pela indústria, e na diminuição do peso sobre as edificações.

Palavras-chave: Contrapiso autonivelante. Ruído de impacto. Resíduo de EVA. Desempenho acústico. Entrepisos da edificação.

ABSTRACT

DELAZERI; J, C. **Development of self-levelling subfloor to reduce impact noise in buildings**. São Leopoldo, 2021. 111 f. Master's thesis of the Postgraduate Program in Architecture and Urbanism, University of Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), São Leopoldo. 2021.

The growth of cities and population brings benefits to the inhabitants and an increase in civil construction, however, it causes the discomfort generated by external and internal noise, and therefore the acoustics of buildings are extremely important. Simultaneously to this, there is a need for performance study evidences. In this dissertation, the acoustic potential of self-levelling subfloors developed with partial and total replacement of sand by residue from the footwear industry, Ethylene Vinyl Acetate (EVA), was studied. The following replacement contents were 40%, 60% and 100%; and impact noise measurements were carried out in the laboratory on plates of 2.50 cm, 5.00 cm and 7.00 cm thick, with subfloor plates molded on the slab, with a size of 80 cm x 80 cm. As sand was replaced by EVA in the dosages, we had a greater reduction in impact noise, which was noticeable from the frequency of 500 Hz. Regarding the variation in the thickness of the plates, there was no improvement in the sound pressure level weighted normalized impact, and there was an inversion of the position in the logarithmic curve due to the damping. From the preliminary study on small size boards (80 cm x 80 cm), a board the size of the acoustic room of 16.28 m², 5 cm thick was molded, using the line with 100% replacement of sand by EVA in order to confront the performance of the two plates. It is concluded that the performance in the test was identical. Thus, this study provided a reduction of $L_{n,w}$ 23 dB with the use of a self-levelling screed with 100% EVA residue, when compared with the performance of a 12 cm thick solid concrete slab without the use of screed. Regarding the standard NBR 15757-3 (ABNT, 2013), making an analogy to these results in the field and laboratory, the development of self-levelling screeds is classified as an intermediate level of performance. Contributed to sustainability, as it uses the waste generated by the industry, and in reducing the weight on buildings.

Keywords: Self-levelling subfloor. Impact noise. EVA waste. Acoustic performance. Building mezzanines.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Apresentação das partículas de dispersão do superplastificante à base de policarboxilato	24
Figura 2: Sala preparada para receber contrapiso autonivelante – manta, niveletas distribuídas e juntas de dessolidarização	38
Figura 3: <i>Mini slump</i> com diâmetro inferior 100 mm, diâmetro superior 50 mm e altura 100 mm	411
Figura 4: Contrapiso autonivelante, migração de água na superfície devido ao excesso de aditivo	422
Figura 5: Representação de um sistema de piso	49
Figura 6: Programa experimental	51
Figura 7: Imagem ilustrativa do formato do grão do EVA fino e granular	52
Figura 8: Plano de distribuição sobre a laje de concreto das quatro placas de contrapiso a serem moldadas	544
Figura 9: Fluxograma do desenvolvimento do estudo	544
Figura 10: Confeção de fôrmas em madeira para as três espessuras utilizadas ..	611
Figura 11: Distribuição das fôrmas sobre a laje de concreto, com sua identificação	611
Figura 12: Analisador sonoro modelo ACOEM 01 dB/FUSION	65
Figura 13: <i>Tapping machine</i>	65
Figura 14: Câmara acústica	66
Figura 15: Traço 1 (foto 1: índice de consistência 290 mm; foto 2: <i>mini slump</i> antes (150 mm); foto 3: <i>mini slump</i> depois (280 mm); foto 4: <i>slump flow</i> 680 mm)	72
Figura 16: Traço 2 (foto 1: índice de consistência 290 mm; foto 2: <i>mini slump</i> antes (150 mm); foto 3: <i>mini slump</i> depois (240 mm); foto 4: <i>slump flow</i> 670 mm)	72
Figura 17: Traço 3 (Foto 1: índice de consistência 290 mm; foto 2: <i>mini slump</i> antes (140 mm); foto 3: <i>mini slump</i> depois (260 mm); foto 4: <i>slump flow</i> 610 mm)	73
Figura 18: Traço 4 (foto 1: índice de consistência 260 mm; foto 2: <i>mini slump</i> antes (120 mm); foto 3: <i>mini slump</i> depois (150 mm); foto 4: <i>slump flow</i> 500 mm)	73
Figura 19: Moldagem dos corpos de prova	Erro! Indicador não definido.
Figura 20: Moldagem das placas na câmara acústica	85
Figura 21: Aplicação do traço 4 com 100% de substituição na laje inteira na câmara acústica	922

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Índice de consistência obtido durante as reproduções das dosagens	68
Gráfico 2: <i>Mini slump</i> obtido durante as reproduções das dosagens	69
Gráfico 3: <i>Slump Flow</i> obtido durante as reproduções das dosagens	70
Gráfico 4: Densidade do estado fresco obtido durante as reproduções das dosagens	74
Gráfico 5: Tração na flexão para o traço 1 com 0% de EVA	76
Gráfico 6: Tração na flexão para o traço 2 com 40% de EVA	76
Gráfico 7: Tração na flexão para o traço 3 com 60% de EVA	77
Gráfico 8: Tração na flexão para o traço 4 com 100% de EVA	77
Gráfico 9: Média aritmética da resistência à tração na flexão dos traços para idade de controle	78
Gráfico 10: Resistência à compressão para o traço 1 com 0% de EVA	79
Gráfico 11: Resistência à compressão para o traço 2 com 40% de EVA	79
Gráfico 12: Resistência à compressão para o traço 3 com 60% de EVA	80
Gráfico 13: Resistência à compressão para o traço 4 com 100% de EVA	80
Gráfico 14: Média aritmética da resistência à compressão dos traços para idade de controle	81
Gráfico 15: Média aritmética do resultado da absorção x índice de vazios	83
Gráfico 16: Média aritmética do resultado das massas específicas para o estudo ...	83
Gráfico 17: Resultados para a espessura de 2,5 cm	85
Gráfico 18: Resultados para a espessura de 5,0 cm	86
Gráfico 19: Resultados para a espessura de 7,0 cm	87
Gráfico 20: Resultados para a dosagem T1	90
Gráfico 21: Resultados para a dosagem T2	90
Gráfico 22: Resultados para a dosagem T3	91
Gráfico 23: Resultados para a dosagem T4	91
Gráfico 24: Resultados para a espessura de 5,0 cm em placa inteira e reduzida	93

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Normativas internacionais para utilização de argamassas autonivelantes....	
.....	21
Quadro 2: Nível de ruído de impacto padrão em sistema de piso.....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: <i>Ecoinvent</i> . Comparação dos impactos ambientais dos recursos naturais (1-4) e materiais acústicos tradicionais (5-7)	30
Tabela 2: Composição química e física do cimento	56
Tabela 3: Análise do cimento	56
Tabela 4: Análise do fíler	57
Tabela 5: Dados técnicos do aditivo superplastificante	57
Tabela 6: Dados técnicos do aditivo modificador de viscosidade.....	57
Tabela 7: Dados técnicos do aditivo polifuncional.....	58
Tabela 8: Dados técnicos do aditivo incorporador de ar	58
Tabela 9: Características da areia natural -1.....	59
Tabela 10: Características da areia natural-2.....	59
Tabela 11: Análise do EVA – Fino.....	60
Tabela 12: Análise do EVA - Granular	60
Tabela 13: Determinação de absorção de água, índice de vazios e massa específica	82
Tabela 14: Valores de L_n para a espessura de 2,5 cm.....	86
Tabela 15: Valores de L_n para a espessura de 5,0 cm.....	87
Tabela 16: Valores de L_n para a espessura de 7,0 cm.....	88
Tabela 17: Resumo dos níveis de pressão sonora de impacto normatizado ponderado do piso, medido em laboratório	89
Tabela 18: Valores de $L_{n,w}$ para a espessura de 5,0 cm em placa inteira e reduzida	94
Tabela 19: Resumo de resultados para placa inteira	95
Tabela 20: Resumo de resultados para o traço de referência.....	95

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	DELIMITAÇÃO DO TRABALHO	16
1.2	OBJETIVOS	16
1.2.1	Objetivo geral	16
1.2.2	Objetivos específicos	16
1.3	JUSTIFICATIVA	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
2.1	ARGAMASSA CONVENCIONAL	19
2.2	ARGAMASSA AUTONIVELANTE	20
2.3	ADITIVOS	23
2.4	AGREGADO MIÚDO	26
2.5	COMPOSTOS CIMENTÍCIOS	27
2.6	ETILENO ACETATO DE VINILA – EVA	28
2.7	CONTRAPISO	33
2.7.1	Contrapiso convencional	33
2.7.2	Contrapiso autonivelante	36
2.7.3	Vantagens e desvantagens do contrapiso autonivelante	39
2.7.4	Propriedades e manifestações patológicas	41
2.8	ATENUAÇÃO DO RUÍDO	45
2.9	ACÚSTICA DAS EDIFICAÇÕES	46
2.10	DESEMPENHO ACÚSTICO	48
3	MÉTODO	51
3.1	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	55
3.1.1	Análise granulométrica	55
3.1.2	Massa específica	55
3.1.3	Massa unitária	55
3.2	AGLOMERANTE	55
3.3	ADIÇÃO – FÍLER CALCÁRIO	56
3.4	ADITIVOS QUÍMICOS	57
3.5	ÁGUA	58
3.6	AGREGADO MIÚDO	58
3.7	RESÍDUO DE EVA	59

3.8	EXECUÇÃO DAS PLACAS DO CONTRAPISO AUTONIVELANTE	60
3.8.1	Ensaio no estado fresco	61
3.8.2	Ensaio no estado endurecido	63
3.8.3	Ensaio de ruído de impacto	64
4	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS	67
4.1	ESTADO FRESCO	68
4.1.1	Densidade do estado fresco	74
4.2	ESTADO ENDURECIDO	75
4.2.1	Resistência à tração na flexão	75
4.2.2	Resistência à compressão axial	78
4.3	ABSORÇÃO DE ÁGUA	82
4.4	NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA DE IMPACTO NORMALIZADO PONDERADO ($L_{n,w}$).....	84
5	CONCLUSÃO	97
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	100
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	101

1 INTRODUÇÃO

O processo de crescimento demográfico nos últimos tempos, não só no Brasil como no mundo todo, apesar de trazer grandes benefícios para o aumento do setor da construção civil, acarretou também malefícios à população, por exemplo, o crescente desconforto gerado por ruídos externos e internos nas edificações habitacionais. Nesse sentido, Hassan (2009) afirma que ruídos provenientes dos vizinhos atingem milhares de pessoas no mundo, causando consequências trágicas. De acordo com Bistafa (2006), em virtude desse incômodo, o ser humano pode apresentar perda de sono, falta de concentração, baixa produtividade, estresse, hipertensão, perda de audição, diminuição de oportunidades de repouso e redução da qualidade de vida. A acústica das edificações é considerada, portanto, de extrema importância para o conforto do usuário.

A norma *NBR 15575-3: Edificações habitacionais* (ABNT, 2013) estabelece níveis de desempenho de ruídos e limites para a sua classificação em três classes de desempenho: mínimo, intermediário e superior. Outra norma, a *NBR 16313: Acústica* (ABNT, 2014), define que som de impacto é uma consequência das vibrações geradas a partir do impacto mecânico entre materiais. Patrício (2010), por sua vez, afirma que o ruído de impacto provoca vibrações, como o caminhar das pessoas, e gera mais incômodo do que ruídos aéreos, os quais provêm de fontes sonoras, como a televisão ou as cordas vibrantes de um violão, e podem se propagar em locais distantes da fonte de vibração.

A grande maioria dos materiais empregados na construção provêm de fontes não renováveis e têm aumentado o custo das edificações por diversas questões, como dificuldade na mineração, processos produtivos mais complexos, longas distâncias para destinar o material e questões ambientais.

Conforme o Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC, 2020), o consumo aproximado de cimento no Brasil, em 2018, foi de 52,9 milhões de toneladas (mil/t) e, no Rio Grande do Sul, foi de 2,6 mil/t; já em 2019, o consumo brasileiro de cimento foi de aproximadamente 54,5 mil/t, registrando o primeiro saldo positivo desde 2014.

Segundo a Agência Nacional de Mineração (ANM, 2019), no Brasil, a produção de areia para a construção civil foi 349 mil/t em 2014 e 312 mil/t em 2015; essa contração ocorreu devido à redução na atividade da indústria da construção civil.

Encontra-se, registrada no Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM, 2012), a informação de que a produção de areia para a construção civil em 2014 foi de 12 mil/t para o estado do Rio Grande do Sul.

Para a Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção Civil (ANEPAC, 2020), em 2014, a produção de areia e brita de 3.100 empresas foi da ordem de 740 milhões de toneladas, o que representa um consumo per capita de 3,7 toneladas/habitante/ano. Nota-se que há uma grande variação no consumo per capita de acordo com as regiões brasileiras (em tonelada/habitante/ano), demonstrando as concentrações do mercado: 2,7 Nordeste; 3,1 Norte; 4,1 Sul e Sudeste; e 4,5 Centro Oeste.

Os agregados naturais empregados na construção civil são abundantes na natureza. Porém, restrições econômicas, geológicas e ambientais tornam inviável a extração desses agregados de lugares distantes dos grandes centros, devido ao baixo preço unitário, sendo assim, é necessária à sua produção no entorno do local de consumo (LA SERNA; REZENDE, 2009). Tais restrições fizeram com que a obtenção de agregados miúdos para emprego na construção civil, particularmente na produção de argamassas, fosse impulsionada na direção de novas opções. Reutilizar e reciclar os resíduos industriais estão entre as alternativas na busca pelo desenvolvimento sustentável.

Nesse sentido, a indústria vem procurando por produtos mais sustentáveis nos diversos setores da construção, visando reduzir custos e os impactos ambientais gerados pelos resíduos (CAMPOS; MAZINI; SILVA NETO, 2012). Para Tonet e Gorninski (2013), a incorporação de resíduos industriais como matéria-prima para a construção civil permite ao mercado um desenvolvimento sustentável, minimizando o uso de produtos naturais e proporcionando um uso consciente do resíduo em vez de descartá-lo incorretamente na natureza. Entretanto, segundo Rezende, Rodrigues e Vecci (2014), o ganho gerado nos custos vem prejudicando as construções justamente nos quesitos desempenho e qualidade.

Conforme a Associação Brasileira da Indústria de Plásticos (ABIPLAST, 2020), em 2018, a indústria brasileira de plásticos cresceu 0,8% em relação a 2017 e 1,5% após a crise de 2015 e 2016. Segundo a associação, a produção de resinas termoplásticas na Europa em 2017 foi de 64,4 milhões de toneladas; na China, 102,3 milhões de toneladas; no Canadá, EUA e México, 61,6 milhões de toneladas; na América Latina (exceto o Brasil) 6,5 milhões de toneladas, e no Brasil a produção foi

de 7,5 mil/ton. Em 2016, do total de resinas termoplásticas produzidas, 1,4% foi em EVA e 7,1% em plástico reciclado, totalizando 550 mil toneladas de plástico reciclado pós-consumo. E, em 2016, dentre os setores consumidores com ciclo de vida maior que cinco anos, que representam 49,2% da produção nacional, o setor da construção civil consumiu 23,8% das resinas transformadas em plástico. Já para ciclo curto de vida, de até um ano, que representa 35% da produção, o setor de alimentos consumiu 20,2% dessas resinas (ABIPLAST, 2020).

Como o consumidor está mais exigente, o projeto arquitetônico ganha destaque para promover soluções e, diante dessa exigência, destaca-se o isolamento acústico de sistemas de pisos, que é uma das maiores demandas dos moradores de uma edificação (CORNACCHIA, 2009).

Os contrapisos autonivelantes e os concretos autoadensáveis são produtos com alta fluidez, que facilmente se acoplam às superfícies em que são aplicados, evitando problemas na execução desse serviço, pois não necessitam de vibração e de muito auxílio operacional e se solidificam após um determinado tempo.

Esses contrapisos autonivelantes são utilizados, principalmente, em revestimentos de pisos de concreto, tanto para atividades de regularização de nível e como reparo em obras, novas ou existentes, uma vez que possuem a propriedade de adensamento por ação da gravidade de forma coesa e homogênea. Essa característica é alcançada com o aprimoramento das dosagens, proporcionando ao material uma reologia que o torna fluido o bastante para se autonivelar sem que aconteça exsudação, segregação ou retração. O contrapiso é uma camada que poderá auxiliar no desempenho acústico, quando proporcionar amortecimento de impactos e poder funcionar como uma barreira à passagem de sons.

Sendo assim, com base nas exigências da norma *NBR 15575-1: Edificações habitacionais* (ABNT, 2013), a construção civil vem buscando se adequar aos requisitos, através de novos materiais que possam proporcionar, de forma mais eficaz, o isolamento acústico. Dentre a vasta gama de agregados existentes que podem ser utilizados para o isolamento dos níveis de ruído na construção civil, apresenta-se o copolímero etileno acetato de vinila (EVA), resíduo da indústria calçadista, o qual tem um grande potencial para promover a melhora no isolamento acústico. O EVA é um polímero termofixo, o qual, após moldagem sob determinada temperatura e pressão, torna-se insolúvel e infusível, impossibilitando a sua reintegração no processo produtivo, ou seja, torna-se não reciclável (ANDRADE, 2010).

1.1 DELIMITAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho está restrito ao estudo do material proposto quanto ao ruído de impacto. Embora os parâmetros de ruído aéreo sejam importantes e previsto na norma *NBR 15575-3: Edificações habitacionais* (ABNT, 2013), não foram pesquisados.

1.2 OBJETIVOS

Os objetivos deste trabalho dividem-se em geral e específico.

1.2.1 Objetivo geral

Desenvolver dosagens de contrapiso autonivelante com o uso de resíduos da indústria calçadista brasileira (EVA), com vistas ao desempenho acústico em sistema de piso.

1.2.2 Objetivos específicos

Podem-se elencar quatro objetivos específicos:

- a. analisar o desempenho físico e mecânico das diferentes dosagens de contrapiso autonivelante com e sem o uso de EVA;
- b. analisar a capacidade do isolamento ao ruído de impacto através de ensaios com diferentes espessuras do contrapiso autonivelante;
- c. analisar o desempenho ao ruído de impacto do contrapiso autonivelante com e sem o uso de EVA, conforme a norma de desempenho.
- d. Correlacionar o estado plástico com os métodos de ensaios: índice de consistência, *mini slump*, *slump flow*.

1.3 JUSTIFICATIVA

Atualmente, o ramo da construção civil no Brasil passa por um momento favorável de crescimento e, com essa tendência, vêm sendo evidenciadas deficiências em imóveis no que diz respeito ao desconforto gerado por ruídos de impactos provenientes dos demais apartamentos, o que ocasiona um desconforto acústico para o usuário. Com base nisso, a Associação Brasileira de Normas Técnicas publicou, em

2013, a norma *NBR 15575-1: Edificações habitacionais*, a qual estabelece desempenho de níveis máximos de ruído e limites para a sua classificação em três classes de desempenho: mínimo, intermediário e superior (ABNT, 2013). Com a norma em vigor desde julho de 2013, a indústria da construção civil busca reduzir o ruído de impacto entre os pavimentos da construção habitacional e seu custo; atualmente a solução adotada é o piso flutuante, que emprega o uso de mantas acústicas, necessitando durante a execução a realização de várias etapas para sua aplicação. Neste desenvolvimento poderá haver um contrapiso autonivelante com capacidade de amortecimento gerando redução no nível de ruído de impacto, sem o uso de manta.

Para Souza, Almeida e Bragança (2006), as vibrações de sólidos e os impactos se transmite sobre uma estrutura, provocando a vibração do ar. A velocidade dessa transmissão é influenciada pelas propriedades físicas e mecânicas das superfícies impactadas (CARVALHO, 2009). Em virtude do nível de ruídos de impacto, o ruído de impacto está sendo cada vez mais observado pelos usuários nas edificações e estudados pela indústria da construção.

Bistafa (2006) define como ruído de impacto aquele que apresenta picos de nível de energia acústica de duração inferior a 1 segundo a intervalos superiores a 1 segundo. Esses ruídos podem ser gerados por fatores internos, como as quedas de objetos sobre o piso, o caminhar das pessoas, o som do volume dos aparelhos eletrônicos e dos eletrodomésticos, que são resultantes da utilização do próprio edifício.

O isolamento ao ruído de impacto em sistemas de pisos é avaliado conforme o nível de ruído de impacto padronizado ponderado. Trata-se de um número absoluto, resultado do som captado por um equipamento de medição e, quanto maior esse número, pior será o desempenho acústico (TUTIKIAN *et al.*, 2017). Esse valor pode ser avaliado de acordo com os níveis estabelecidos pela norma de desempenho NBR 15575.

Os pisos flutuantes, os quais são utilizados sobre uma laje de concreto e do contrapiso, são eficientes no isolamento do ruído de impacto para salas sobrepostas. Diante dessa modelagem de piso, é utilizada a definição de amortecimento na minimização da propagação da vibração na base rígida, aumentando o isolamento acústico (HASSAN, 2009).

As lajes não homogêneas, que, na verdade, são um sistema de piso composto, apresentam um sistema de propagação diferente, que torna suas variáveis mais complicadas de se estimar, sendo imprescindível o conhecimento das diferenças entre o concreto maciço e os outros materiais aplicados no sistema do piso composto (HOPKINS, 2004).

A função estrutural da edificação pode ser atendida adequadamente pelos inúmeros tipos de lajes de concreto, porém eles não têm apresentado um desempenho acústico satisfatório sem que haja um tratamento. Então, um sistema de pisos heterogêneo é formado para atender a diversas funções, como segurança contra incêndio, resistência estrutural e isolamento acústico. O sistema de entrepisos é composto por um conjunto de camadas parcial ou total, com diferentes materiais, por exemplo camada estrutural, impermeabilização, isolamento térmico, isolamento acústico, camada de contrapiso, camada de fixação e camada de acabamento. Essas combinações de materiais, juntamente com a execução da obra, estarão atreladas às várias opções e soluções para o isolamento acústico. Considerando uma análise de valor da relação custo/benefício, o sistema pode melhorar a qualidade de desempenho da edificação habitacional e proporcionar reduções de prazo de entrega dos empreendimentos e de custo.

No Brasil e no mundo, têm-se produzido estudos com o uso de resíduos na construção civil, pois é grande o potencial de utilização em cada empreendimento. Para cada desenvolvimento tem uma pesquisa, como percebido em compostos cimentícios, avaliam-se propriedades físicas, mecânicas, acústicas, de durabilidade e de resistência ao fogo. Com base nisso, destacam-se os estudos já realizados com o uso do EVA em compostos cimentícios, isolamento ao som aéreo (GARLET, 1998) e ruído de impacto (HAX, 2002; ZUCHETTO *et al.*, 2015; TUTIKIAN *et al.*, 2017).

A indústria da construção civil incentiva novas tecnologias, e o desempenho contribui para a qualidade das habitações. De acordo com Borges (2013), o isolamento acústico necessita cada vez mais de novos materiais. Apesar do conhecimento científico, o isolamento acústico ainda precisa ser explorado e, com esse estímulo, desenvolveram-se contrapisos autonivelantes com o uso do resíduo de EVA associados a diferentes desempenhos acústicos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Na fundamentação teórica foi desenvolvida uma pesquisa dos sistemas e materiais que, direta ou indiretamente, têm alguma contribuição para os itens estudados no presente trabalho, conforme apresentados a seguir.

2.1 ARGAMASSA CONVENCIONAL

A *NBR 13281: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – requisitos* (ABNT, 2005) define argamassa como mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ter sua dosagem em obra ou em instalação própria (argamassa industrializada).

Fiorito (2009) afirma que argamassas de base cimentícia são empregadas em alvenarias devido à resistência obtida e à condição favorável de endurecimento em revestimentos no interior de reservatórios de água e em obras hidráulicas, nas quais as condições de impermeabilidade são necessárias, ou em pisos cimentados nos quais se exige resistência mecânica ao desgaste. São usadas também para chapisco, devido à resistência adquirida em prazos curtos. As argamassas de cal são utilizadas para emboço e reboco, proporcionando endurecimento, elasticidade, plasticidade, e são mais favoráveis ao acabamento plano e regular.

Dentre as argamassas, a constituída com cimento e areia é geralmente mais resistente que a argamassa constituída com cimento, cal e areia, mas possui sua trabalhabilidade dificultada. Quando se adiciona cal na argamassa, ela se torna mais plástica, ou seja, mais trabalhável, o que facilita seu manuseio e proporciona melhor acabamento. Essas argamassas são conhecidas como argamassas mistas, de cimento, cal e areia, e possuem larga escala de utilização dentro da construção, sendo empregadas na alvenaria de blocos e tijolos, no assentamento de revestimentos cerâmicos em pisos ou paredes, pelo método convencional, ou no preparo de paredes e pisos para receberem revestimento cerâmico aplicado com argamassa colante (Souza, 2013).

A argamassa estabilizada, dosada em centrais dosadoras, à base de cimento Portland, é pronta para o uso. Sua principal propriedade é a estabilização dos

compostos que proporcionam à argamassa um elevado tempo de manutenção da trabalhabilidade (geralmente superior a 24 horas, podendo alcançar 72 horas), que é necessário para o transporte e a aplicação nos canteiros das obras, formando, dessa forma, um ciclo viável para sua utilização (SUPRENTANT, 1988).

2.2 ARGAMASSA AUTONIVELANTE

As argamassas autonivelantes ou autoadensáveis são originárias da Espanha, tendo sido introduzidas há bastante tempo no Brasil no ramo da construção; e elas ainda vêm despertando o interesse em estudos por seu desempenho (MARTINS, 2009).

Produto com grande capacidade de inserção na indústria e no mercado brasileiro da construção civil, principalmente se levado em consideração os benefícios incorporados com a facilidade de seu uso (RUBIN, 2015). Por isso é importante incentivar a realização de estudos nacionais, relacionadas a aplicação e utilização, capacitando a comunidade acadêmica quanto à indústria.

As primeiras normas de desempenho para os produtos de revestimentos de pisos, incluindo as argamassas autonivelantes, foram publicadas em 2001, na Espanha, e serviram como modelo para toda a Europa.

As normas norte-americanas datam do ano de 2011 e foram baseadas na norma europeia; elas trouxeram especificações e testes padronizados para as argamassas autonivelantes. No Brasil, não há norma específica para as argamassas autonivelantes que avalie o material, sua utilização e ensaios para sua aceitação e validação. Oliveira e Cordeiro (2018) realizaram um trabalho diante dessa carência normativa nacional e identificaram algumas normas internacionais, destacando as duas mais utilizadas: a EFNARC (2002) e a ASTM C1708 (ASTM, 2017). No quadro 1, o resultado da pesquisa de Oliveira e Cordeiro.

A EFNARC (2002) apresenta avaliação das propriedades para concretos autoadensáveis, mas trata da avaliação no estado fresco das argamassas autonivelantes, as propriedades de consistência e tempo de fluxo, utilizando para esta análise o equipamento do mini *slump* e o mini funil-V. Os valores indicados de espalhamento para o mini *slump* é entre 24 e 26 cm, e para o tempo de fluxo no mini funil-V é entre 7 e 11 segundos.

Na ASTM C1708 (ASTM, 2017) avalia-se as propriedades da argamassa autonivelante no estado fresco e endurecido. Destacamos como ensaio desta norma, o tempo de retenção de fluxo, que indica o período de tempo em que a argamassa se encontra trabalhável. Neste ensaio determina-se medições do diâmetro de espalhamento da argamassa autonivelante em tempos regulares para determinar o tempo que a argamassa mantém um espalhamento não muito baixo do espalhamento inicial. Não é mencionado nesta norma valores para aceitação da retenção do fluxo.

Quadro 1: Normativas internacionais para utilização de argamassas autonivelantes

Nomenclatura	Descrição sucinta do conteúdo	Origem
UNE-EN 13.813 (AENOR, 2003)	Pastas autonivelantes – características e especificações.	Espanha
UNE-EN 13.318 (AENOR, 2001)	Revestimentos contínuos.	Espanha
EFNARC (2001)	Pisos cimentícios autonivelantes com polímeros – métodos de ensaio.	Europa
EFNARC (2002)	Concretos autoadensáveis – avaliação das propriedades (também auxilia na determinação de propriedades no estado fresco de argamassas autonivelantes).	Europa
ASTM C1708 (ASTM, 2017)	Argamassas autonivelantes – ensaios de desempenho, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido.	EUA

Fonte: Oliveira *et al.*, 2018.

As argamassas autonivelantes são materiais utilizados na construção civil e são compostas por cimento, areias com granulometria selecionada e aditivos especiais. Elas podem ser caracterizadas por sua capacidade de autoconsolidação e por sua alta fluidez, o que permite que se espalhe rapidamente sem apresentar qualquer separação significativa de seus constituintes, proporcionando redução de desperdício de material, maior rapidez na execução e economia com mão de obra, podendo ser definidas em dois grupos as argamassas autonivelantes para espessuras até 25 mm e contrapisos autonivelantes para espessuras iguais ou superior a 25mm.

Para Martins (2009), a aplicação das argamassas autonivelantes encontra-se voltada especialmente para pisos e contrapisos, aderidos ou não ao substrato, sobre manta acústica e/ou térmica, por possuírem propriedades que possibilitam o autoadensamento sob o efeito apenas da gravidade, transformando-se em superfícies regulares e lisas.

Rizwan e Bier (2012) afirmam que as argamassas autonivelantes conseguem alta fluidez devido ao uso de aditivos superplastificantes e, segundo Libre, Khoshnazar e Shekarchi (2010), o aumento da relação água/cimento pode contribuir para alta fluidez da mistura. Entretanto usar aditivo superplastificante e aumentar a relação água/cimento pode prejudicar a composição e não proporcionar uma mistura estável. Utilizar adições minerais e/ou aditivos modificadores de viscosidade contribui para estabilizar a composição da argamassa autonivelante, porém pode prejudicar sua fluidez. Ou seja, o proporcionamento adequado destes e de outros materiais selecionados faz com que a argamassa autonivelante seja possível e viável.

Contudo, para Pileggi (1996), pode haver problemas com a alta fluidez e com o grande teor de finos, como a dificuldade de controlar a retração na secagem, a tendência à segregação, diminuindo o tempo de pega.

Para garantir a qualidade da argamassa autonivelante no estado endurecido, é preciso observar determinadas propriedades no estado fresco, tais como:

- consistência: preencher os espaços onde a argamassa é lançada somente pelo peso próprio, obtendo uma superfície plana e adequada;
- resistência à segregação: ter uma mistura homogênea em todo o processo de aplicação reduz a relação água/materiais secos, e isso minimiza o efeito da segregação.

Martins (2009), por sua vez, declara que a segregação e a exsudação dos constituintes da mistura são evitadas pelo atrito interno das partículas integrantes da pasta (como o cimento, os agregados, as adições, entre outros). O autor afirma também que a segregação tende a ocorrer devido à alta fluidez da argamassa autonivelante e que o aditivo modificador de viscosidade é empregado na mistura para promover um aumento na coesão entre as partículas, evitando contratempos.

Além disso, Martins (2009) alega que, para um composto autonivelante ter o desempenho esperado, deve haver uma combinação complexa das propriedades da mistura no estado fresco, ou seja, viscosidade, fluidez, coesão, compatibilidade entre cimento e aditivos e trabalhabilidade deverão ser harmonicamente manipuladas.

No que diz respeito ao uso do aditivo modificador de viscosidade que melhora a consistência, mas reduz o efeito da trabalhabilidade, o estudo realizado por Libre, Khoshnazar e Shekarchi (2010) demonstrou que o uso de 1% de aditivo modificador de viscosidade reduziu em 30% a fluidez das misturas.

A aderência é outra propriedade da argamassa no estado endurecido. Essa aderência é formada pela resistência de aderência ao cisalhamento e à tração, juntamente com a capacidade de a argamassa permanecer fixa à base na qual foi aplicada, resistindo às tensões tangenciais e normais existentes na interface base-revestimento. Os principais fatores que influenciam a resistência à aderência são as propriedades da argamassa no estado fresco, bem como as características da base e a sua limpeza superficial (MACIEL; BARROS; SABBATINI, 1998).

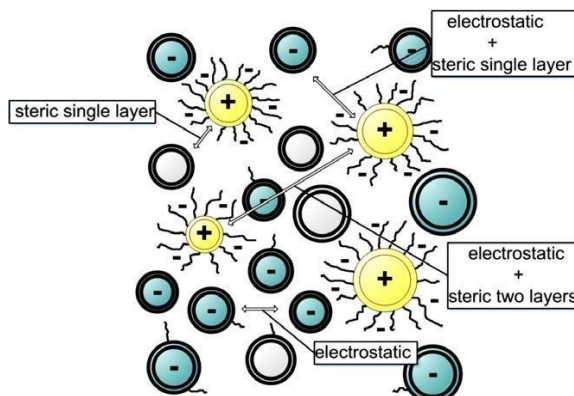
2.3 ADITIVOS

Atualmente, conhecidos, por reduzirem o consumo de água nas misturas, os chamados aditivos plastificantes e superplastificante, se desenvolveram com o passar dos anos, em diversos usos.

Os principais aditivos utilizados para o contrapiso autonivelante são de dois tipos: os superplastificantes (SP) de terceira geração e os modificadores de viscosidade, que é outra linha de produto dos fabricantes. Para Ferrari *et al.* (2010), o aditivo SP aumenta a fluidez e evita a aglomeração entre as partículas, que é causada pela atração entre as partículas de cimento de cargas opostas, que forma aglomerados nas suspensões coloidais. Com o objetivo de melhorar a fluidez da mistura, mantendo a mesma relação água e cimento (a/c), os aditivos SP trabalham como dispersantes, aderindo à superfície das partículas e criando forças de repulsão entre elas.

Esses aditivos são amplamente utilizados devido à sua versatilidade. Quando é adicionado à mistura, o aditivo é absorvido na interface sólido-líquido em uma suspensão de partículas e induz uma força repulsiva entre as partículas que evita a formação de aglomerados, como representado na figura 1 (FERRARI *et al.*, 2010).

Figura 1: Apresentação das partículas de dispersão do superplastificante à base de policarboxilato



Fonte: Ferrari *et al.*, 2010.

Um efeito estérico promove a dispersão eletrostática dos grãos de cimento, ocorrendo, assim, a ação do policarboxilato. Essa ação nos grãos ajuda a dispersão da água, melhorando a hidratação do cimento, o que melhora a durabilidade e a resistência. (KATSIADRAMIS; SOTIROPOULOU; PANDERMARAKIS, 2010).

Em muitos casos, é necessário aumentar a dosagem de aditivo superplastificante para manter a fluidez exigida nas argamassas autonivelantes, quando se substitui 20% em massa de fíler calcário ou de cinzas volantes por cinzas de casca de arroz ou sílica ativa. A forma das partículas dos materiais citados explica o fenômeno da maior dosagem do aditivo. As partículas dos materiais: cinza de casca de arroz, sílica ativa e do fíler calcário são materiais finos com superfície irregular que demandam maior quantidade de água na dosagem, necessitando maior quantidade de aditivo. O aditivo superplastificante utilizado nos experimentos de Rizwan e Bier (2012) foi um éter policarboxílico com 30% de sólidos, com uma densidade entre 1,04 g/cm³ e 1,08 g/cm³.

Existe a possibilidade de ocorrer o impedimento do entrelaçamento das cadeias laterais das moléculas dos diferentes aditivos do composto, criando uma capa de adsorção de grande volume, que impede a aproximação das partículas de cimento (GETTU; RONCERO, 1998). Esse impedimento físico pela capa de absorção em volta dos grãos de cimento impede sua floculação e também altera a tensão superficial da água (HARTMANN, 2002). Portanto ocorrem casos em que a ação do aditivo é reversa, resultando na aglomeração das partículas sólidas. Essa ação ocorre por dois motivos: incompatibilidade entre cimento e aditivo, e o desequilíbrio na dosagem do aditivo. A incompatibilidade química pode se dar devido a algum dos compostos

presentes na formulação: cimento, aditivo, adições minerais. Já, na dosagem excessiva do aditivo, ocorre a segregação da mistura, e a carência do aditivo na dosagem não irá promover a fluidez requerida.

O uso comercial dos aditivos superplastificantes tem sido relativamente baixo se comparar com os aditivos para argamassas e contrapisos, apesar de os aditivos superplastificantes proporcionarem à mistura uma grande dispersão que gera um ganho de fluidez. Um dos grandes problemas dos aditivos superplastificantes é sua baixa manutenção da fluidez: quando perde seu efeito, reduz significativamente a trabalhabilidade e a consistência das argamassas e dos contrapisos, deixando-os pesados devido à perda de consistência, aumentando os esforços para a aplicação da mistura, o que faz com que seja necessário utilizar, com mais frequência, os instrumentos da aplicação. Dependendo das condições do local, do clima e da obra, a manutenção da consistência se mantém por 30 a 60 minutos. Por esse motivo, o aditivo superplastificante deve ser adicionado à mistura na chegada à obra (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2015).

Para melhorar a coesão da massa no estado fresco, impedindo a segregação e limitando a perda de água por exsudação – o que permite diminuir a falta de uniformidade na dosagem da água e da granulometria dos agregados –, faz-se o uso de aditivo modificador de viscosidade, conhecido comercialmente como VMA, produto à base de polissacarídeos com cadeias poliméricas de alto peso molecular ou de base inorgânica (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2015).

Esse aditivo, no caso dos contrapisos autonivelante, por se tratar de um material fluido, aumenta a capacidade de reter água e de manter as partículas suspensas com o incremento da taxa de cisalhamento e a redução da viscosidade (MELO, 2005).

Libre, Khoshnazar e Shekarchi (2010), com o objetivo de obter contrapisos autonivelantes com fluidez e estabilidade otimizadas, perceberam que, para manter o escoamento de adensamento desejado, era necessário 1% de aditivo VMA do tipo polissacarídeo e também 1% de aditivo superplastificante (policarboxilato), ou seria preciso aumentar em 17% a relação a/c. Esse estudo demonstrou que 1% de VMA reduziu em 30% a consistência da mistura. Pode-se, então, dizer que o aditivo VMA provoca um efeito de deterioração da trabalhabilidade.

O aditivo modificador de viscosidade tem efeito insignificante sobre a viscosidade, mas tem um efeito dominante sobre a estabilidade da mistura.

Analisando os parâmetros do agente modificador de viscosidade, teor de água, aditivo superplastificante, fíler calcário, cinza de casca de arroz e cinza volante, percebe-se que todos são influenciados pela relação a/c.

A adição do aditivo modificador na mistura pode minimizar a fluidez e, dessa forma, será necessário aumentar a dosagem de água ou a dosagem do policarboxilato, o que pode resultar em um mal comportamento mecânico da mistura, no estado endurecido, ou em uma mistura financeiramente inviável (RIXOM; MAILVAGANAM, 1999; REPETTE, 2005).

Quando são usados em conjunto, os aditivos VMA e o policarboxilato permitem a obtenção de uma mistura estável e de grande fluidez. É conveniente verificar a mistura previamente, a fim de certificar a compatibilidade desses aditivos e materiais, para evitar retardo de pega e, conseqüentemente, perda de resistências iniciais, coesão excessiva devida ao excesso de VMA e possível manifestação patológica como retração por secagem.

2.4 AGREGADO MIÚDO

Os contrapisos autonivelantes necessitam de partículas sólidas arredondadas que proporcionem maior fluidez à mistura com baixo consumo de água. A escolha do agregado miúdo é condicionada à demanda de água requerida pelo material devido à sua coesão e fluidez sobre a mistura.

Os parâmetros avaliados no estado fresco e endurecidos são influenciados por essa escolha, pois se tornam responsáveis pela estruturação do esqueleto granular do contrapiso autonivelante, juntamente com os finos inertes.

As areias naturais com granulometria fina são empregadas na produção dos contrapisos autonivelantes. Nesse sentido, grande parte dos autores utiliza grãos com dimensões máximas de 2 mm (PÉRA; AMBROISE, 2004; LIBRE; KHOSHNAZAR; SHEKARCHI, 2010; RIZWAN; BIER, 2012). Bartos (2000) chama a atenção para o fato de que, para areias com módulo de finura superior a 3, pode ocorrer a segregação, então elas devem ser evitadas em concretos autoadensáveis (CAA) e, conseqüentemente, em contrapisos autonivelantes.

Existe a necessidade de realizar o controle rigoroso da umidade do agregado miúdo, um dos maiores causadores da variação da fluidez da mistura. Para Domone (2006), verificações equivocadas na umidade na ordem de 0,5% alteram o consumo

de água em até 8 kg/m³ para concreto, interferindo negativamente no espalhamento, em propriedades mecânicas e na durabilidade.

Como parte integrante da composição do custo da mistura, o agregado de menor valor potencializa sua utilização desde que as propriedades finais sejam devidamente comprovadas como satisfatórias. Por outro lado, deve-se observar que, em muitas regiões, existe escassez de agregados naturais, em virtude do constante crescimento de empreendimentos e obras. Por isso, sempre é bom estar atento a alternativas de reutilização e de incorporação de materiais ou de resíduos de baixo custo.

2.5 COMPOSTOS CIMENTÍCIOS

Desde o seu descobrimento, o cimento Portland é o aglomerante preferido para ser usado em concretos e argamassas. Pesquisado e desenvolvido por sua versatilidade, durabilidade e valor econômico, a produção de cimento Portland vem crescendo ano após ano em todo o mundo e a sua produção anual está se aproximando de 3 milhões de toneladas. (JUENGER *et al.*, 2011). No entanto, o seu grande problema está diretamente relacionado a fatores de sustentabilidade, pois, à medida que sua produção cresce, também aumentam as emissões de CO₂.

Conforme Damtoft *et al.* (2008), a produção do cimento Portland consome de 10 EJ a 11 EJ de energia por ano e cerca de 2% a 3% do consumo global de matéria-prima. Nesse processo, é gerada, aproximadamente, 0,87 tonelada de CO₂ para cada tonelada de cimento produzido, e esse valor é responsável por 5% das emissões de CO₂ provocadas pelo homem. Com esses níveis de emissões de gases na atmosfera, os fabricantes de cimento sofrem pressão para reduzir o consumo de energia, estando em busca de alternativas que apresentem características similares e confiáveis.

Utilizar cimento Portland de alta resistência inicial é indicado por alguns pesquisadores para se obter um contrapiso autonivelante. Portanto, deve-se utilizá-lo na mistura na ordem de 25% a 45% do material, para areia quartzosa de 40% a 60%. Os restantes 10% a 15% devem ser compostos pelos aditivos químicos e pelas adições minerais que irão modificar as propriedades reológicas. Já a água de amassamento aproximadamente entre 20% a 30% da massa seca. (NAKAKURA; BUCHER, 1997).

Não existe um consenso sobre qual classe, resistência ou composição de cimento deve ser utilizado, porém, cimentos mais finos deixam o contrapiso autonivelante mais suscetível ao processo de retração e, conseqüentemente, à fissuração. Bauer e Sousa (2005) alertam que é preciso cuidado em relação ao consumo de cimento, pois os contrapisos com grande consumo são menos deformáveis e apresentam um risco maior de fissuração. Além disso, Tutikian e Dal Molin (2015) explicam que o melhor cimento será aquele que apresentar a menor variabilidade em sua resistência à compressão.

2.6 ETILENO ACETATO DE VINILA – EVA

A Braskem S/A., produtora de etileno acetado de vinila, conhecido como EVA, oferece ao mercado consumidor vários produtos nos setores da indústria: filmes flexíveis para indústria de agricultura, embalagens, adesivos, revestimentos de fios e cabos e vestuário e calçado (BRASKEM, 2020). O EVA, que surgiu após estudos experimentais em 1938 e começou a ser aplicado na indústria calçadista na década de 1970, apresenta um toque emborrachado, flexibilidade, leveza e resistência à fadiga, além de não ser tóxico.

O composto de EVA é constituído por ativadores, copolímero de EVA, agente de expansão, agente de reticulação, auxiliares do processo e outros polímeros. Esses componentes são dosados de acordo com as características que se pretende obter no composto final (OLIVEIRA, 2009). Além disso, o EVA é um polímero termofixo, o qual, após sua moldagem sob uma determinada temperatura e pressão, torna-se insolúvel e infusível, não podendo ser mais reintegrado ao processo produtivo e tampouco ser reciclável (ANDRADE, 2010).

No setor calçadista, por exemplo, o EVA não consegue reintegrar o processo produtivo após o uso, gerando resíduos para o setor (POLARI FILHO, 2005). Zuchetto *et al.* (2015) complementam, dizendo que o material tem baixo peso próprio, originando grandes volumes e tornando-se um grande problema para o meio ambiente, já que necessita de grandes espaços para deposição. O resíduo de EVA é encontrado no estado sólido dentro da indústria calçadista, sendo classificado pela NBR 10004 como resíduo classe II A – Não inerte (ABNT, 2004). A empresa geradora desse resíduo deve acondicioná-lo de forma temporária em tambores ou similares com a devida identificação, e sua destinação deve ser o aterro industrial classe II.

O uso de resíduos poliméricos, provenientes do refugo da indústria calçadista, a qual não consegue mais incorporá-los em seus processos produtivos, em composições cimentícias reduz a sua resistência mecânica à medida que é aumentado o seu teor nessas composições (PENDHARI; KANT; DESAI, 2008).

Nos últimos anos, uma grande atenção tem sido dada aos materiais “verdes”, principalmente na indústria da construção civil. Novos materiais sustentáveis com propriedades acústicas e térmicas foram desenvolvidos por pesquisadores e centros de pesquisa, apresentando propriedades interessantes. Uma abordagem correta do impacto ambiental de um produto é a chamada Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), que analisa todos os possíveis impactos da vida de um produto (do berço ao túmulo). Extração, produção, transporte, construção, operação e gerenciamento de materiais, desconstrução e descarte, reciclagem e reutilização do material, todos esses processos devem ser levados em consideração. Para essa avaliação, estão disponíveis *ecoprofiles*, com destaque para: *Ecoinvent*, *BRE Eco-profiles* e *Eco-indicator*.

Ecoinvent é um banco de dados Suíço com dados da ACV, que leva em conta vários resultados da avaliação de impacto: a demanda acumulada energia, a fração de energia não renovável e o potencial de aquecimento global. A tabela 1 apresenta uma comparação dos impactos ambientais para recursos naturais e materiais acústicos.

Existem diferentes formas de se comparar a energia incorporada dos materiais, no entanto existe um consenso geral, em que os produtos podem ser comparados quanto a quantidade de energia incorporada que implicam no aquecimento global, através da quantidade de gás gerado para o efeito estufa, emitido durante sua produção. A unidade típica desta energia incorporada é MJ/Kg (Mega Joules de energia para fazer um quilograma de produto). Para o dióxido de carbono a unidade de medida TCO₂ (toneladas de dióxido de carbono necessário para gerados para fazer um quilograma de produto). Portanto na tabela 1 encontramos as densidades dos materiais, a energia incorporada e a quantidade potencial para o dióxido de carbono (KgCO₂eq.) e dióxido de enxofre (KgSO₂eq.) que irão prejudicar o aquecimento global.

Tabela 1: *Ecoinvent*. Comparação dos impactos ambientais dos recursos naturais (1-4) e materiais acústicos tradicionais (5-7)

N.	Material	Densidade (kg/m ³)	Acidificação não renovável do aquecimento global (kg/m ³)		
			Energia (MJ/kg)	Potencial (KgCO ₂ eq.)	Potencial (KgSO ₂ eq.)
			1	Borracha Natural	6,4
2	Fibras de coco	50	42	0,0	0,0250
3	Fibras de linho	25	4,4	0,0	0,0
4	Lã de ovelha	30	12,3	- 0,3	0,0046
5	Poliestireno expandido	30	95	2,3	0,0201
6	Fibra de Vidro	34	43	2,1	0,0155
7	Lã Mineral	50-60	17	1,2	0,0052

Fonte: Asdrubali, Schiavoni e Horoshenkov, 2012.

Os *BRE Eco-profiles* (Reino Unido) atribuem uma pontuação em “ecopontos” a um produto ou a um processo de ponderação de impactos normalizado com alterações climáticas, deposição ácida, eutrofização, ecotoxicidade, destruição do ozônio, extração mineral, extração de combustível fóssil, toxicidade humana, destinação de resíduos e poluição no transporte.

O *Eco-indicator* fornece uma pontuação final ponderando vários danos potenciais: à saúde humana, indicando o número de anos de vida perdidos e/ou vividos com incapacidade; à qualidade do ecossistema, expressando a perda de espécies em uma determinada área ao longo de um determinado período de tempo; e aos recursos, apontando o excesso de energia necessária para futuras extrações de minerais e combustíveis fósseis.

Por outro lado, o resíduo de EVA apresenta baixa densidade e, depois de triturado, o agregado leve pode ser usado para melhorar o desempenho acústico em edifícios, principalmente para atenuação do ruído de impacto de pisos (TUTIKIAN *et al.*, 2013).

Para Polari Filho (2005), o EVA é um produto que possui características físico-químicas diferenciadas dos demais elementos utilizados na construção civil. Se empregado como resíduo na formação de novos produtos, ele apresenta algumas

vantagens, como bom isolamento térmico, bom isolamento acústico aos ruídos de impacto, baixa densidade, mistura homogênea, boa resistência à compressão simples, boa ductibilidade, menor custo devido à redução de carga nas estruturas e menor custo devido às condições de produção de elementos estruturais bem maiores, que melhoram a produtividade dos serviços.

Hax (2002), em seus estudos em laboratório, afirma que o uso de materiais alternativos, como o EVA, apresenta grande potencial no isolamento do ruído de impacto, potencializando um ganho na ordem de $L'_{nT,W}$ 8 dB.

Tutikian *et al.* (2017) realizaram uma pesquisa com diferentes proporções para o uso de agregado leve (EVA) em contrapiso convencional, e o melhor desempenho proporcionou uma redução de $L'_{nT,W}$ 9 dB em relação ao contrapiso convencional, mostrando ser um material alternativo e eficaz para utilização como isolante acústico.

Borges (2015) analisou as propriedades acústicas de contrapisos produzidos com materiais reciclados, cinza da casca de arroz, resíduo de EVA, resíduo de madeira e serragem. Os teores utilizados foram 25%, 50% e 75% em substituição da areia e com variação da espessura (3 cm e 5 cm) em placas de 1 m². Dentre os materiais ensaiados, constatou-se que, nas baixas frequências (bandas de 100 Hz a 400 Hz), houve uma semelhança de resultados. Já para as médias frequências, nos limites das bandas de terço de oitava entre as médias 400 Hz e 1600 Hz, concluiu-se que, quanto maior a adição de EVA em substituição à areia, maior a redução do som de impacto, obtendo-se $L'_{nT,W}$ 15 dB em relação à laje de referência.

Branco e Godino (2013), por sua vez, realizaram testes de ruído de impacto com diferentes materiais leves para a argamassa de contrapiso. Os materiais do estudo foram a argila expandida fina 2/4 (tamanho mínimo/dimensão máxima, em mm); argila expandida grossa 3/8; granulado de cortiça expandida; e granulado de poliestireno expandido, que foram testados sobre uma laje de concreto de peso padrão. Os autores também fizeram uso em laboratório de uma câmara acústica de tamanho reduzido, que permitiu avaliar várias posições das placas em soluções e condições semelhantes de ensaio. As dosagens foram realizadas com a/c fixa de 0,5, para todas as misturas, e traço em volume na proporção de 1:6 (aglomerantes: agregados). Também foi conduzido um teste preliminar com tamanhos diferenciados de placa (50 cm x 50 cm, 70 cm x 70 cm e 90 cm x 90 cm), após utilizou-se o tamanho das amostras 50 cm x 50 cm para os testes subsequentes, variando a espessura em 4 cm e 6 cm e empregando os cinco tipos de formulação. Porém, antes de efetuar a

análise das diferentes soluções construtivas, um teste preliminar da posição de placa e da fonte sonora foi realizado, ou seja, nove posições foram ensaiadas em um dos quadrantes da câmara acústica. Percebeu-se que o sistema depende da posição da fonte, principalmente para as frequências mais baixas; essa variação não leva a uma variação significativa dos resultados, mesmo quando nas posições dos extremos.

Desta forma, pequenas alterações nas posições das amostras não devem causar alterações significativas nos resultados dos testes, especialmente em frequências mais altas. Essa afirmação é comprovada por Godinho *et al.* (2010) em seus estudos para uma câmara acústica de tamanho reduzido, com dimensões internas de 140 cm x 130 cm x 150 cm, produzida em concreto armado com 10 cm de espessura e possui uma abertura na lateral de 50 cm x 50 cm para acesso ao interior da câmara.

Portanto no estudo realizado Godinho *et al.* (2010) a espessura dos elementos construtivos influencia o desempenho acústico, considerando que, ao aumentar a espessura da laje de concreto, diminui-se o som de impacto à medida que se aumenta a espessura, e para as amostras ensaiadas de contrapiso não foi diferente. Dos resultados obtidos, o contrapiso argamassado sem substituição apresentou uma contribuição muito pequena, fato que era esperado devido à sua elevada rigidez, se comparada com os agregados leves do estudo. As argilas expandidas fina e grossa obtiveram um desempenho um pouco melhor que o da argamassa, e entre elas a diferença foi de 5 dB, sendo a argila expandida grossa melhor que a fina. No entanto o desempenho da argamassa de granulado de cortiça expandida, ou do poliestireno granulado, foi muito melhor se comparado com o dos outros, principalmente nas frequências mais elevadas (acima de 315 Hz). Entretanto, um bom resultado foi observado para a argamassa de cortiça na redução do nível de ruído de impacto de quase 40 dB registrado na banda central de 3.150 Hz. A menor rigidez do poliestireno e da cortiça pode explicar a capacidade de dissipação de energia elevada nessas argamassas. Esses valores foram obtidos com a fonte de impacto padrão atuando diretamente sobre a argamassa, sem qualquer cobertura, por isso os resultados são influenciados pela baixa rigidez dos agregados presentes perto da superfície.

2.7 CONTRAPISO

Fiorito (2009) define o sistema de piso como sendo o conjunto de várias camadas, compostas por laje ou lastro de concreto simples, camada de argamassa de regularização, camada de pasta de cimento, contrapiso, camada de argamassa colante com espessura uniforme de 3 mm a 6 mm, dependendo das dimensões da superfície da peça cerâmica e do revestimento cerâmico.

Outra definição é apresentada por Cichinelli (2009). Ele descreve o contrapiso como uma camada de argamassa lançada sobre uma base (laje ou lastro de concreto) para regularização. Sua espessura pode variar entre 2 cm e 6 cm, conforme a finalidade.

Já Martins (2012) afirma que o contrapiso é sempre necessário, tanto para ambientes que serão revestidos por cerâmica quanto para aqueles em que o acabamento será piso cimentado, não sendo adequado, no entanto, para espaços destinados ao trânsito de veículos.

Nesse sentido, Cichinelli (2009) assevera que os contrapisos podem ser empregados para atender a diversos fins, como para nivelar a superfície, servir para que as instalações sejam embutidas, possibilitar que haja os caimentos necessários para os ralos e melhorar o conforto acústico.

2.7.1 Contrapiso convencional

O contrapiso convencional é constituído por, normalmente, uma argamassa seca do tipo “não fluida”, apiloada energicamente contra a superfície na qual será empregada, que possui espessura variável em função do nível e do tipo do contrapiso (aderido ou flutuante) (CICHINELLI, 2009). O traço da argamassa de contrapiso “não fluida” em geral é de 1:4, sendo uma parte de cimento e quatro partes de areia média. Essa proporção pode variar conforme o tipo de acabamento para o contrapiso (MARTINS, 2012). A composição do contrapiso pode ser com maior consumo de cimento do que o necessário; isso acarretará, evidentemente, um maior custo, mas espera-se que resulte em um desempenho adequado, mesmo que as condições de dosagem, execução e de controle de qualidade não sejam adequadas (BARROS; SABATINI, 1995).

Na maioria das aplicações, a camada de contrapiso não tem um projeto específico junto ao planejamento da edificação, sendo vista como uma atividade secundária para o setor construtivo e para a obra. Essa camada é geralmente executada por operários que não têm conhecimento técnico de seu comportamento e que acabam fazendo mau uso dos materiais e de sua composição.

Barros e Sabatini (1991) afirmam que a execução do contrapiso varia de acordo com o tipo, além disso, eles reiteram que, de forma genérica, a execução do contrapiso é composta por algumas etapas:

- a) preparação da base;
- b) execução dos referenciais geométricos;
- c) aplicação da argamassa de contrapiso;
- d) acabamento final.

A Cimpor Cimentos de Portugal (S/D), fabricante da argamassa, observou que não havia uma padronização na forma de aplicação do contrapiso convencional e, em razão disso, desenvolveu um informativo/manual técnico para divulgar entre seus clientes como ela pode ser executada. O manual descreve:

- a) as alvenarias e a impermeabilização das áreas molhadas devem estar concluídas;
- b) instalações elétricas devem estar prontas e testadas;
- c) as instalações de esgoto, gás e água devem estar concluídas, e as tubulações devem estar fixas para que não se desloquem;
- d) ralos devem estar tampados e limpos;
- e) realizar a remoção de entulhos, restos de argamassa outros materiais aderidos à base, por meio de uma “marreta e picão”;
- f) remoção de pó ou outras partículas soltas que podem ser eliminadas com o uso de uma vassoura;
- g) recomenda-se a remoção total de óleos, graxas, cola tinta ou outros produtos químicos;
- h) transferir os níveis do contrapiso para cada cômodo a partir do nível de referência, utilizando um nível a laser ou mangueira de nível;
- i) para áreas molhadas com previsão de ralos para escoamento de água, prever caimento mínimo de 1%;
- j) assentar taliscas com a mesma argamassa do contrapiso e assegurando o conhecimento prévio do nível;
- k) não ultrapassar 1,8 m entre uma e outra talisca;

- l) junto aos ralos de áreas molhadas, executar uma talisca de referência em anel, de forma a garantir o caimento mínimo em sua direção;
- m) limpar novamente a superfície e lavá-la com água em abundância. Remover o excesso de água e polvilhar 0,5 kg de cimento por metro quadrado de superfície com o auxílio de uma peneira. Espalhar com a vassoura, misturando o cimento com a água, formando uma fina camada de ligação entre a base de concreto e a argamassa de contrapiso;
- n) cuidar para que a nata de cimento não endureça antes do lançamento do contrapiso, começando a polvilhar cimento primeiramente nas áreas onde serão executadas as mestras e, somente após a conclusão destas, nas outras partes do ambiente;
- o) executar as mestras com cerca de 5,0 cm de largura com a mesma argamassa que será utilizada no contrapiso, imediatamente antes do lançamento da argamassa para a execução como um todo;
- p) retirar as taliscas e preencher o espaço deixado com argamassa, nivelando-o com a régua metálica;
- q) preparar a argamassa e transportar até o local da utilização;
- r) aplicar a argamassa de contrapiso, respeitando os limites de espessura definidos pelas próprias mestras, quando a espessura total do contrapiso não superar 5 cm. Com espessuras maiores, o espalhamento da argamassa deverá ser feito em duas ou mais operações consecutivas, intercaladas pela compactação das camadas anteriores com intervalo máximo de uma hora;
- s) as espessuras recomendáveis são: mínimo 2,0 cm e máximo 7,5 cm;
- t) compactar a camada de argamassa com energia, utilizando o soquete. Se após a compactação a camada ficar abaixo do nível das mestras, deve-se acrescentar mais argamassa, compactando-a novamente;
- u) sarrafejar toda a superfície com uma régua de alumínio apoiada sobre as mestras em movimento de vaivém, “cortando” a superfície da argamassa até que se atinja o nível das mestras;
- v) após o sarrafeamento, o deslocamento de pessoas sobre a argamassa fresca deve ser feito sobre pranchas de madeira;
- w) o acabamento final do contrapiso terá tipos de desempenho em função do revestimento sobre o contrapiso;
- x) – revestimento aplicação com argamassa colante: superfície de acabamento regular e compacta (não muito lisa); desempenho somente com madeira;
- y) - revestimento de pequenas espessuras (carpetes têxteis ou de madeira, vinílicos): textura final homogênea, lisa e sem imperfeições visíveis; desempenho com madeira, seguido de desempenho com aço, em movimentos numa única direção e borrifando água para facilitar a operação;

- z) - contrapiso sem revestimento ou polido: textura final lisa homogênea e compacta. Este tipo de desempenho não admite fissuras. Desempeno com madeira, seguido de desempenho com aço e polvilhamento de cimento, em movimentos numa única direção e borrifando água para facilitar a operação. Polvilhar aproximadamente 0,5 kg de cimento por metro quadrado de superfície, utilizando uma peneira;
- aa) proteger a área do trânsito de pessoas e equipamentos por um prazo mínimo de três dias;
- bb) aguardar 28 dias para a cura do contrapiso, antes da colocação dos revestimentos, notadamente quando estes forem suscetíveis à umidade. (CIMPOR, 2001).

A busca, ao longo dos anos, por racionalizar os processos construtivos nos canteiros das obras, fez com que empresas da construção eliminassem a execução do contrapiso e optassem pelo sistema “laje zero”. Para que isso ocorra, a laje estrutural assume o papel também da camada de contrapiso, dispensando sua execução. Os atributos da laje são fornecer planeza, nivelamento, rugosidade e declividade, necessários à fixação ou assentamento final dos revestimentos de piso (SOUZA; MELHADO, 2002).

O desempenho acústico da “laje zero” da edificação está sujeito à dimensão, aos vãos de laje, à espessura, à existência de alvenarias e às suas ligações com a estrutura e os tipos de revestimentos utilizados. Esse sistema não vem atendendo, de forma satisfatória, aos parâmetros prescritos pela norma da *NBR 15575-3/2013: Edificações habitacionais*, necessitando de ações complementares para cumprir com eficiência tais requisitos (NETO, 2010).

2.7.2 Contrapiso autonivelante

Contrapiso autonivelante é um elemento do sistema de piso, composto por uma camada de material lançado sobre uma laje estrutural adequadamente preparada, e apresenta características específicas, como resistência mecânica, durabilidade, fluidez e espessura, para atender às principais funções de nivelar as superfícies (o que inviabilizará a construção de declividades e desníveis), possibilitar o assentamento do piso e transmitir as cargas de utilização para a laje (EGLE, 2010).

As vantagens do uso do contrapiso autonivelante são apresentadas por Nakakura e Bucher (1997): criação de um local de trabalho mais seguro, permitindo

uma redução de mão de obra; diminuição da tendência de fissuração para quase zero, devido à utilização de aditivos químicos que retêm água; diminuição da espessura do contrapiso para entre 5,0 mm e 10 mm, ou seja, redução no peso próprio; redução de ondulações restritas apenas àquelas que podem existir na superfície de um fluido viscoso em razão da ação da gravidade sobre ele; cura rápida, em virtude da associação entre adições e aditivos, possibilitando que o local da aplicação seja liberado em poucos dias para os trabalhos previstos.

O contrapiso autonivelante tem como característica principal sua alta fluidez, proveniente dos fabricantes de argamassa ensacada ou da produção em central dosadora, sendo transportada até a obra com caminhão. Definimos neste capítulo o contrapiso autonivelante como sendo aquele que necessita de espessura maior que 2,5 cm, com equipe de pessoas envolvidas no preparo do local e aplicação por consequência volume de material. Quando se utiliza o sistema de bombeamento, responsável por conduzir a argamassa do contrapiso autonivelante até o pavimento, deve-se levar em conta a área na qual ele será aplicado, o volume de material necessário e a quantidade de aplicadores. As bombas do tipo rosca são mais precisas, apresentando um volume constante de preenchimento, o que torna a aplicação mais lenta. Quando utilizado outro tipo de bomba, como a que possui o sistema de válvula rock, lança-se um volume maior de material sobre a laje de concreto, agilizando o processo de aplicação.

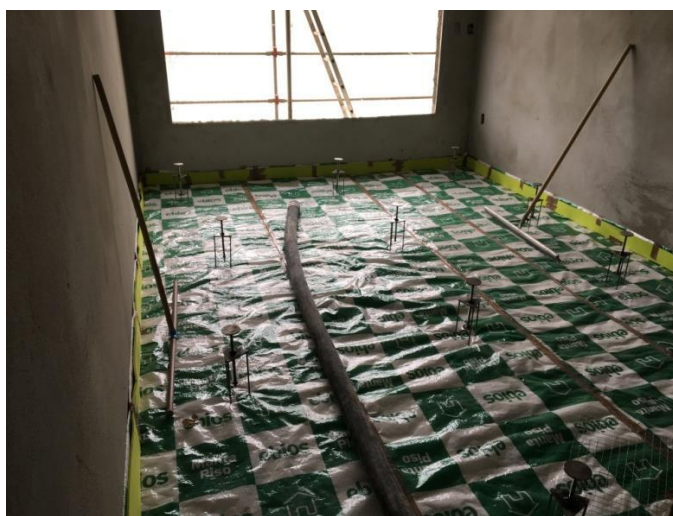
Após três dias da aplicação, o trânsito de pessoas é liberado no contrapiso autonivelante. Já o assentamento da alvenaria pode ser executado após quatorze dias, prazo que pode variar dependendo das condições climáticas locais. Entretanto, como em qualquer contrapiso cimentícia, deve ser respeitado um tempo mínimo de secagem (cura) e de eliminação da umidade, que corresponde a 28 dias.

A cura nesse processo contribui para evitar o fenômeno de fissuração oriundo da retração, a qual é responsável pelo surgimento das fissuras e trincas. Quando não for indicado uma idade para a cura deve ser adotado uma cura mínima de sete dias, contados a partir da sua aplicação, molhando continuamente a superfície do contrapiso (irrigação), mantendo uma lâmina de água (submersão), ou ainda recobrando a área com plásticos e similares (RIBEIRO; PINTO; STARLING, 2006).

Para executar o contrapiso autonivelante, as seguintes etapas são necessárias:

- a) realizar a limpeza da base com água, retirando todos os restos de argamassa, entulho ou de qualquer outro material aderido que possa prejudicar a aplicação sobre a base, entre eles: tintas, graxas, óleos, cola, material químico, pó, concreto, argamassa, gesso;
- b) aprontar, testar e fixar as instalações elétricas, hidráulicas e de gás, para evitar deslocamentos;
- c) delimitar a área que será executada com o contrapiso autonivelante e fazer a transferência do nível com o uso do nível laser, a partir do nível de referência. Além disso, aproveitar para regular o nível das niveletas que substituem as mestras;
- d) realizar a colocação da lona ou da manta acústica para os contrapisos não aderidos, seguindo as recomendações do fabricante. Na figura 2, é possível observar a colocação da manta acústica.

Figura 2: Sala preparada para receber contrapiso autonivelante – manta, niveletas distribuídas e juntas de dessolidarização



Fonte: Foto do autor (2020).

- e) realizar juntas de dessolidarização no encontro com a parede e pilares. Pode-se fazer uso de placas de EVA ou EPS, mas não se deve fazer uso de pregos para fixar, pois cria-se uma ponte rígida entre o contrapiso autonivelante e a parede, podendo gerar fissuração. O ideal é usar cola ou fita dupla-face;
- f) realizar reforço armado nos cantos vivos, como entorno de pilares;

- g) realizar a limpeza da superfície e lavá-la com água, para aplicação aderida. Remover o excesso de água e polvilhar 0,5 kg de cimento por metro quadrado de superfície. Espalhar com a vassoura, misturando o cimento com a água, a fim de criar uma fina camada de ligação entre a base de concreto e a argamassa de contrapiso. Cuidar para que a nata de cimento não endureça antes do lançamento do contrapiso autonivelante;
- h) bombear a argamassa de contrapiso autonivelante continuamente sobre a laje de concreto, espalhando-a regularmente sobre a base.
- i) depois de atingido o nível determinado, utilizar uma régua em “T” com movimentos leves sobre a superfície para dar acabamento uniforme;
- j) isolar a área do trânsito de pessoas e equipamentos por um prazo mínimo de três dias, desde que as condições climáticas locais assim permitam;
- k) nos sete primeiros dias, contados a partir do lançamento, proteger a superfície molhando-a constantemente ou mantendo sobre ela uma lâmina de água, ou ainda recobrando-a com manta, plásticos e similares. Essas ações evitam a evaporação da água da mistura e mantêm um teor de umidade satisfatório, preservando, assim, uma temperatura favorável durante a hidratação dos materiais e aglomerantes.

2.7.3 Vantagens e desvantagens do contrapiso autonivelante

O contrapiso convencional não consegue acompanhar a capacidade produtiva proporcionado pelo contrapiso autonivelante, pois este é de fácil execução, minimiza o desperdício de material e reduz as equipes de trabalho. Com o sistema de bombeamento, o contrapiso autonivelante dispensa o uso do elevador ou da cremalheira. Nesse sentido, o contrapiso autonivelante proporciona uma otimização significativa no cronograma da obra, tendo em vista a facilidade de sua aplicação. Branco e Brito (2014) afirmam que o uso do contrapiso autonivelante reduz 46% do tempo gasto para aplicação do produto, quando comparado com o sistema de contrapiso convencional do tipo não fluido. Além disso, o emprego desse tipo de contrapiso reduz o número de profissionais envolvidos. Egle (2010) destaca que, em uma laje de 600 m², no sistema de contrapiso autonivelante, a aplicação será em, aproximadamente, 4 a 6 horas, o que proporciona uma produtividade de 100 m²/h,

com uma equipe de cinco trabalhadores; para o sistema de contrapiso convencional, serão necessários de 4 a 5 dias, para a mesma quantidade de trabalhadores.

Nessa perspectiva, Gomes e Gonçalves (2013) contribuem dizendo que o sistema autonivelante dispensa local de preparo e o desempenho, liberando os locais nos quais o produto foi aplicado em curtos prazos de tempo. O contrapiso autonivelante apresenta um bom acabamento superficial, porém a sua maior desvantagem é não poder ser aplicado em locais com declividade ou não poder realizar rebaixos ou ressaltos no pavimento, pois o produto é extremamente fluido.

Por outro lado, o contrapiso autonivelante pode ser aplicado em diversos substratos e ambientes e ainda sobre mantas térmicas ou acústicas. O sistema que utiliza mantas é chamado de “aplicação não aderida”, devido ao fato de que o produto não está em contato direto com o substrato; já, quando em contato direto ao substrato, o sistema é chamado de “aplicação aderida”. Egle (2010) acrescenta que o contrapiso autonivelante serve de base para diversos materiais, como piso cerâmico, porcelanato, carpetes, mármore, tábua corrida – todos esses sem qualquer alteração no acabamento.

Entretanto, é importante ressaltar alguns entraves para a aplicação desse produto. Nesse sentido, Silva (2013) contribui dizendo que existe uma dificuldade de se encontrar aplicadores experientes e qualificados para esse tipo de produto. Ademais, Branco e Brito (2014) destacam como desvantagem a falta de domínio por partes das empresas produtoras e a falta de conhecimento sobre a produção e a aplicação em obra. Para superar essas e outras dificuldades, consumidores e produtores terão que se unir para treinar e qualificar a mão de obra, a fim de que o produto seja cada vez mais disseminado dentro da construção.

Um dos materiais utilizados para produção do contrapiso autonivelante são cargas secundárias de partículas finas que substituem o cimento. Dessa forma, há um aumento na área específica e, conseqüentemente, no consumo de água, que proporciona uma variação volumétrica do contrapiso no estado fresco para o endurecido. Portanto, quanto maior a variação volumétrica gerada nesse estado, maior será a possibilidade do aparecimento da retração, tornando, assim, as fissuras significativas (ALRIFAI *et al.*, 2013).

Libre, Khoshnazar e Shekarchi (2010), em suas pesquisas, demonstram que, aumentando a relação água e cimento (a/c) e o uso de aditivos superplastificantes (SP), há uma melhora na fluidez, porém prejudica-se a estabilidade. Para melhorar a

estabilidade da mistura, existem aditivos modificadores de viscosidade, mas eles podem, em contrapartida, reduzir a fluidez da mistura.

Katsiadramis, Sotiropoulou e Padermarakis (2010) apresentam outra desvantagem do contrapiso autonivelante que é a sua grande demanda de água nas formulações para que consiga atingir a fluidez satisfatória. Esse consumo elevado de água pode ocasionar segregação e exsudação e reduzir a densidade, o que pode acarretar em perda na resistência e na durabilidade do material. Com adequadas adições e proporcionamento dos materiais e dos aditivos, o material torna-se viável, demonstrando sua eficácia e vantagens.

2.7.4 Propriedades e manifestações patológicas

Para medir a trabalhabilidade do contrapiso autonivelante, alguns pesquisadores utilizam o minitronco cônico, *mini slumpflowtable* ou “minicone de *slump*” (ou simplesmente *mini slump*), conforme figura 3, no qual é medido o espalhamento sobre uma superfície lisa umedecida (chapa metálica). O ensaio constitui em colocar o cone no centro da chapa metálica, enchê-lo com o contrapiso autonivelante e retirá-lo, para que o material se espalhe livremente. Realizando-se medidas ortogonais do contrapiso autonivelante sobre a chapa metálica, obtém-se o diâmetro do espalhamento. Deste modo percebe-se que, quanto maior o espalhamento, maior sua fluidez (KATSIADRAMIS; SOTIROPOULOU; PANDERMARAKIS, 2010; GEORGIN *et al.*, 2008).

Figura 3: *Mini slump* com diâmetro inferior 100 mm, diâmetro superior 50 mm e altura 100 mm



Fonte: Foto do autor (2020).

Segundo Katsiadramis, Sotiropoulou e Padermarakis (2010), para o método do *mini slump*, o contrapiso autonivelante deve medir entre 240 mm e 260 mm, que são justamente os valores de espalhamento sugeridos por EFNARC (2002). Para o teste *mini slumpflowtable*, o espalhamento deve ser igual ou superior a 260 mm (RIZWAN; BIER, 2012).

Outra propriedade é apresentada por Silva (2011). A exsudação é avaliada como uma característica do proporcionamento de compostos cimentícios, pois se trata de uma avaliação direta da durabilidade dos materiais. A dosagem excessiva de aditivo superplastificante ou o excesso de água na mistura provocam exsudação dos compostos da argamassa e a migração de água da mistura para a superfície (Figura 4). Esse excesso de água irá se acumular na superfície causando uma secagem heterogênea do material, que apresentará machas escuras em sua superfície após o endurecimento e, conseqüentemente, uma redução da resistência superficial nesses pontos (GARCIA; BRITO, s.d.).

Figura 4: Contrapiso autonivelante, migração de água na superfície devido ao excesso de aditivo



Fonte: Foto do autor (2019).

Quando parte da água tende a se separar da mistura e a subir para a superfície, o fenômeno recebe o nome de exsudação, que também é uma forma de segregação (NEVILLE, 1997). A água presente na mistura é o componente com menor densidade e tende a subir para a superfície, sendo que o ar aprisionado no momento da aplicação também facilita a subida da água. Adições de partículas finas e cimentos colaboram para minimizar a exsudação.

Para maiores relações água cimento (a/c), o efeito do aditivo modificador de viscosidade na mistura é mais perceptível. Libre, Khoshnazar e Shekarchi (2010)

apresentaram que adições de modificador de viscosidade na mistura com a/c de 0,55 resultam em uma redução no índice de segregação na ordem de 47%.

Outra propriedade a ser avaliada é referente ao ar existente e incorporado na mistura durante seu processo de preparo e aplicação. O manejo inadequado do produto no momento da aplicação e a falta de preocupação em remover o ar acarretarão a liberação do ar no momento da cura, prejudicando o acabamento final em virtude do surgimento de bolhas na superfície (CICHINELLI, 2013).

Em consequência disso, a trabalhabilidade inadequada do contrapiso autonivelante pode gerar consequências desfavoráveis, como dificuldade na aplicação e no acabamento e maior índice de vazios, o que, conseqüentemente, gera menor resistência mecânica e durabilidade.

Outra situação importante de ser mencionada é que uma mistura estável, é aquela capaz de se manter trabalhável em todas as etapas subsequentes. A vibração, o transporte ou a colocação do material estão relacionados com a estabilidade dinâmica. A estabilidade estática, por sua vez, é a capacidade de a mistura resistir à segregação, à exsudação e ao adensamento, que são influenciados pela gravidade e pelo tempo (MEHDIPOUR *et al.*, 2013).

De acordo com Libre, Khoshnazar e Shekarchi (2010), o uso de fíler calcário ou de cinza volante, aliados ao aditivo modificador de viscosidade, podem ser muito eficazes quando se deseja aumentar as propriedades de escoamento da mistura à base de cimento.

Utilizando taxas de substituição adequadas, como adições minerais, favorecem um ganho na resistência à compressão e uma minimização da retração por secagem, melhorando a qualidade da microestrutura (ITIM; EZZIANE; KADRI, 2011).

Ainda, Mehdipour *et al.* (2013) comprovaram que o tempo de mistura influencia a fluidez e o escoamento dos contrapisos autonivelantes. Os resultados apontam que, aumentando de 10 minutos para 20 minutos o tempo de mistura, ocorreu um incremento na fluidez de toda a mistura. Porém, em tempos superiores a 30 minutos, a fluidez foi reduzida, pois parte da água disponível foi absorvida pelas reações de hidratação, pelas superfícies sólidas ou, então, acabou evaporando.

A adição do Metacaulim proporciona maior coesão à mistura. As empresas brasileiras Weber e Votorantim apresentam, na ficha técnica de seus produtos para regularização de pisos, que o tempo de manuseio da mistura é de aproximadamente 30 minutos. Para tempos de manuseio maiores observa-se a retenção do fluxo,

propenso à instabilidade com acúmulo de agregados no centro, quando verificado através do ensaio de consistência (MEHDIPOUR *et al.*, 2013).

O uso de aditivo superplastificante, com base em policarboxilato, reduz o consumo de água e a relação a/c; no entanto, o aumento na adição do policarboxilato na mistura – para a/c fixa – tende a incrementar o índice de segregação. As dosagens do aditivo superplastificante não são lineares e estão associadas às relações água/cimento. A adição de 2% de policarboxilato numa mistura estável com a/c de 0,35 e índice de segregação 30% faz com que ela permaneça relativamente estável. Em outra mistura com a/c de 0,55 e índice de segregação em 20%, que é considerada uma dosagem estável, foi adicionado 2% de superplastificante e a mistura não ficou estável, apresentando um índice de segregação de 158% (LIBRE; KHOSHNAZAR; SHEKARCHI, 2010).

No estudo de Navarro, Sánchez e Gomariz (2014) autores afirmam que espessuras muito finas de material possibilitam o aparecimento de fissuras. Já Freitas (2009) e Souza (2013), em suas respectivas pesquisas, dizem que uma cura mal-executada e a perda rápida de água, proveniente do elevado calor de hidratação do cimento, contribuem para o surgimento das retrações por secagem, ocasionando o aparecimento de fissuras no contrapiso autonivelante.

A deformação gerada pela troca de umidade entre a estrutura porosa da pasta e o ambiente é definida como retração por secagem. Como o ambiente apresenta uma umidade relativa mais baixa do que na pasta de cimento, ocorre, conseqüentemente, a contração do material (ALRIFAI *et al.*; 2013).

Algumas causas dessa retração são variação do volume de contrapiso autonivelante no estado fresco para o endurecido, a tensão superficial da água e as reações químicas de hidratação do cimento (ONISHI; BIER, 2010). Itim, Ezziane e Kadri (2011) afirmam, por sua vez, que as reações de deformação são influenciadas pelo avanço da hidratação do cimento, que apresenta relação direta com a resistência à compressão e a qualidade da microestrutura.

A tensão gerada na hidratação do contrapiso sem a troca de água com o ambiente é chamada de retração autógena. O consumo de água proveniente da formação dos hidratos é originado no processo de dessecação e hidratação (ITIM; EZZIANE; KADRI, 2011). Para Alrifai *et al.* (2013), a composição química e a finura do cimento são responsáveis pela retração autógena. Cimentos com partículas mais finas terão maior velocidade de hidratação e, conseqüentemente, menor quantidade

de água disponível na pasta de cimento, o que aumenta a retração. A retração autógena depende muito do grau de hidratação do C₃A (aluminato tricálcico) e do C₄AF (ferro aluminato tetracálcico).

A retração por secagem representa a deformação do material gerada pela troca de água com o ambiente externo. A combinação entre carbonatação e a dessecação depende da porosidade da microestrutura e da sua capacidade de suportar a secagem (ITIM; EZZIANE; KADRI, 2011).

Outra manifestação patológica que ocorre nos contrapisos autonivelantes, conhecida como efeito Curling, nada mais é que o empenamento dos bordos. Esse fenômeno é causado pelo encolhimento diferencial entre a parte superior e a parte inferior de uma placa ou de uma laje, principalmente devido à retração por secagem. Enquanto a parte inferior da placa sofre poucas alterações em suas dimensões, por ficar mais tempo molhada, a parte superior da superfície seca, devido às ações externas do ambiente (PÉRA; AMBROISE, 2004).

Para Le-Bihan *et al.* (2012), o efeito Curling ocorre no canto das placas porque nesse local se dão as maiores variações dimensionais em virtude da secagem e é onde pode haver fissuração e empenamentos das placas.

2.8 ATENUAÇÃO DO RUÍDO

O ruído é todo som indesejado, em geral de conotação negativa, e som é a sensação produzida no sistema auditivo (BISTAFA, 2011). Por outro lado, a definição de ruído pode ser de caráter subjetivo, dependendo do sujeito em questão, já que o que para muitos é indesejado, para outros pode ser uma harmonia sonora, como a música.

Dentre as propriedades sensitivas humanas, como o tato e o olfato, nossa audição percebe a variação de intensidade do som e é sempre comparativa (GRUNOW, 2008). Todos os sons são sentidos pela audição, e tudo o que é interpretado é aberto e subjetivo para cada um em termos de ruído e som (ruim e bom).

No caso deste trabalho, o foco é a transmissão do ruído de impacto. Conforme a *NBR 15575-3: Edificações habitacionais* (ABNT, 2013), o ruído de impacto é todo som produzido pela percussão sobre um corpo sólido e transmitido através do ar.

Para Gerges (2000), a vibração das partículas de ar acontece na mesma direção da propagação da onda, e essa propagação caracteriza-se por ondas longitudinais. Quando a propagação se dá no meio sólido, ela acontece de diferentes maneiras: onda longitudinal, onda de cisalhamento, onda torcional e onda de flexão. O comprimento de onda é inversamente proporcional à frequência, ou seja, quanto maior a frequência, menor o comprimento da onda, sendo que frequência é o número de oscilações ou ciclos num intervalo de tempo (CARVALHO, 2010). Neste sentido, o som pode ser caracterizado pela intensidade. A intensidade é uma propriedade que distingue os sons graves dos sons agudos, fato que está relacionado ao número de ciclos por segundo de uma onda sonora, ou seja, à sua frequência, em hertz (Hz). A intensidade ou a amplitude de uma onda sonora está vinculada à quantidade de energia, que é expressa em decibel (dB).

Os materiais fibrosos ou porosos são utilizados para o isolamento do som de impacto. Zini *et al.* (2016) complementam dizendo que materiais, como polímeros em forma de fibra ou elastômeros, cortiça ou matérias têxteis, são exemplos de materiais resilientes que podem ser utilizados sob a laje de concreto, compondo uma camada flutuante capaz de amortecer o impacto mecânico.

Sendo assim, as sobras de materiais da indústria podem reintegrar-se, reciclando-os, transformando-os em novos produtos, proporcionando um grande benefício ao meio ambiente, porém eles não podem gerar um comprometimento na eficiência dos sistemas construtivos. Portanto a manutenção das características dos materiais ao longo do tempo garante um bom desempenho do sistema durante toda a sua utilização. O EVA, por ser compressível e capaz de promover um alto amortecimento à energia de impacto, e da necessidade de evitar a perda de eficiência, pois uma carga excessiva pode reduzir sua forma, aumentando a rigidez, e sua utilização pode se dar por meio da substituição da areia natural existente no contrapiso autonivelante. Desta forma, pode-se controlar a transmissão do ruído de impacto pelo controle do isolamento (absorção), bem como eliminar a transmissão marginal pela estrutura (HASSAN, 2009).

2.9 ACÚSTICA DAS EDIFICAÇÕES

Quanto maior for a massa da superfície em análise, menor a probabilidade de vibrar e, portanto, de transmitir som (CARVALHO, 2010). Para obter menos energia

sonora transmitida através da estrutura, ela deve ser mais rígida e contínua possível (HASSAN, 2009). Nesse sentido, Tutikian *et al.* (2017), o corpo de massa tem grande relevância para atenuação do ruído aéreo, mesmo desempenhando um papel secundário para o isolamento do ruído de impacto, pois a energia de vibração é maior e é aplicada diretamente à construção, havendo pouca perda de energia.

Para Patrício (2010), os revestimentos de piso têm função importante para o controle da transmissão do ruído de impacto, existindo dois sistemas principais para minimizar a transmissão: os revestimentos flexíveis de piso (carpete, exemplo), e os sistemas de piso flutuante, que funcionam como um sistema massa-mola, no qual a mola é a lã de vidro e a massa é o contrapiso.

No entanto as molas de amortecimento são as mantas acústicas, e sua colocação deve envolver a base das paredes, soltando o contrapiso e o revestimento do contato com elas, evitando que choques induzidos no contrapiso consigam chegar a outros pontos da estrutura e proporcionando o correto funcionamento do sistema de piso flutuante.

Segundo Simões (2011), a espessura do sistema de piso (laje, contrapiso e piso) e a isolamento são diretamente proporcionais para os mesmos materiais. Realizar o dimensionamento da composição é conseguir obter o isolamento acústico entre os pisos. A fim de que se obtenha êxito na redução de ruídos, as formas de tratamento variam conforme o tipo de fonte sonora: aérea e de impacto.

As lajes são irradiadoras de energia sonora em ampla faixa de frequência, devido aos movimentos vibratórios induzidos pela excitação localizada (BISTAFA, 2006). As vibrações geradas pelo impacto se propagam pela estrutura, sendo assim o isolamento deve utilizar materiais capazes de absorver essa energia (HOPKINS, 2012). Se geradas no piso rígido, essas vibrações se propagam pelos elementos ligados a ele.

Utilizar um material resiliente no piso com o objetivo de reduzir os elevados ruídos sonoros, beneficiando o isolamento ao ruído de impacto, é uma alternativa sugerida (WARNOCK, 1999). Para isolar o ruído de impacto, é importante atenuar o nível sonoro transmitido pela estrutura de um andar para o outro, projetando elementos construtivos que possam amortecer as vibrações do choque entre sólidos (SANTOS, 2013).

Os sistemas de lajes, pilares e vigas são interligados nas edificações de concreto armado, fazendo com que as vibrações sonoras se espalhem pela estrutura

e cheguem às paredes e aos ambientes da edificação. O sistema construtivo de piso é composto pela laje, pelos contrapisos e pelos revestimentos; para se atingir o conforto acústico, o projeto deve prever o amortecimento dos ruídos de impacto e isolar os ruídos aéreos, mas nem sempre soluções construtivas são capazes de atender aos dois requisitos simultaneamente (NUNES; ZINI; PAGNUSSAT, 2014). Hassan (2009) informa que aumentar a espessura da laje pode diminuir os níveis de ruído de impacto, porém essa solução nem sempre é eficaz e, muitas vezes, provoca um maior peso na estrutura, o que não é econômico e dificulta a arquitetura. Já Lee *et al.* (2014) asseveram que a utilização de um material resiliente empregado entre a laje e o acabamento pode proporcionar uma solução simples e econômica para reduzir o ruído de impacto em múltiplos andares da edificação.

A eficácia da solução depende da ausência de ligações rígidas entre as superfícies e os elementos estruturais e não estruturais, das camadas intermediárias e das características elásticas dos materiais (NEVES; ANTÓNIO; NOSSA, 2008; KIM, *et al.*, 2009). A utilização de materiais resilientes, como espumas, borrachas, cortiças e fibras como parte do revestimento dos pisos ou como uma camada flutuante, já se tornou uma prática usual na construção com o intuito de reduzir as vibrações estruturais das ações geradas pelo impacto (NEVES; ANTÓNIO; NOSSA, 2008).

Quando a base flutuante tiver maior densidade superficial e a base elástica um valor reduzido de rigidez dinâmica, é possível diminuir a transmissão do ruído de impacto. A rigidez dinâmica é definida pela capacidade de um material resiliente dissipar um impacto mecânico. Ela pode ser determinada através de ensaios que indicam a frequência de ressonância de um sistema a partir de vibrações verticais, os quais estão indicados na norma *ISO 9052-1: Acoustics* (ISO, 1989).

2.10 DESEMPENHO ACÚSTICO

A NBR 15575-1: Edificações habitacionais (ABNT, 2013) é a norma que fornece parâmetros para fabricantes e executores, no sistema de edificações habitacionais, com o objetivo de estabelecer critérios quantitativos e qualitativos de desempenho do usuário. Para analisar o desempenho acústico nos sistemas de piso, a norma permite realizar ensaio em campo.

A NBR 15575-3 estabelece valores máximos de ruído de impacto em ensaios de campos, conforme o quadro 2.

Quadro 2: Nível de ruído de impacto padrão em sistema de piso

Parâmetro	Local	Desempenho ($L'_{nT,W}$)		
		Mínimo	Intermediário	Superior
Nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado	Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas posicionadas em pavimentos distintos	≤ 80 dB	≤ 65 dB	≤ 55 dB
	Sistema de áreas de uso coletivo (atividade de lazer e esportivas, tais como <i>home-theater</i> , salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas) sobre unidades habitacionais autônomas	≤ 55 dB	≤ 50 dB	≤ 45 dB

Fonte: NBR15575-3 (ABNT,2013) (adaptado).

Neste sentido a NBR 15575-3, esclarece as três classes de desempenho para os critérios de níveis de pressão sonora de impacto padrão ponderado, $L'_{nT,W}$. No isolamento ao ruído de impacto em salas sobre postas de unidades autônomas. No entanto estas três classes contêm intervalos para o $L'_{nT,W}$, ou seja, o nível mínimo está entre 66 a 80 dB, o nível intermediário está entre 56 a 65 dB, e para o nível superior, o desejado, deve ser maior ou igual a 55 dB.

Conforme a NBR 15575-3 (ABNT, 2013), o piso residencial é responsável por proporcionar o isolamento do som, que varia de acordo com a finalidade de utilização. Segundo as informações contidas nessa norma, o sistema de piso é montado conforme as camadas apresentadas na figura 5. Essas camadas estão incumbidas de cumprir a função de estrutura, tráfego e vedação.

Figura 5: Representação de um sistema de piso



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

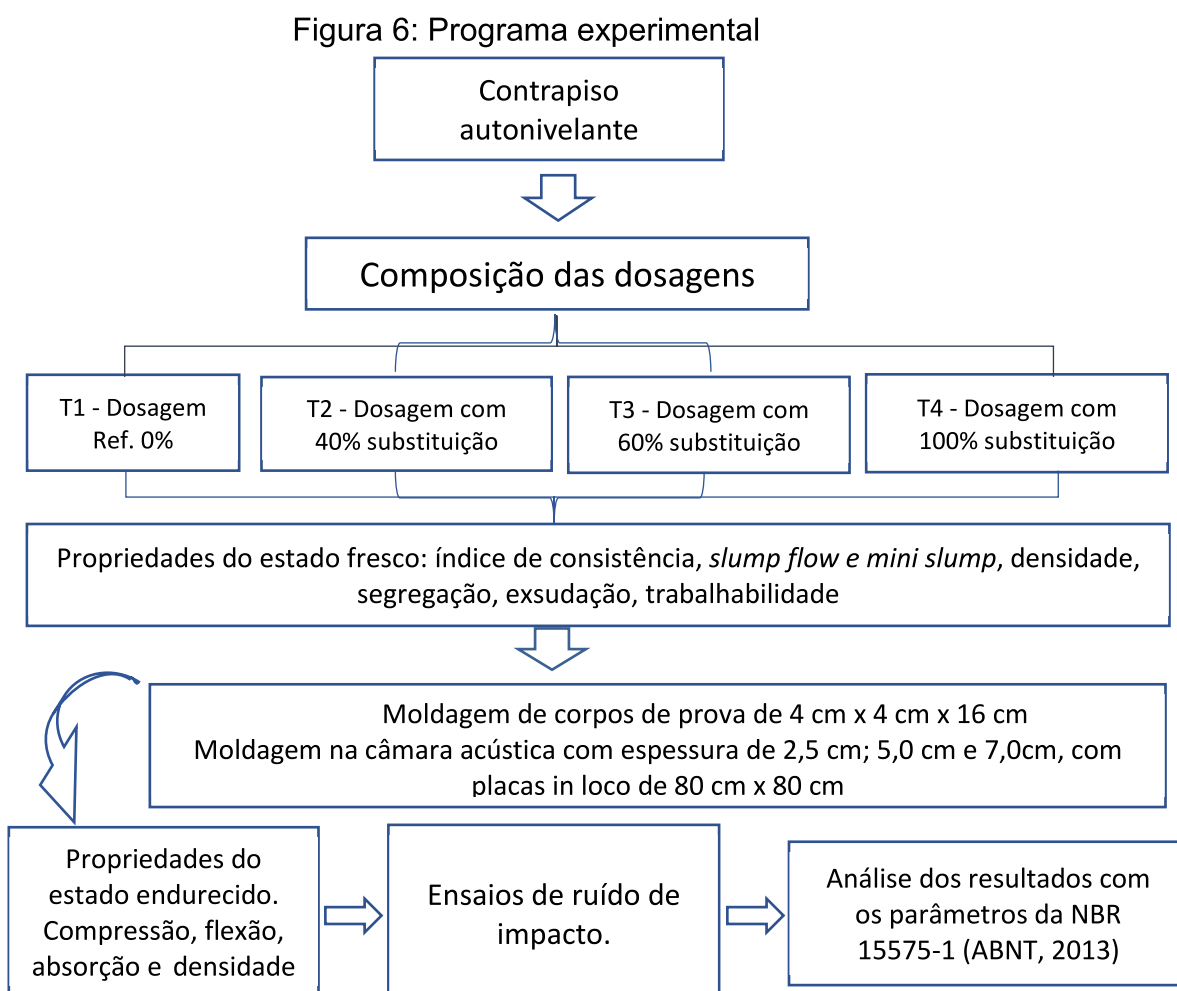
No que diz respeito aos níveis de desempenho acústico das edificações, a NBR 15575-3 estabelece os valores máximos de ruído, classificando cada nível para o desempenho do usuário, porém, obriga o atendimento mínimo à norma vigente por parte dos executores, reconhecendo que o nível mínimo da norma não é suficiente para prover um conforto ao usuário.

A forma correta de realizar as medições é conforme norma. Para Patrício (2002), é importante avaliar o isolamento dos sons de impacto em laboratório, pois os resultados são mais confiáveis se comparados às avaliações em campo, que sofrem com a interferência do próprio local.

No entanto encontramos diferenças básicas nos descritores em função do tipo de medição, se em campo ou em laboratório, do sistema completo ou somente do revestimento, dentro de um sistema de piso. Estes descritores são a forma de interpretar os sons de impactos, com finalidade da classificação do desempenho acústico ao ruído de impacto. Na norma ISO 717-2 encontramos o descritor $L'_{nT,W}$, que representa o nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado do piso, medido em campo, e também o descritor $L_{n,W}$ e sua descrição é, o nível de pressão sonora de impacto normatizado ponderado. Já para a ISO 10140-3 o descritor L_n é, nível de pressão sonora de impacto normatizado do piso com revestimento, e o descritor L_{n0} , nível de pressão sonora de impacto normatizado do piso sem revestimento. Neste sentido a ISO 16283-2 identificamos o descritor L'_{nT} , nível de pressão sonora de impacto padronizado do piso, medido em campo Tutikian *et al.* (2017).

3 MÉTODO

O programa experimental foi dividido em etapas, conforme pode ser visto na figura 6, as quais foram explicadas na sequência.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

- Etapa 1: revisão bibliográfica: consiste em todo o levantamento bibliográfico referente ao assunto que está sendo pesquisado;
- Etapa 2: levantamento e coleta de materiais disponíveis na região para o desenvolvimento deste experimento, limitando a área de abrangência do estudo e caracterizando os materiais (cimento, fíler, agregado miúdo, resíduo de EVA, aditivos, água);
- Etapa 3: estudos experimentais de dosagem dos contrapisos autonivelantes;

- Etapa 4: ensaios no estado fresco, índice de consistência, *slump flow*, *mini slump* e trabalhabilidade;
- Etapa 5: ensaios no estado endurecido, ensaio de resistência à compressão e resistência à tração na flexão, absorção total e densidade;
- Etapa 6: ensaios de desempenho acústico, ensaio de ruído de impacto.
- Etapa 7: análise dos resultados obtidos em laboratório, frente à norma de desempenho.

Este trabalho visa melhorar e qualificar o estudo com EVA, passando de um contrapiso convencional para contrapisos autonivelantes com substituição do agregado miúdo por frações de EVA. Para isso, foram realizadas três dosagens com EVA e avaliação de seus desempenhos na atenuação do ruído de impacto, comparando-os com os desempenhos apresentados pelo o contrapiso autonivelante de referência sem o uso do EVA. A figura 7 apresenta o formato do grão do EVA utilizado na dosagem do contrapiso autonivelante.

Figura 7: Imagem ilustrativa do formato do grão do EVA fino e EVA granular



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

O emprego do EVA na formulação original do contrapiso autonivelante exige estudos e adequações nas formulações para que se possa garantir a fluidez desejada. A substituição do agregado miúdo em 40%, 60% e 100% por EVA requer ajuste na estrutura do traço, nos teores dos materiais e nos teores do aditivo superplastificante. Tais adequações foram necessárias para manter as características e as propriedades do contrapiso autonivelante. Uma etapa tão importante quanto a etapa da dosagem é a que antecede os estudos e as análises em laboratório: a seleção dos materiais

constituintes. Essa etapa foi simplificada, pois se optou pela disponibilidade dos materiais da região, evitando, dessa forma, análise e estudos preliminares de compatibilização de materiais e dosagens.

Na sequência do estudo, no estado fresco e endurecido, foi realizada a análise da aplicabilidade dos contrapisos autonivelantes, seguindo os requisitos de qualidade específicos para esse tipo de material com base na revisão bibliográfica realizada. Para o estado endurecido, foi feita a moldagem de corpos de prova prismáticos de 4 cm x 4 cm x 16 cm e cilíndricos de 10 cm x 20 cm, para as idades de 14 dias, 28 dias e 91 dias. Com os corpos de prova moldados, realizaram-se os ensaios de densidade seca, absorção total, resistência à compressão e resistência à tração na flexão após 28 dias, espaço de tempo necessário para evitar a evaporação rápida da água, que pode provocar o surgimento de fissuras e proporcionar a hidratação dos compostos cimentícios para o ganho de resistência necessário; esse período é chamado de cura.

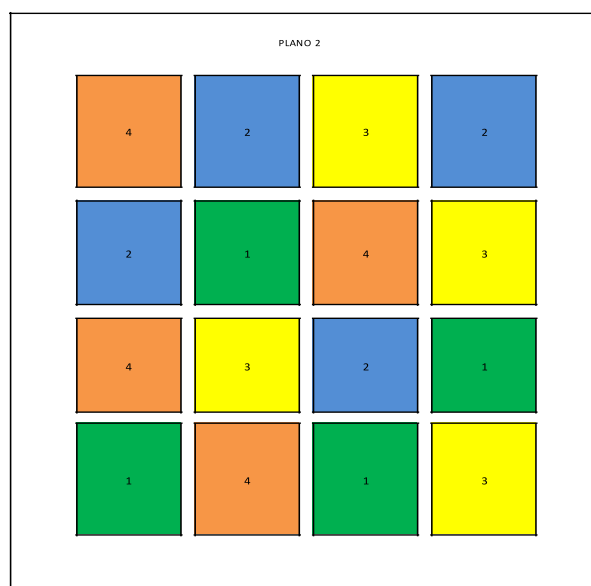
As medições de ruído de impacto dos contrapisos autonivelantes foram feitas de acordo com o método laboratorial e as normas vigentes.

A norma de referência para o ensaio foi a *ISO 10140-3: Laboratory measurement of sound insulation of building elements Part 3 – Measurement of impact sound insulation* (2010) e, para análise de resultados, a fim de determinar o nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado, a *ISO 717-2: Rating of sound insulation in building and of building elements Part 2 - Impact sound insulation* (ISO, 2004).

A câmara acústica é constituída de duas salas sobrepostas, uma emissora e outra receptora, com dimensões internas de 4,40 m x 4,30 m (área total de 18,92 m²) e pé direito de 3 m, obtendo-se um volume de 56,76 m³. As paredes são duplas, com gesso acartonado com espessura total de 40 cm e pintadas com tinta acrílica na cor branca. A laje em concreto que separa a sala receptora da sala emissora, na qual estava a fonte emissora durante os ensaios, é maciça, de concreto armado, com espessura de 12 cm.

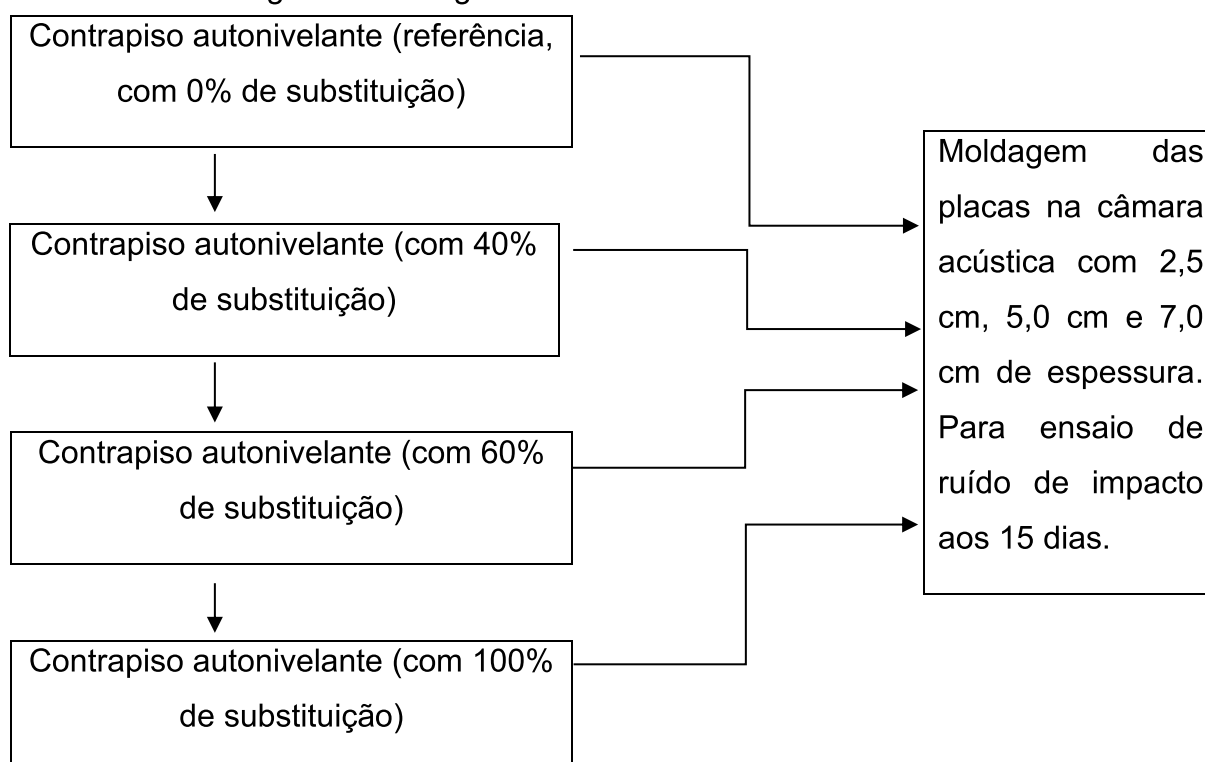
Para esse ensaio de desempenho acústico foram moldados na câmara acústica os contrapisos autonivelantes com 0% de EVA e com diferentes teores de EVA, 40%, 60% e 100%, com espessuras de 2,5 cm, 5,0 cm e 7,0 cm. As placas de contrapiso de 80 cm x 80 cm foram aplicadas diretamente na laje do laboratório e curadas por quinze dias. Para cada dosagem, foram distribuídas sobre a laje maciça de concreto quatro placas com 80 cm x 80 cm, conforme a figura 8 e 9.

Figura 8: Plano de distribuição sobre a laje de concreto das quatro placas de contrapiso a serem moldadas



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Figura 9: Fluxograma do desenvolvimento do estudo



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

3.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Para a aplicação adequada dos materiais utilizados, realizaram-se os ensaios de caracterização que foram apresentados na sequência.

2.7.5 Análise granulométrica

A análise granulométrica foi realizada em conformidade com as orientações contidas na norma *NBR NM 248: Agregados – determinação da composição granulométrica* (ABNT, 2003).

2.7.6 Massa específica

A massa específica da areia foi determinada pelo método do picnômetro, de acordo com os procedimentos definidos na *NBR NM 52: Agregado miúdo* (ABNT, 2009).

A massa específica do cimento foi determinada através do método do frasco volumétrico de Le Chelier, em conformidade com a *NBR 16605: Cimento Portland e outros materiais em pó – determinação da massa específica* (ABNT, 2017).

2.7.7 Massa unitária

A massa unitária dos materiais utilizados foi definida através do método do recipiente cilíndrico em conformidade as prescrições estabelecidas na norma *NBR NM 45: Agregados – determinação da massa unitária e do volume de vazios* (ABNT, 2006).

3.2 AGLOMERANTE

O aglomerante selecionado foi o cimento CII F 40. Essa escolha foi pautada pela granulometria desse material, que apresenta uma finura adequada em relação à dos demais cimentos, o que proporciona menor escoamento e maior viscosidade da mistura, pelo ganho de resistência inicial, e baixa variabilidade em seus resultados em 28 dias.

Uma amostra de cimento de 200 kg foi coletada e armazenada em recipientes plásticos fechados até a data dos estudos para que as características físicas e químicas fossem mantidas.

A tabela 2 apresenta a composição química e física do cimento utilizado durante os meses em que os estudos foram realizados. Os dados exibidos são do fabricante.

Tabela 2: Composição química e física do cimento

	Teores (%)				Finura (%)		Blaine	Água de	Tempo Pega		Exp. a	Resistência à Compressão (MPa)			
	PF	MgO	SO ₃	RI	#200	#325	(cm ² /g)	cons. (%)	Início (min)	Fim (min)	quente (mm)	1 Dia	3 Dias	7 Dias	28 Dias
Limites de Norma	≤ 12,5	N/A	≤ 4,5	≤ 7,5	≤ 10,0	N/A	≥ 2800	N/A	≥ 60	≤ 600	≤ 5,0	N/A	≥ 15,0	≥ 25,0	≥ 40
17/08/2020	5,6	6,3	3,3	1,1	0,0	0,1	4520	30,8	255	320	0,0	24,0	35,4	40,4	48,4
18/08/2020	5,6	6,6	3,2	1,1	0,0	0,2	4750	31,0	235	295	0,5	24,7	35,6	41,9	48,1
19/08/2020	5,7	6,5	3,5	1,1	0,0	0,2	4720	30,2	260	330	0,0	23,3	34,7	40,3	48,1
20/08/2020	5,9	6,2	3,2	1,2	0,0	0,2	4690	30,4	260	325	0,5	24,5	35,7	41,0	48,1
21/08/2020	5,8	6,3	3,4	1,1	0,0	0,4	4490	30,2	260	330	0,0	23,1	34,2	39,8	49,3
Média	5,72	6,38	3,32	1,12	0,00	0,22	4634	30,52	254,00	320,00	0,20	23,92	35,12	40,68	48,40
Desvio Padrão	0,13	0,16	0,13	0,04	0,00	0,11	120,12	0,36	10,84	14,58	0,27	0,71	0,65	0,80	0,52
Mínimo	5,60	6,20	3,20	1,10	0,00	0,10	4490	30,20	235,00	295,00	0,00	23,10	34,20	39,80	48,10
Máximo	5,90	6,60	3,50	1,20	0,00	0,40	4750	31,00	260,00	330,00	0,50	24,70	35,70	41,90	49,30

Fonte: Boletim de qualidade de ensaios de cimento - Votorantim Cimentos (2020).

A tabela 3 apresenta os resultados obtidos, através de ensaios realizados pelo autor, em laboratório, para a amostra de cimento.

Tabela 3: Análise do cimento

Características	Unidade	Valor	Observações
Densidade	g/cm ³	3,06	-
Massa Unitária	g/cm ³	1,20	-
Cor	-	-	Cinza claro

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

3.3 ADIÇÃO – FÍLER CALCÁRIO

A substituição do cimento por finos foi realizada com correção da massa específica por meio da adição de fíler calcário.

Na determinação do traço de referência, foi utilizado o fíler calcário, tendo em vista que vários autores já empregaram esse material para produção de concretos autoadensáveis e contrapisos autonivelantes (LIBRE; KHOSHNAZAR; SHEKARCHI, 2010; ONISHI; BIER, 2010; RIZWAN; BIER, 2012). A tabela 4 apresenta os resultados obtidos, através de ensaios realizados pelo autor, em laboratório, para amostra de fíler.

Tabela 4: Análise do fíler

Características	Unidade	Valor	Observações
Densidade	g/cm ³	2,55	-
Massa Unitária	g/cm ³	1,31	-
Cor	-	-	Branco

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

3.4 ADITIVOS QUÍMICOS

No desenvolvimento deste estudo, foram utilizados quatro aditivos químicos. O primeiro é um superplastificante com base química de policarboxilato; o segundo é o modificador de viscosidade, também conhecido como VMA; o terceiro aditivo é um polifuncional para redução de água; e o quarto é um incorporador de ar. A seguir, as tabelas 5, 6, 7 e 8 trazem os dados técnicos referentes aos aditivos mencionados fornecidos pelo fabricante.

Tabela 5: Dados técnicos do aditivo superplastificante

Características	Unidade	Valor	Observações
Densidade	g/cm ³	1,10	-
pH	-	5,50	-
Teor de sólidos	%	37	-
Cor	-	-	Amarelo claro a castanho

Fonte: MC-Bauchemie (2020).

Tabela 6: Dados técnicos do aditivo modificador de viscosidade

Características	Unidade	Valor	Observações
Densidade	g/cm ³	1,00	-
pH	-	6,40	-
Teor de sólidos	%	0,74	-
Cor	-	-	Transparente

Fonte: MC-Bauchemie (2020).

Tabela 7: Dados técnicos do aditivo polifuncional

Características	Unidade	Valor	Observações
Densidade	g/cm ³	1,12	-
pH	-	6,60	-
Teor de sólidos	-	25,60	-
Cor	-	-	Marrom

Fonte: MC-Bauchemie (2020).

Tabela 8: Dados técnicos do aditivo incorporador de ar

Características	Unidade	Valor	Observações
Densidade	g/cm ³	1,00	-
pH	-	10	-
Teor de sólidos	-	1,93	-
Cor	-	-	Incolor a amarelo claro

Fonte: MC-Bauchemie (2020).

3.5 ÁGUA

Para a condução deste estudo, foi empregada água potável da rede de abastecimento do município de São Leopoldo/RS. Em se tratando de água da rede pública, a norma NBR 15900-1, no seu item 3.2, isenta a água de ensaios de qualidade (ABNT, 2009).

3.6 AGREGADO MIÚDO

Neste estudo, foi empregado agregado miúdo de origem natural, o qual passou por processo de dragagem no leito do rio Jacuí / RS. Essa areia de origem quartzosa foi recebida em um caminhão basculante no pátio da universidade e posteriormente foi seca e armazenada em tonéis plásticos com tampa até o momento da sua utilização.

As tabelas 9 e 10 apresentam os resultados, obtidos através de ensaios realizados pelo autor em laboratório, para amostra de areia natural.

Tabela 9: Características da areia natural -1

Características	Unidade	Valor	Observações
Massa específica SSS	g/cm ³	2,61	-
Massa unitária	-	1,58	-
Módulo de finura	-	1,64	-
D.M.C.	mm	1,2	-
Cor	-	-	Amarelo

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Tabela 10: Características da areia natural-2

Características	Unidade	Valor	Observações
Massa específica SSS	g/cm ³	2,62	-
Massa unitária	g/cm ³	1,54	-
Módulo de finura	-	2,45	-
D.M.C.	mm	4,8	-
Cor	-	-	Amarelo

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

3.7 RESÍDUO DE EVA

A escolha do resíduo de EVA segue a linha de pesquisa de alguns autores, entre eles Tutikian *et al.* (2017), que apresentaram o EVA como um resíduo com potencial para atenuação de ruído de impacto em edificações residenciais. Este resíduo também é empregado como “brita leve” nas edificações podendo ser encontrado em alguns processos da indústria calçado.

No processo de produção de calçados, as placas de EVA são cortadas, gerando uma grande quantidade de resíduo para o setor calçadista da região do Vale do Sinos/RS. Uma parte é reaproveitada pela própria empresa calçadista, e a outra é descartada. E é justamente essa parte descartada que foi utilizada no desenvolvimento deste trabalho.

As tabelas 11 e 12 apresentam os resultados obtidos, através de ensaios realizados pelo autor em laboratório, para as amostras de resíduo de EVA fino e granular.

Tabela 11: Análise do EVA – Fino

Características	Unidade	Valor	Observações
Massa Unitária	g/cm ³	0,271	-
Módulo de finura	-	1,29	-
D.M.C.	mm	1,2	-
Cor	-	-	Diversas

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Tabela 12: Análise do EVA - Granular

Características	Unidade	Valor	Observações
Massa Unitária	g/cm ³	0,151	-
Módulo de finura	-	4,77	-
D.M.C.	mm	4,8	-
Cor	-	-	Diversas

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Para Metha e Monteiro (2008), os agregados que possuem uma massa unitária inferior a 1,12 g/cm³ são considerados leves, que geram uma minimização no peso exercido pelo contrapiso sobre a laje de concreto. Como o EVA melhora o desempenho acústico e possui uma massa unitária que o caracteriza como agregado leve, foi feita uma análise da redução do peso do contrapiso.

3.8 EXECUÇÃO DAS PLACAS DO CONTRAPISO AUTONIVELANTE

O contrapiso autonivelante de referência foi composto por cimento Portland, adição de fíler, areia natural, aditivo químico e água. Os demais traços tiveram substituição parcial da adição de finos (areia natural) por resíduo de EVA, mantendo os demais materiais.

Para as placas de contrapiso autonivelante, foi necessária a confecção de fôrmas em madeira, produzidas no próprio laboratório, para posterior preenchimento. Essas fôrmas mediam 80 cm x 80 cm de comprimento e de largura, respectivamente, e espessuras de 2,5 cm, 5,0 cm e 7,0 cm. Para sua confecção, foi empregada madeira de eucalipto, com as laterais removíveis para facilitar a desforma. Após a confecção das fôrmas (figura 10), elas foram distribuídas sobre a laje emissora (figura 11), conforme plano de distribuição.

Figura 10: Confeção de fôrmas em madeira para as três espessuras utilizadas



Fonte: Foto do autor (2019).

Figura 81: Distribuição das fôrmas sobre a laje de concreto, com sua identificação



Fonte: Foto do autor (2019).

3.8.1 Ensaios no estado fresco

O preparo dos contrapisos autonivelantes foi conduzido de forma similar ao procedimento descrito pela norma NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – preparo da mistura e determinação do índice de consistência (ABNT, 2016). A mistura foi preparada em misturador de 200 litros e a conferência do índice de consistência foi feita antes do uso do aditivo superplastificante. Este ensaio foi realizado como forma de padronizar a conferencia inicial do contrapiso autonivelante para produção em centrais dosadoras.

Para controlar a consistência após o uso do superplastificante, foi utilizado o ensaio de *slump flow test*, que utiliza o cone de Abrams, uma placa base de 1000 mm

x 1000 mm e régua. Esse ensaio consiste em preencher o cone, removê-lo num intervalo entre 2 e 4 segundos, para, então, deixar o contrapiso autonivelante se espalhar com ação do próprio peso, este processo deve ser realizado em até um intervalo de tempo menor que um minuto. Para a determinação do espalhamento, foram realizadas duas medidas ortogonais do diâmetro do contrapiso autonivelante, obtendo-se uma média entre elas.

O espalhamento na mesa de consistência e o *slump test* são de grande utilidade para avaliar a dosagem do aditivo e para verificar visualmente os sinais de segregação e exsudação das misturas em função dos teores de finos, de água e da quantidade de aditivo utilizada na mistura, testando o comportamento das propriedades do contrapiso autonivelante no estado fresco, utilizando este procedimento como forma de avaliação visual das dosagens.

Neste trabalho, a escolha das misturas e dos teores ajustados do aditivo superplastificante para os contrapisos autonivelantes foi feita com base em um espalhamento SF 2 (660 mm a 750 mm), conforme a norma *NBR 15823-2: Concreto autoadensável Parte 2 - determinação do espalhamento, do tempo de escoamento e do índice de estabilidade visual – Método do cone de Abrams* (ABNT, 2017), ou com base em *mini slump* de 240 mm, antes e após o uso do superplastificante, conforme a bibliografia pesquisada após o uso do superplastificante (para Georgin *et al.* (2008), espalhamento entre 250 mm e 270 mm; para Katsiadramis, Sotiropoulou e Pandermarakis (2010), espalhamento entre 240 mm e 260 mm; e para Rizwan e Bier (2012), espalhamento igual ou superior a 260 mm. No caso do ensaio de índice de consistência inicial utilizamos como referência igual ou superior a 260 mm. Também, foram levadas em consideração as misturas com melhor comportamento no estado fresco, ou seja, aquelas que se comportaram de modo coeso sem sinais de segregação ou exsudação e que apresentaram um bom aspecto visual.

Nessa etapa também foi feita a medição da densidade no estado fresco porque a adição escolhida foi um agregado leve que impacta diferentemente a densidade do material em relação ao traço de referência. Esse ensaio foi conduzido em conformidade com a norma *NBR13278: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado* (ABNT, 2005). O ensaio consistiu em preencher com argamassa um recipiente cilíndrico de volume conhecido formando três camadas com altura praticamente iguais, sendo que cada camada foi adensada com vinte golpes com a

ajuda de uma espátula metálica na posição vertical. Após o preenchimento e o adensamento, realizaram-se três quedas do recipiente a uma altura de 3 cm, sem deixar vazios entre o recipiente e a argamassa. Rasou-se o recipiente com a espátula, após verificar o peso do recipiente mais a argamassa, para posterior cálculo da determinação da densidade no estado fresco. Como a pesquisa envolve um contrapiso autonivelante, a etapa de adensamento foi desconsiderada.

3.8.2 Ensaio no estado endurecido

No estado endurecido, foram avaliadas a densidade aparente e a resistência à tração na flexão e à compressão e foi feita uma inspeção visual a fim de analisar o aparecimento de fissuras nas placas moldadas e de estimar o desempenho acústico.

Os ensaios de resistência à tração na flexão e à compressão, assim como a moldagem dos respectivos corpos de prova e a cura, seguiram as recomendações da norma *NBR 13279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da resistência à tração na flexão e à compressão* (ABNT, 2005). Como este estudo trata do emprego de contrapiso autonivelante, foi dispensado o procedimento que aborda o adensamento previsto na norma técnica.

A ruptura dos corpos de prova foi realizada no laboratório do Instituto Tecnologia em Desempenho e Construção Civil – itt Performance, utilizando uma prensa universal hidráulica da marca EMIC, modelo DL 200, classe 1, de calibração com erro $\leq 5\%$. Empregando o aparato da prensa, o corpo de prova foi posicionado sobre os apoios e aplicada uma carga de 50 ± 10 N/s até a sua ruptura. Com o valor da carga aplicada e a fórmula disponível na norma NBR 13279 (ABNT, 2005), foi feito o cálculo para obtenção da resistência à tração na flexão.

Para o ensaio de resistência à compressão, utilizou-se a mesma prensa empregada no ensaio de resistência na flexão. Posicionou-se um dos pedaços do corpo de prova rompido à tração na flexão para aplicar uma carga de 500 ± 50 N/s até a compressão da amostra; isso também foi realizado para o segundo pedaço de corpo de prova resultante da tração na flexão. Para o cálculo da resistência à compressão, foi feita a média aritmética das cargas obtidas.

No ensaio de densidade de massa aparente no estado endurecido, seguiram-se as recomendações da norma NBR 13280: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - determinação da densidade de massa aparente no

estado endurecido (ABNT, 2005). Esse ensaio consistiu na realização das medidas dos três corpos de prova e das suas respectivas pesagens. A média aritmética dos resultados coletados e o cálculo resultaram na densidade de massa aparente, em conformidade com as recomendações da norma NBR 13281: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – requisitos (ABNT, 2005).

A avaliação visual das placas de 0,64 m² pode atestar o surgimento ou não de fissuração e, no caso de ocorrência de fissuras, elas foram quantificadas quanto ao seu tamanho e à sua forma geométrica, determinando-se, assim, o seu aproveitamento ou não no estudo de acústica. As placas quebradas ou fissuradas foram refeitas e foi avaliado o tipo de ocorrência que determinou as quebras ou fissuras, a fim de que fosse possível realizar um ajuste na formulação, visando evitar o aparecimento de novas fissuras.

3.8.3 Ensaio de ruído de impacto

A norma utilizada para esse ensaio foi a *ISO 10140-3: Laboratory measurement of sound insulation of building elements Part 3 - measurement of impact sound insulation* (2010), que solicita uma amostra para ensaio maior ou igual a 10 m². Em estudos realizados por D'Alessandro, Asdrubali e Baldinelli (2014), empregaram-se amostras de 1 m² e, neste trabalho, optou-se por moldar as placas direto na sala acústica com a medida de 0,64 m², a fim de minimizar o tempo das medições e reduzir o gasto de materiais. Com o uso da amostra em tamanho reduzido, não há possibilidade de obtenção de um valor absoluto do nível de ruído de impacto normatizado ponderado, permitindo-se, apenas, a análise comparativa.

Os equipamentos utilizados no laboratório do itt Performance para os ensaios de ruído de impacto foram os seguintes:

- analisador sonoro modelo ACOEM 01 db/FUSION (Figura 12) e microfone GRAS/40AO e calibrador acústico Brüel & Kjaer/TYPER 4231, posicionados na sala receptora a 1,5 m do chão. O calibrador é acoplado a um controle remoto, que serve para auxiliar na realização do ensaio;

Figura 92: Analisador sonoro modelo ACOEM 01 dB/FUSION



Fonte: Foto do autor (2020).

- Termohigrômetro Novus / LOGOBOX-RHT-LCD
- *Tapping machine* (máquina de impactos) ACOEM 01 dB/TM-01 (Figura 13), padronizada e posicionada na sala emissora;

Figura 13: *Tapping machine*



Fonte: Foto do autor (2020).

As medições seguiram o sistema de medições acústicas da norma ISO 10140-3/2010, composto por um aparelho *Tapping machine* instalado na sala emissora no andar superior, e por um analisador, o qual foi calibrado por um calibrador sonoro e instalado na sala receptora no andar inferior.

Para a realização desses ensaios na câmara acústica do itt Performance, foi feita a medição das condições climáticas da câmara, através de um analisador climático Termohigrômetro Novus/LOGOBOX-RHT-LCD, obtendo-se a temperatura e a umidade relativa do ar.

As medições foram realizadas conforme procedimentos normativos, na câmara acústica do itt Performance que pode ser vista na figura 14.

Figura 14: Câmara acústica



Fonte: foto do autor (2020).

Para o cálculo do nível sonoro de impacto normatizados (L_n), foi empregada a seguinte equação 1, ou para o cálculo do nível sonoro de impacto padronizado foi empregada a equação 2:

Equação 1:

$$L_n = L_i + 10 \log \frac{A}{A_0} \text{ dB}$$

L_n = nível sonoro equivalente padronizado

L_i = nível sonoro de impacto

A_0 = área de absorção equivalente de referência (10 m²)

A = área de absorção da câmara no momento do ensaio, sendo obtida através da equação:

$$A = 0,16 \frac{V}{T}$$

V = volume do receptor

T = tempo de reverberação

Equação 2:

$$L'_{nT} = L_i - 10 \log \frac{T}{T_0}$$

L_i = nível sonoro de impacto

T = é o tempo de reverberação na câmara de recepção

T_0 = é o tempo de reverberação de referência na câmara

As etapas para a realização do ensaio foram as seguintes:

- do sistema de medição e calibração: para cada ensaio a ser realizado, uma verificação do sistema de medição, em 94 dB e com frequência de 1000 Hz.

A fim de garantir o controle de qualidade do processo de medição e a confiabilidade dos resultados, o desvio tolerado no laboratório é de até 0,5 dB em relação à calibração inicial;

- das placas e equipamentos: para evitar deslocamentos, as placas foram moldadas na câmara emissora, que fica localizada no segundo pavimento, e dispostas na câmara emissora em quatro posições diferentes – todas as placas possuem espessuras iguais para os quatro traços com teores iguais. Em duas posições, foi empregado microfone receptor, localizado na câmara receptora. Esse procedimento foi padronizado para todos os ensaios;
- desempenho acústico das placas: em cada ensaio foi medido, na câmara de recepção, o nível de pressão sonora de impacto (L_2). O amplificador sonoro que foi conectado à fonte dodecaédrica possibilitou medir o tempo de reverberação (T). No ensaio de ruído de impacto, utilizou-se um equipamento mecânico que contém cinco martelões de 0,5 kg cada, que caem a uma altura de 4 cm, emitindo 10 impactos por segundo e provocando a vibração da placa. Na câmara receptora, mediram-se o nível sonoro médio (L_2) e o tempo de reverberação. Essas leituras foram feitas em Hz e em dB e registradas em bandas de 1/3 de oitava, na frequência de 100 Hz a 5000 Hz;
- dos resultados: após a realização dos ensaios, unificaram-se os valores a fim de se determinar um único valor global por frequência, obtendo valores por bandas de frequência de L'_{nT} para ensaios em campo, ou de L_n para ensaios em laboratório. O nível de pressão sonora de impacto normalizado ponderado, medido em laboratório ($L_{n,w}$) expressa o desempenho acústico do sistema de piso em dB. Seguindo a norma ISO 717-2 (ISO, 2013), após ajustes dos desvios, o resultado é o ponto no qual a curva de referência intercepta a linha L_n de frequência em 500 Hz.

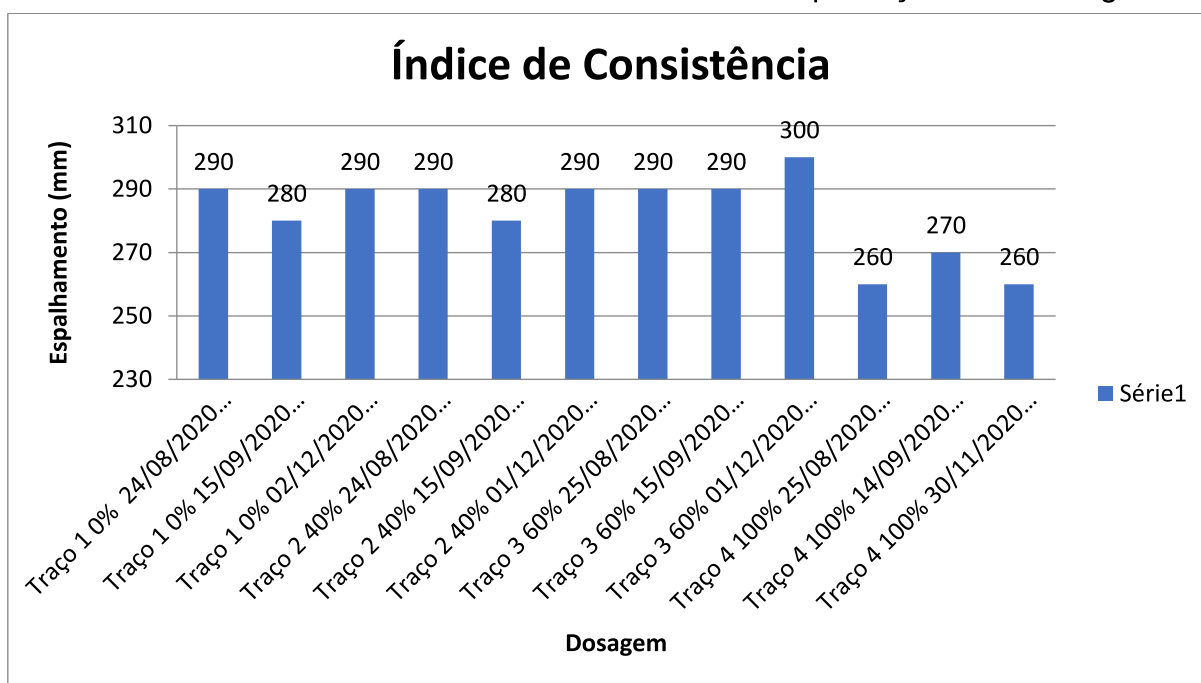
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

Neste capítulo, foram analisados os resultados do estudo realizado para o contrapiso autonivelante, nos estados fresco e endurecido e com nível de ruído de impacto normalizado ponderado.

4.1 ESTADO FRESCO

Os resultados dos ensaios no estado fresco estão divididos em índice de consistência, *mini slump* e *slump flow*. Os resultados dos três eventos realizados para aplicação das três espessuras na sala acústica do itt Performance são apresentados a seguir (Gráficos 1, 2 e 3).

Gráfico 1: Índice de consistência obtido durante as reproduções das dosagens

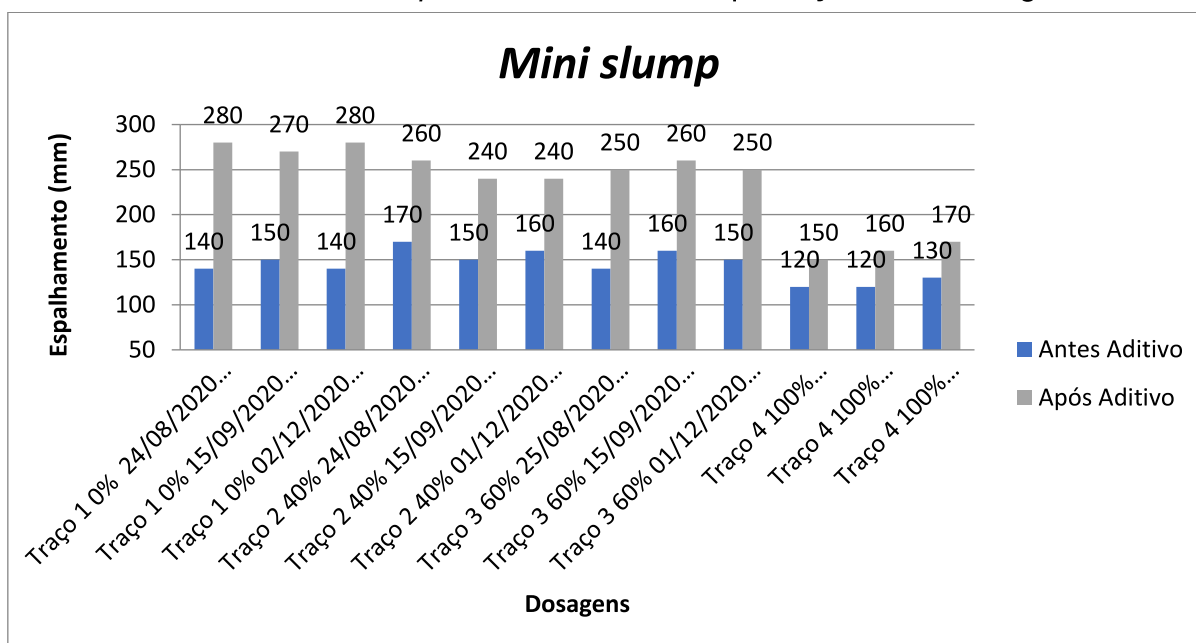


Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

O índice de consistência foi mantido dentro da tolerância entre os três eventos em mais ou menos 20 mm para a respectiva dosagem. Este ensaio foi realizado antes da adição do superplastificante como forma de controle inicial da dosagem, podendo ser utilizado como ponto de partida em centrais dosadoras.

Neste ensaio de índice de consistência as dosagens apresentaram índice de consistência entre 260 mm e 300 mm, recomendamos trabalhar com um índice de consistência de 300 mm, para melhor mistura, consistência adequada para o produto e trabalhabilidade compatível.

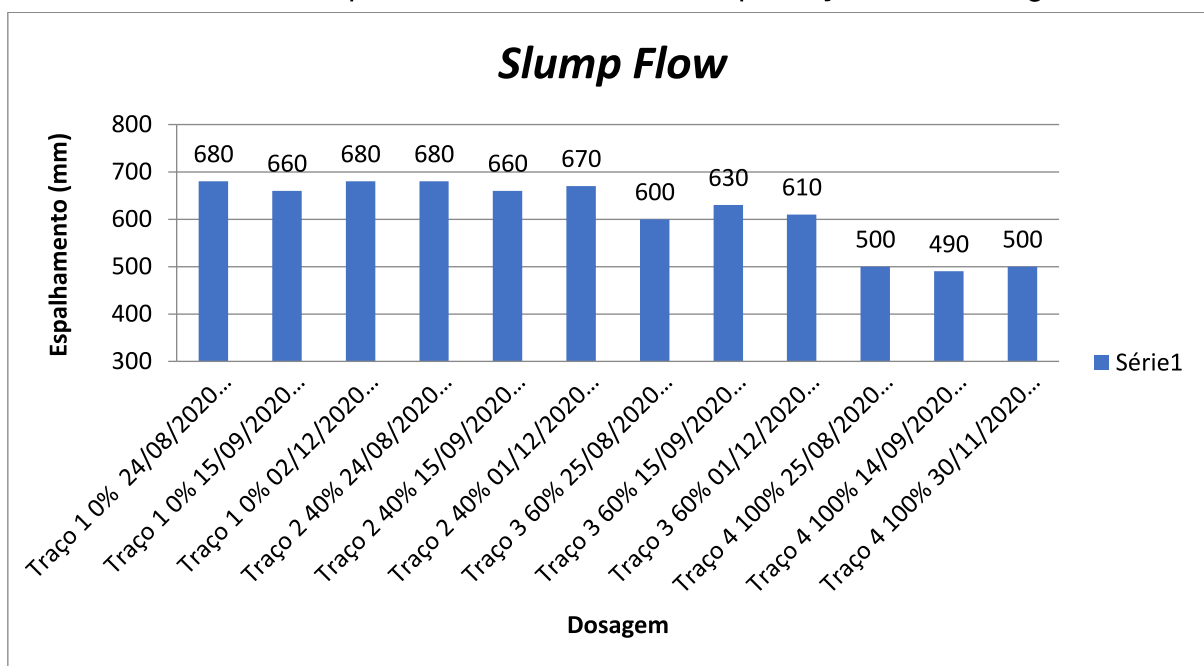
Para traço com 100% de EVA, não foi possível manter o índice de consistência inicial, pois a forma do grão lamelar do EVA utilizado na dosagem alterou a estrutura granular do contrapiso autonivelante, que segundo Arnold (2011), a diferença de comportamento é em virtude da mistura dos componentes com o resíduo que age de maneiras diferentes em razão da retenção de água e da forma dos grãos.

Gráfico 2: *Mini slump* obtido durante as reproduções das dosagens

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

No *mini slump*, percebe-se uma redução à medida que aumentou a dosagem do EVA na dosagem; devido à forma do grão lamelar, o contrapiso autonivelante reduziu sua fluidez, o que diminuiu seu espalhamento. A quantidade de material utilizada no ensaio também dificultou a avaliação da fluidez. Neste ensaio foi medido o *mini slump* antes e após adição do superplastificante, demonstrando graficamente o ganho da fluidez após o uso do superplastificante.

Para o método do ensaio do *mini slump*, ensaio não normatizado, o contrapiso autonivelante T1, T2 e T3 apresentaram 240 mm a 280 mm de espalhamento após o uso do aditivo superplastificante, já para o traço 4 com 100% do EVA, esse espalhamento ficou entre 150 mm e 170 mm, que representa uma redução no espalhamento de 58% em relação a dosagem sem o uso do EVA. Como foi dito anteriormente, as três primeiras dosagens atenderam ao que Katsiadramis, Sotiropoulou e Padermarakis (2010) propuseram para o método do *mini slump* em medir entre 240 mm e 260 mm.

Gráfico 3: *Slump Flow* obtido durante as reproduções das dosagens

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

O *slump flow* é um ensaio normatizado para concretos autoadensáveis. Ele foi empregado no contrapiso autonivelante para medir sua fluidez, pois contrapisos não dispõem de norma específica. Como o *slump flow* utiliza maior quantidade de material para a realização do ensaio, ele apresentou de melhor forma o espalhamento dos contrapisos estudados após o uso do superplastificante.

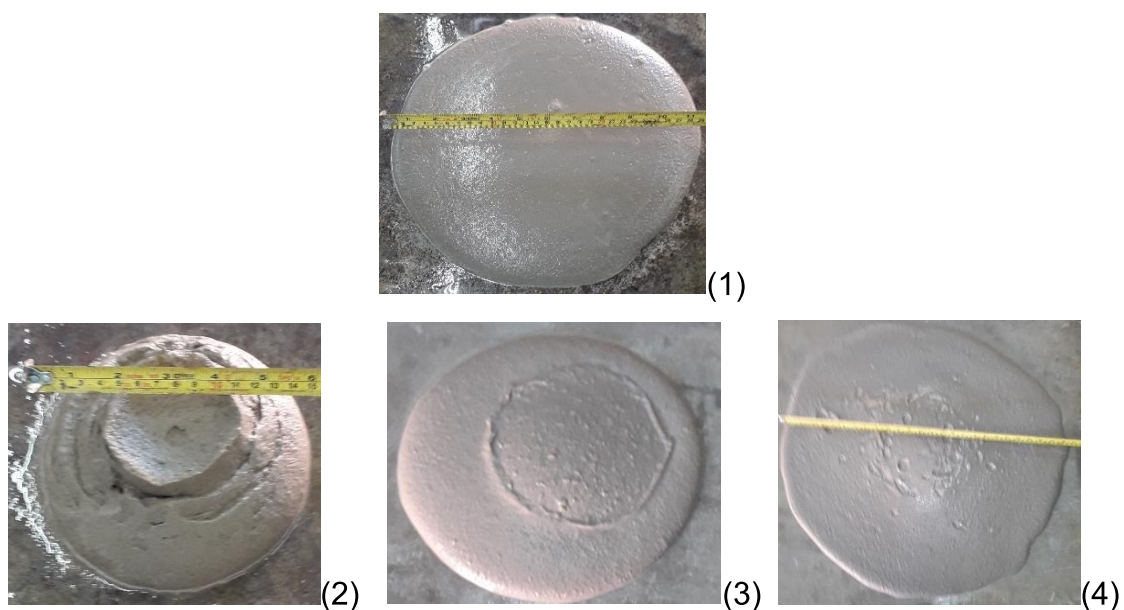
Neste ensaio do *slump flow*, foi observado um decréscimo com o aumento no teor de EVA na mistura na ordem de 25% em relação à dosagem com e sem EVA. Apesar dessa redução na fluidez, pode-se dizer que o contrapiso no estado fresco ficou fluido o suficiente, pois sua baixa densidade, o torna leve, facilitando sua aplicação e sua trabalhabilidade.

Para Bezerra (2002), a utilização de materiais de baixa densidade com característica esponjosa, como é o caso do EVA, um polímero derivado de petróleo, gera interferência na trabalhabilidade; já para Bastos (2002), o fato de a forma do grão ser lamelar em vez de arredondada no EVA, gera mudanças na trabalhabilidade e no aspecto da mistura, deixando-a mais travada e áspera, situação encontrada nas dosagens deste estudo. Para mantê-la trabalhável, em virtude da forma do grão e da absorção de água, é necessária uma maior quantidade de água, pois boa parte da água foi absorvida pelo agregado de baixa densidade (EVA), o que prejudica a trabalhabilidade e o desempenho mecânico. Segundo Borges (2015), conforme se

aumentava a substituição dos componentes da mistura, aumentavam-se as variações de consistência, de trabalhabilidade e de desempenho mecânico. Todas essas variações também foram percebidas neste trabalho.

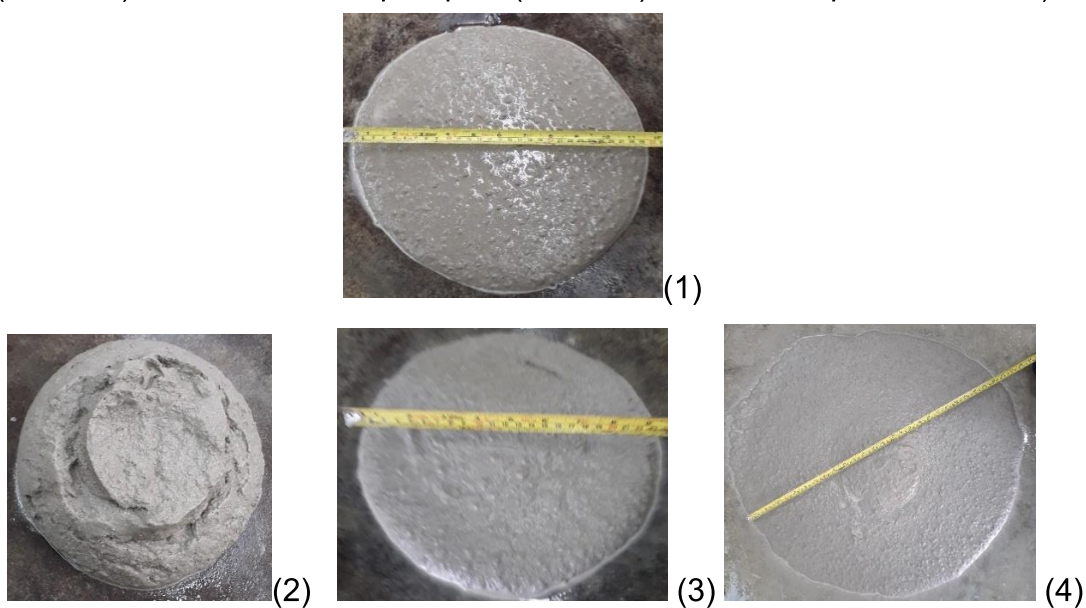
As figuras 15, 16, 17 e 18 expõem as diferenças de aspecto entre as dosagens e o seu comportamento conforme o percentual diminuía de substituição da areia no estado fresco. Será apresentado o comportamento das três medições realizadas no estado fresco: índice de consistência, *mini slump* antes e depois e *slump flow* para os Traços 1, 2, 3 e 4.

Figura 15: Traço 1 (foto 1: índice de consistência 290 mm; foto 2: *mini slump* antes (150 mm); foto 3: *mini slump* depois (280 mm); foto 4: *slump flow* 680 mm)



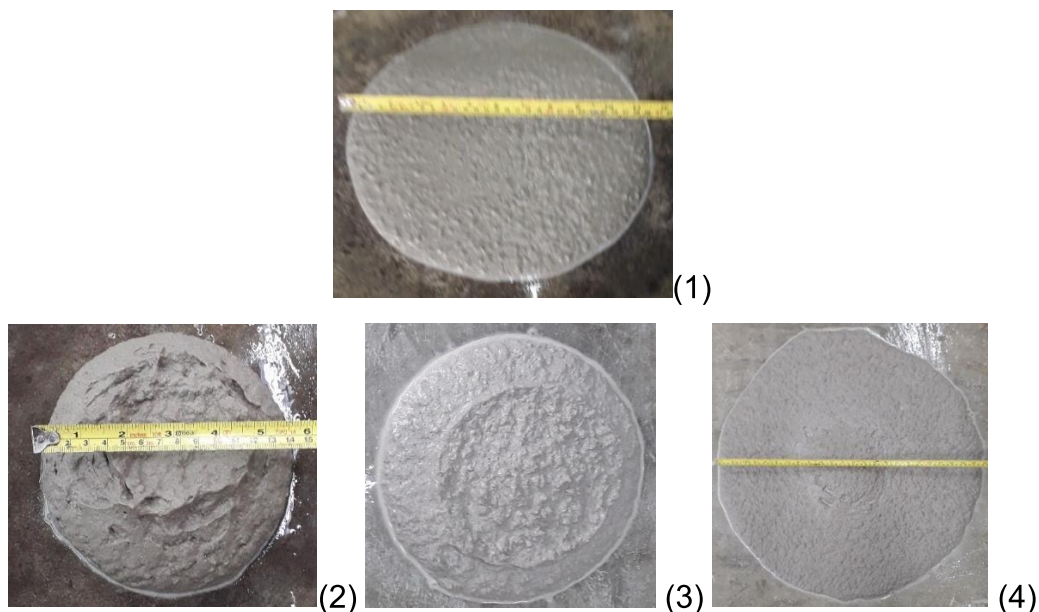
Fonte: Fotos do autor (2020).

Figura 16: Traço 2 (foto 1: índice de consistência 290 mm; foto 2: *mini slump* antes (150 mm); foto 3: *mini slump* depois (240 mm); foto 4: *slump flow* 670 mm)



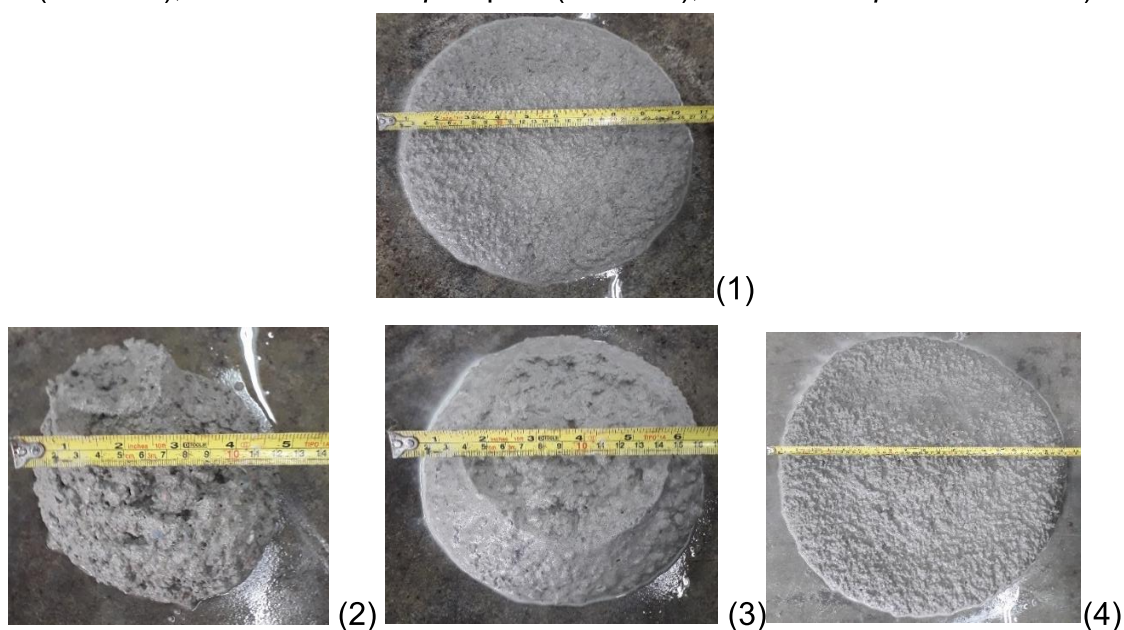
Fonte: Fotos do autor (2020).

Figura 107: Traço 3 (Foto 1: índice de consistência 290 mm; foto 2: *mini slump* antes (140 mm); foto 3: *mini slump* depois (260 mm); foto 4: *slump flow* 610 mm)



Fonte: Fotos do autor (2020).

Figura 18: Traço 4 (foto 1: índice de consistência 260 mm; foto 2: *mini slump* antes (120 mm); foto 3: *mini slump* depois (150 mm); foto 4: *slump flow* 500 mm)



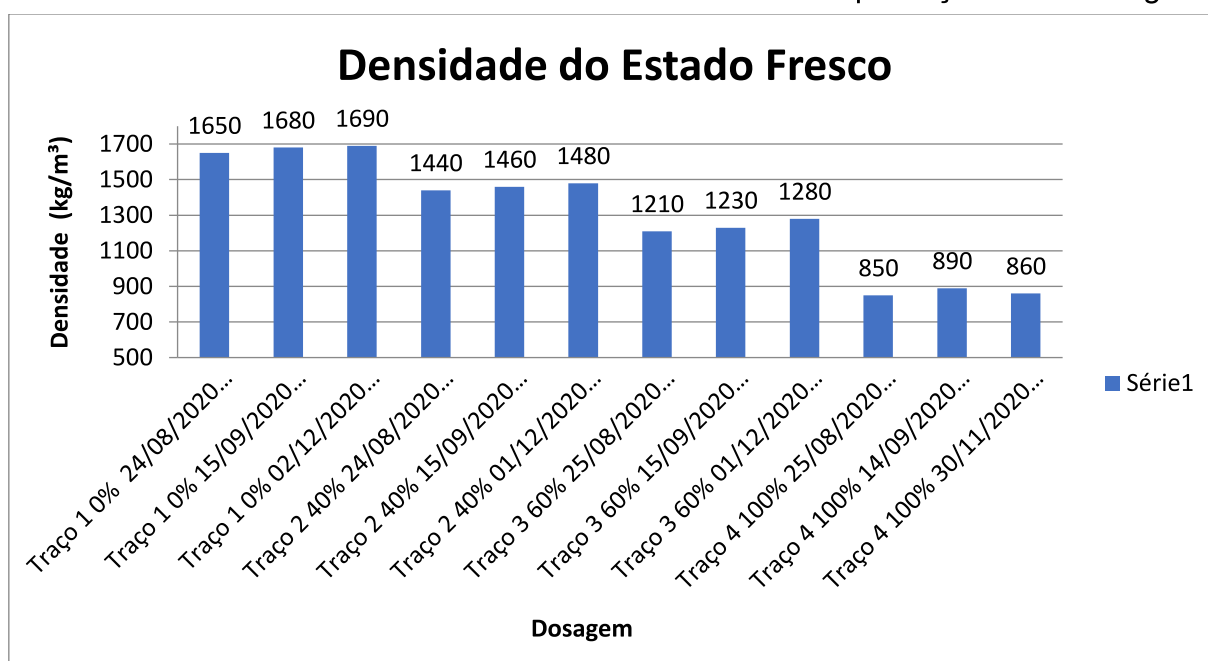
Fonte: Fotos do autor (2020).

Nota-se que o aspecto foi alterado visualmente e o espalhamento das dosagens não ocorreu de forma uniforme, principalmente na dosagem de 100% de EVA, que teve uma redução significativa no espalhamento da mistura em relação à dosagem de referência.

4.1.1 Densidade do estado fresco

Para analisar a densidade do estado fresco, apresenta-se o gráfico 4 com os resultados. Observou-se uma pequena variação na densidade entre os traços para os três dias de repetição das dosagens em função da variação das espessuras executadas. Dentro dessa normalidade, esse processo ocorreu em diferentes dias e períodos. Também foi possível perceber que, conforme foi realizada a substituição da areia por EVA, a densidade da mistura foi diminuindo em 13%, 15% e 30%, para 40%, 60% e 100%, respectivamente.

Gráfico 4: Densidade do estado fresco obtido durante as reproduções das dosagens



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

O traço 1 de referência com 0% de substituição apresentou maior densidade no estado fresco, e o traço 4 com 100% EVA, menor densidade. Essa remoção total do agregado natural areia apresentou uma densidade de 48% menor por metro cúbico que a do contrapiso autonivelante do traço 1, possibilitando maior esbeltez para estruturas de concreto armado e, conseqüentemente, maior redução de custo da obra, visto que há uma diminuição do carregamento que a estrutura deve suportar, considerando um material leve para a construção civil, como mencionado por Carasek (1996). Deste modo, o contrapiso autonivelante torna-se mais leve que a água, a qual tem uma densidade de 1000 kg/m³.

Melo (2007) afirma que, quanto menor a densidade aparente do contrapiso, menor será a resistência dos compósitos e maior será a existência de espaços vazios na dosagem, os quais influenciam positivamente no isolamento acústico.

4.2 ESTADO ENDURECIDO

Na sequência serão apresentados os gráficos dos resultados obtidos no estudo endurecido dos corpos de prova moldados. Com a argamassa no estado fresco, realizou-se a moldagem de corpos de prova (4 cm x 4 cm x 16 cm) para ruptura à tração na flexão e à compressão axial da argamassa no estado endurecido, conforme figura 19.

Figura 19: Moldagem dos corpos de prova



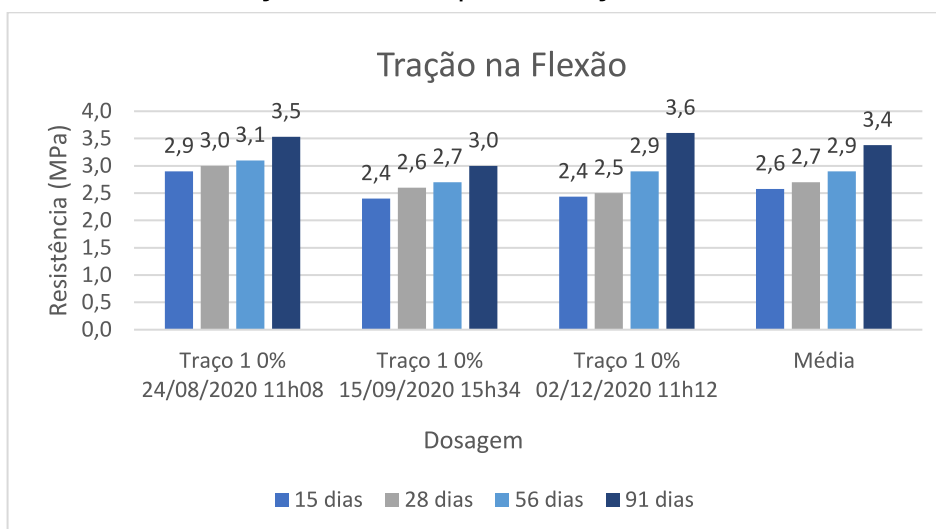
Fonte: Foto do autor (2020).

4.2.1 Resistência à tração na flexão

Neste subcapítulo, serão apresentados de forma gráfica os resultados obtidos no ensaio com idades de 15 dias que coincidem com o dia do ensaio na acústica; as demais idades servem para o controle e o conhecimento evolutivo com o passar do tempo.

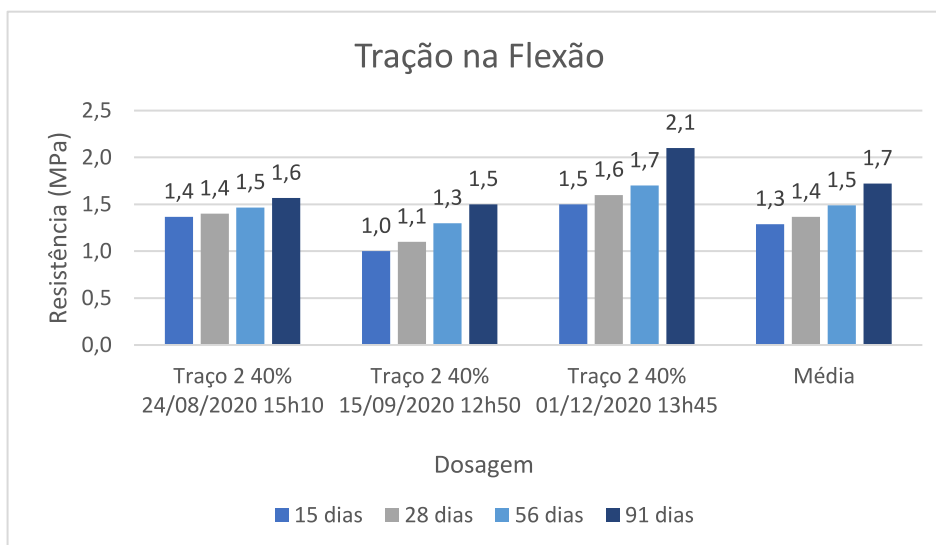
A resistência à tração na flexão dos corpos de prova moldados está apresentada nos gráficos 5, 6, 7 e 8. Nota-se que os resultados não apresentaram variação significativa entre os dias das dosagens em laboratório.

Gráfico 5: Tração na flexão para o traço 1 com 0% de EVA



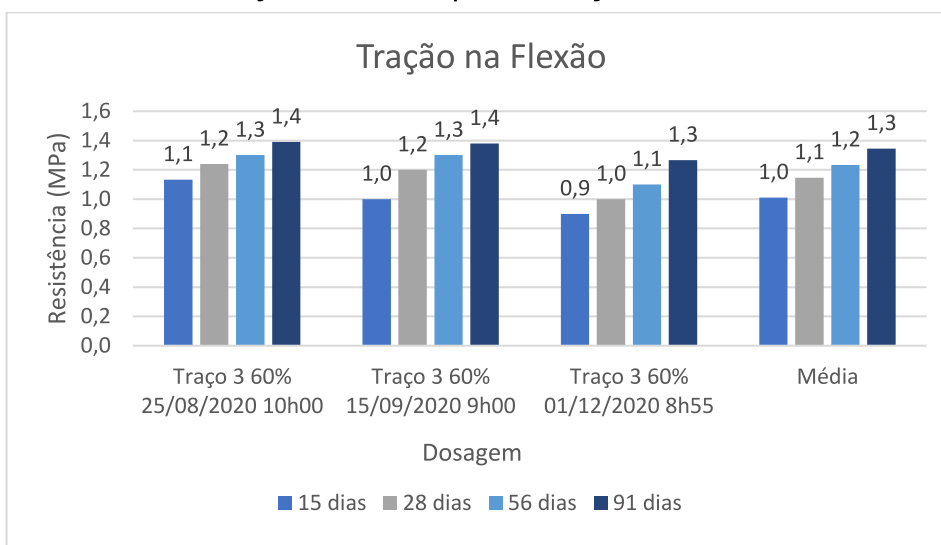
Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Gráfico 6: Tração na flexão para o traço 2 com 40% de EVA



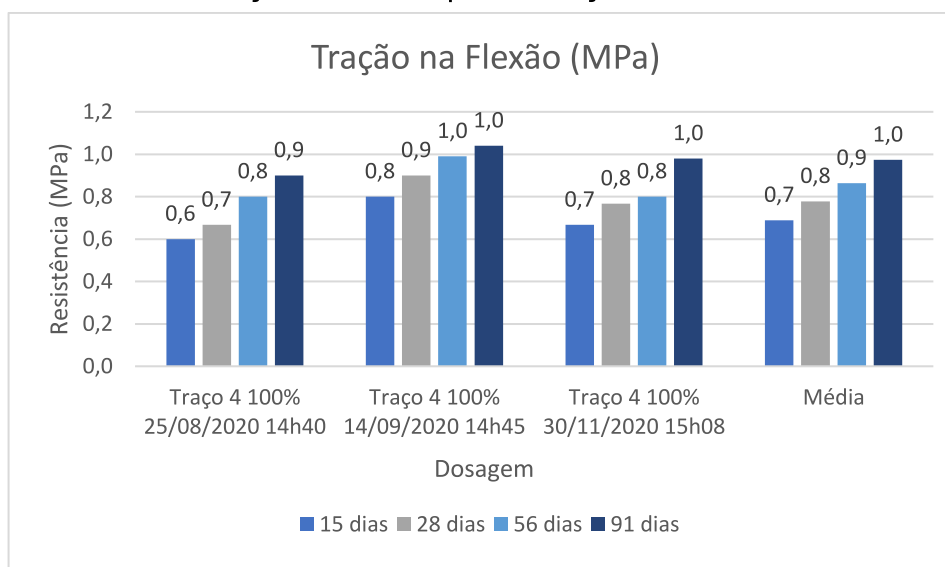
Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Gráfico 7: Tração na flexão para o traço 3 com 60% de EVA



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

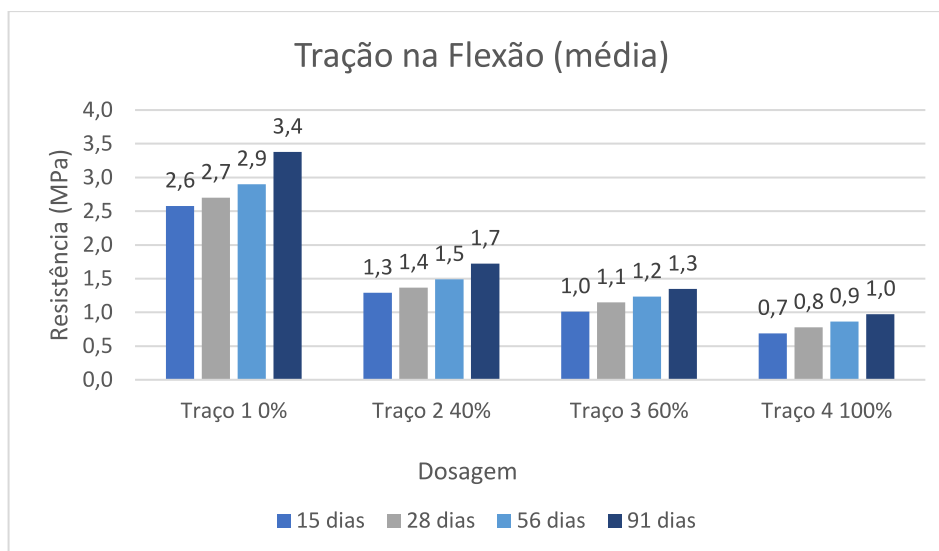
Gráfico 8: Tração na flexão para o traço 4 com 100% de EVA



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Verifica-se que, na medida em que o teor de substituição aumenta a resistência à tração na flexão diminuiu, o que também foi observado por Borges (2015) em estudo produzido a partir de materiais reciclados. O gráfico 9 mostra a média aritmética da resistência à tração na flexão para todos os traços.

Gráfico 9: Média aritmética da resistência à tração na flexão dos traços para idade de controle



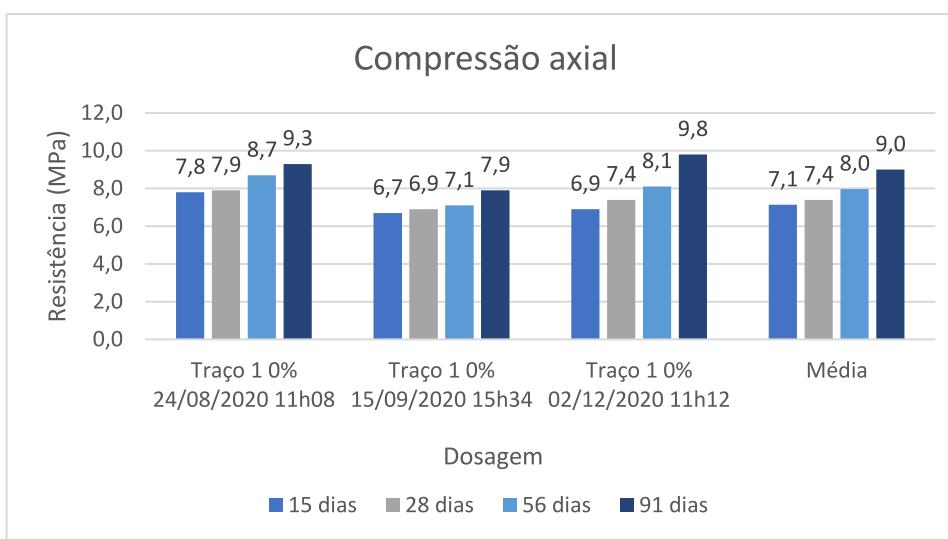
Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Analisando os resultados médios (gráfico 9), observa-se que o traço de referência apresentou o melhor desempenho, e o traço com 100% de substituição do agregado miúdo areia, o menor resultado à tração na flexão. Portanto, o traço 1 está 48% mais resistente que o traço 2, 59% mais resistente que o traço 3, e 70% que o traço 4. A perda na resistência é significativa para os traços com substituição, mesmo que a quantidade de cimento seja igual, na idade de controle de 28 dias.

4.2.2 Resistência à compressão axial

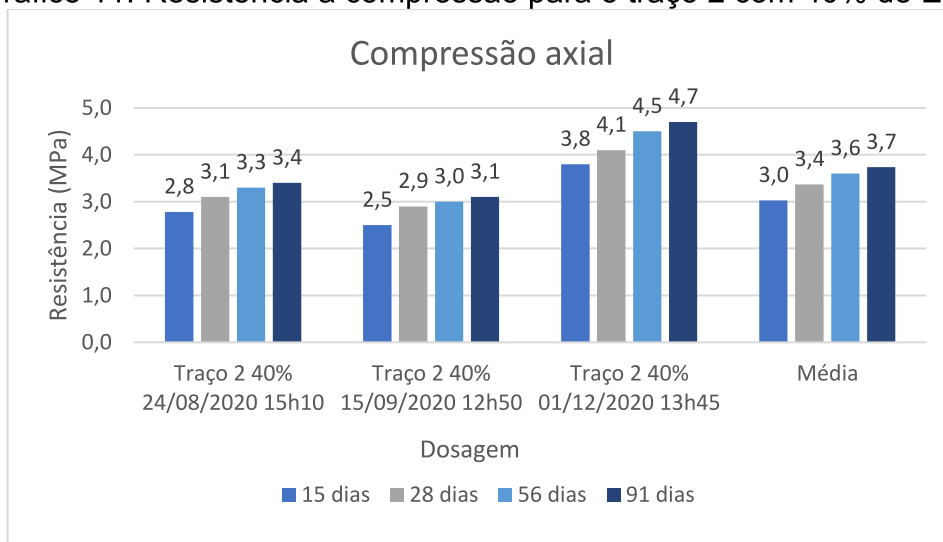
A ruptura à compressão axial apresenta o mesmo desempenho que a resistência à tração na flexão; portanto, à medida que se realizou a substituição nos traços, à resistência à compressão decresceu. Nos gráficos 10, 11, 12 e 13 nota-se a variação entre os dias de realização das dosagens e também o crescimento da resistência com o passar do tempo.

Gráfico 10: Resistência à compressão para o traço 1 com 0% de EVA



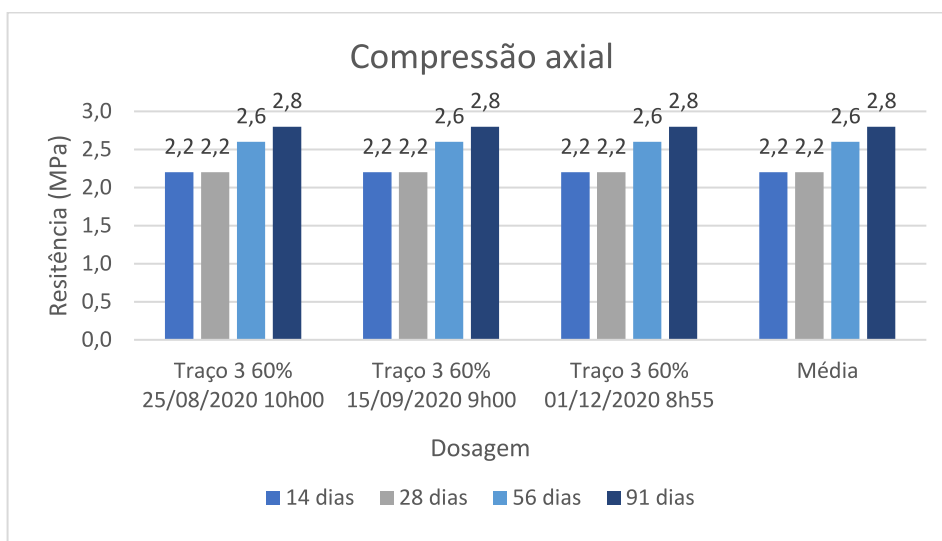
Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Gráfico 11: Resistência à compressão para o traço 2 com 40% de EVA



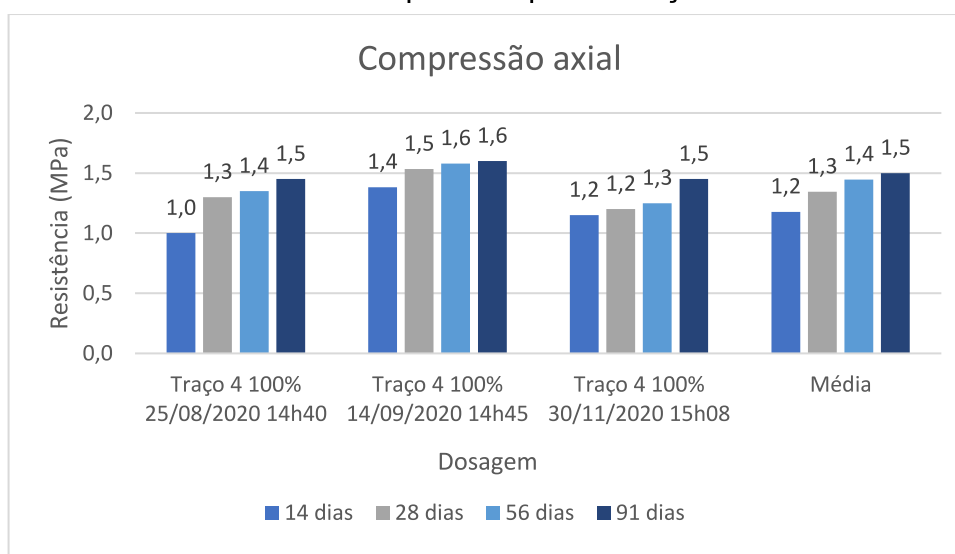
Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Gráfico 12: Resistência à compressão para o traço 3 com 60% de EVA



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

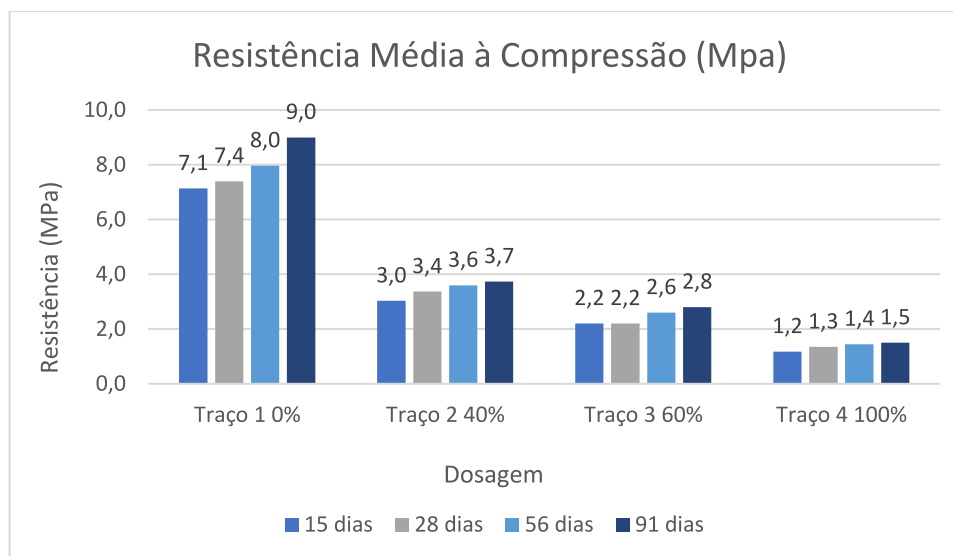
Gráfico 13: Resistência à compressão para o traço 4 com 100% de EVA



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

O gráfico 14 mostra a média aritmética da resistência à compressão de todos os traços, para cada idade de controle.

Gráfico 14: Média aritmética da resistência à compressão dos traços para idade de controle



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Observou-se que o maior decréscimo da resistência ocorreu entre a referência (traço 1, com 100% agregado natural), e o traço 4, com 100% de resíduo de EVA. Souza (2012), em seus estudos avaliou a resistência dos compósitos de argamassas leves de EVA reforçadas com fibras de piaçava, também obteve perda de resistência à medida que incorporava o EVA.

Durante a ruptura, observou-se um comportamento diferenciado no composto cimentício sem substituição em relação àqueles com EVA. Essa ruptura dos corpos de prova foi rígida no composto cimentício de referência; já nas dosagens com substituição não ocorreu da mesma forma, devido um pouco a flexibilidade do material criando um amortecimento das cargas aplicadas que se distribuíram.

Analisando os resultados dos traços 2 a 4, notou-se que entre essas três dosagens houve um decréscimo de resistência, mas essa redução foi inferior se compararmos com o traço 1 com 0% de resíduo. O traço 2 perdeu 54% de desempenho com a substituição de 40% de EVA em relação ao traço 1, e respectivamente 70% e 82% aos 28 dias, para os traços 3 e 4. Para a obtenção desse desempenho entre os traços 2 a 4, a composição granulométrica dos grãos do EVA deve ter influenciado no amortecimento da carga aplicada durante o ensaio de ruptura. Garlet (1998) destaca que a absorção de água dos agregados de EVA influencia o desempenho da resistência à compressão, por ser difícil sua determinação.

4.3 ABSORÇÃO DE ÁGUA

Conforme apresentado no desenvolvimento deste estudo, a forma do grão gera espaços vazios entre eles, criando porosidade nos diferentes traços com as proporções indicadas de EVA (40%, 60% e 100%) e, em consequência disso, o ensaio de absorção de água identificou as interferências no desempenho da resistência à compressão axial. Na tabela 13, tem-se o comportamento da absorção de água para esses traços, com base na norma *NBR 9778: Determinação das Absorção de Água, Índice de Vazios e Massa Específica* (ABNT, 2005).

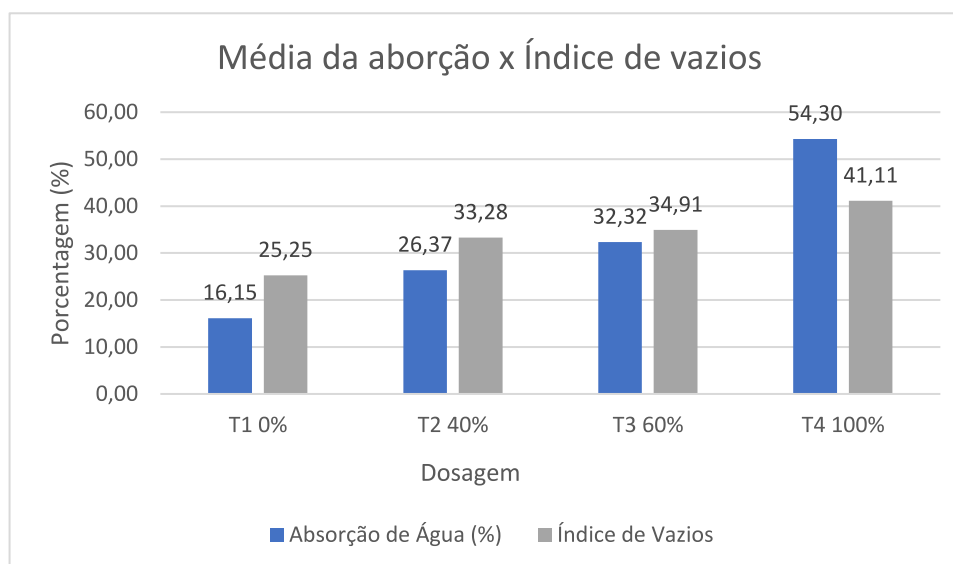
Tabela 13: Determinação de absorção de água, índice de vazios e massa específica

Data de moldagem	Traço	Idade	Absorção de Água (%)	Índice de Vazios	Massa Específica Seca (g/cm ³)	Massa Específica Saturada (g/cm ³)	Massa Específica Real (g/cm ³)
24/08/2020	T1	28	16,86	26,57	1,58	1,84	2,15
24/08/2020	T1	28	16,19	25,43	1,57	1,83	2,11
15/09/2020	T1	29	15,42	23,43	1,52	1,75	1,98
15/09/2020	T1	29	16,11	25,58	1,59	1,84	2,13
Média:	T1		16,15	25,25	1,56	1,82	2,09
24/08/2020	T2	28	27,47	34,52	1,26	1,60	1,92
24/08/2020	T2	28	26,56	33,59	1,26	1,60	1,90
15/09/2020	T2	29	24,99	31,46	1,26	1,57	1,84
15/09/2020	T2	29	26,46	33,56	1,27	1,60	1,91
Média:	T2		26,37	33,28	1,26	1,59	1,89
25/08/2020	T3	28	29,28	32,30	1,10	1,43	1,63
25/08/2020	T3	28	28,81	31,99	1,11	1,43	1,63
15/09/2020	T3	29	37,06	38,21	1,03	1,41	1,67
15/09/2020	T3	29	34,13	37,12	1,09	1,46	1,73
Média:	T3		32,32	34,91	1,08	1,43	1,67
25/08/2020	T4	28	54,10	42,76	0,79	1,22	1,38
25/08/2020	T4	28	62,56	47,33	0,76	1,23	1,44
14/09/2020	T4	30	54,14	40,43	0,75	1,15	1,25
14/09/2020	T4	30	46,39	33,90	0,73	1,07	1,11
Média:	T4		54,30	41,11	0,76	1,17	1,29

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

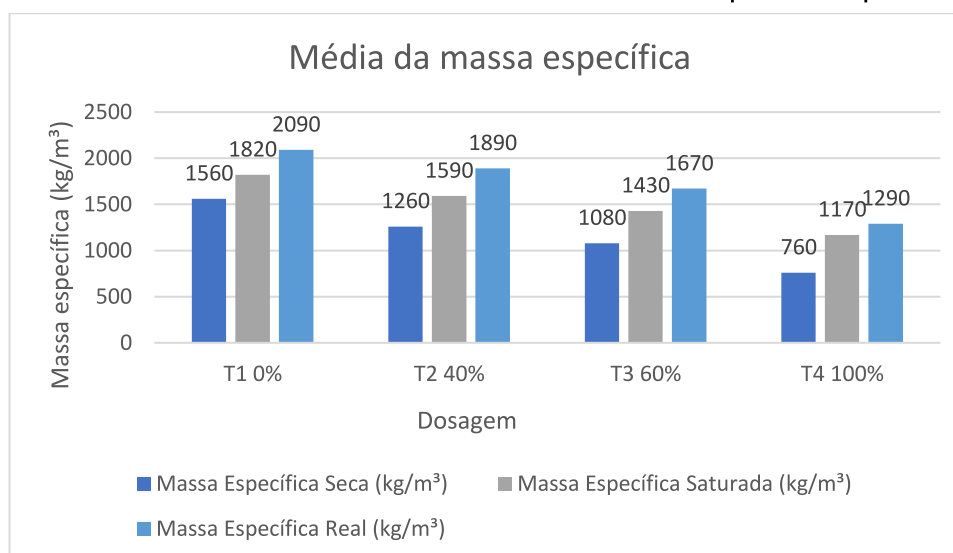
Extraindo os resultados médios da tabela 13, obtém-se o gráfico 15 das médias aritméticas da absorção versus o índice de vazios e o gráfico 16 das médias aritméticas das massas específicas.

Gráfico 15: Média aritmética do resultado da absorção x índice de vazios



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Gráfico 16: Média aritmética do resultado das massas específicas para o estudo



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Os gráficos 15 e 16 representam o comportamento do composto de EVA dentro da mistura dos traços estudados após a hidratação do cimento aos 28 dias de cura em corpos de prova moldados (10 cm x 20 cm). Conforme realizou-se a substituição do agregado natural areia por EVA, a absorção e o índice de vazios cresceram. Nesta

condição a absorção de água no traço 4, é 70% maior que o traço 1 de referência sem o uso do EVA, obtendo assim o maior índice de vazios 41% em sua dosagem, versus os 25% presente na dosagem de referência.

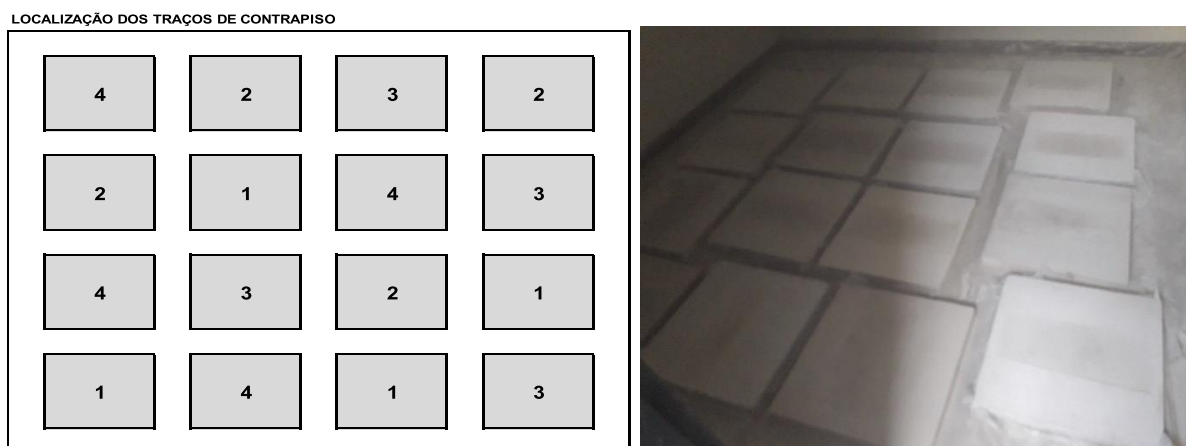
A massa específica decresceu à medida que era realizada a substituição. Obteve-se uma densidade seca para o traço 4, 24% abaixo da densidade da água, que é 1000 kg/m^3 , porém sua absorção de água foi elevada, apresentando porosidade e espaços vazios entre os grãos, mesmo com o uso de duas granulometrias de EVA. No entanto o traço 2, tem uma densidade seca menor de 19% em relação ao traço 1, o traço 3, tem uma densidade seca menor de 31%, e assim o traço 4, tem uma densidade seca menor de 51%, respectivamente em relação ao traço 1, pode-se desta forma que todas as dosagem com EVA, houve redução em seu peso, proporcionado redução dos esforços nas estruturas do concreto armado.

4.4 NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA DE IMPACTO NORMALIZADO PONDERADO ($L_{n,w}$)

O estudo desenvolvido passou pelo estado fresco na preparação das amostras e, conseqüentemente, verificou seus desempenhos físicos e mecânicos no estado endurecido. Ao mesmo tempo, foram moldadas placas de 80 cm x 80 cm diretamente na laje padrão dentro da sala emissora, que aguardaram um intervalo de cura de 15 dias. Essas placas foram moldadas com diferentes espessuras (2,5 cm; 5,0 cm; 7,0 cm) e mantiveram as dosagens com a substituição do agregado natural areia por resíduo de EVA da indústria calçadista, nos teores de 40%, 60%, 100%, a fim de comparar a redução dos níveis de pressão sonora em relação à laje de referência com a aplicação do contrapiso autonivelante sem o uso de substituição.

As placas de tamanho reduzido moldadas com fôrmas de madeira foram construídas para otimizar o tempo, os materiais e o aproveitamento do espaço da câmara acústica, permitindo as variações da espessura e as composições dos traços. Para isso, foi mapeada a área da laje padrão disponível e testes de distribuição foram elaborados a fim de evitar que o resultado fosse influenciado pela distribuição das placas. A distribuição das placas deu-se, então, conforme a figura 20 (centro, canto e lado) e, assim, foi possível aproveitar a laje para inserir quatro pontos de medição de ruído de impacto.

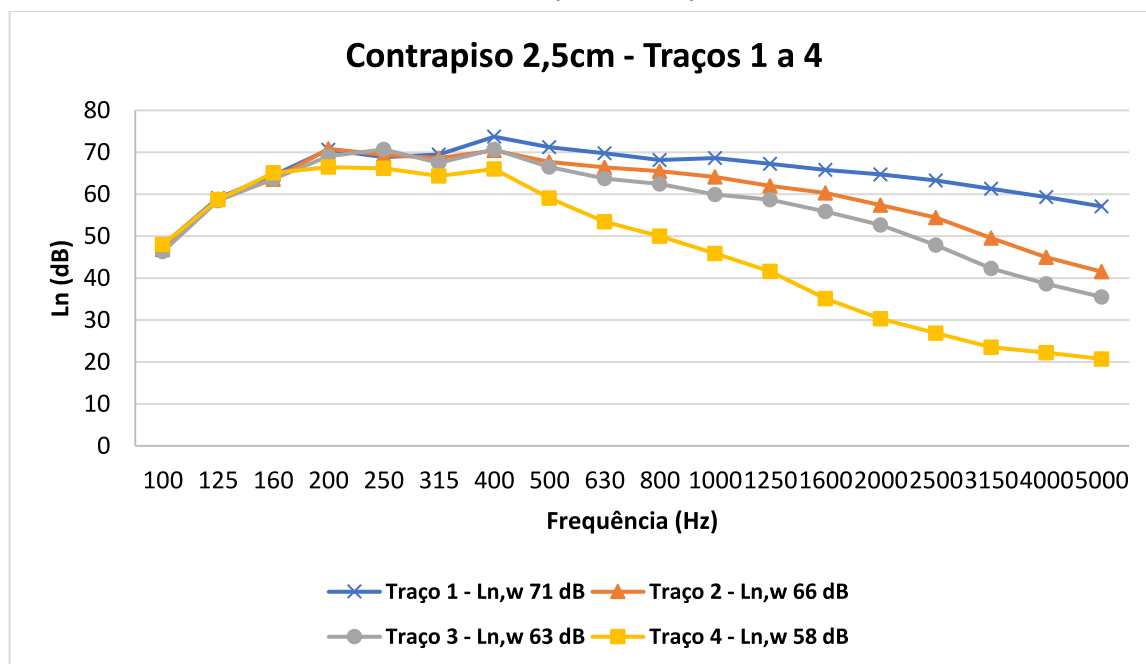
Figura 20: Moldagem das placas na câmara acústica



Fonte: Imagem e foto do autor (2020).

Na sequência, são apresentados resultados de nível de pressão sonora de impacto normatizado ponderado ($L_{n,w}$) nos gráficos 17, 18 e 19 e os valores de terço de oitava (L_n), nas tabelas 14, 15 e 16 por faixa de frequência dos traços confeccionados sem e com o uso do EVA, para as espessuras de 2,5 cm, 5,0 cm e 7,0 cm. Para as frequências a partir de 500 Hz, iniciou-se a percepção na redução dos níveis de som com o aumento no isolamento sonoro do ruído de impacto.

Gráfico 17: Resultados para a espessura de 2,5 cm



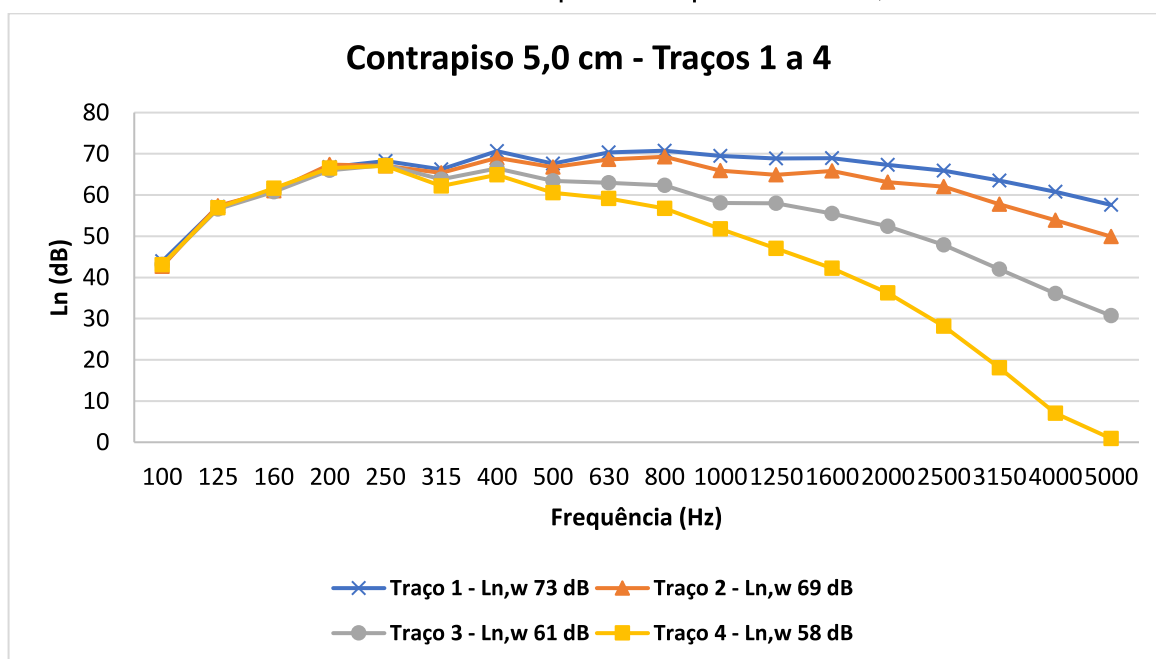
Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Tabela 14: Valores de L_n para a espessura de 2,5 cm

Hz	Traço 1 - $L_{n,w}$ 71 dB	Traço 2 - $L_{n,w}$ 66 dB	Traço 3 - $L_{n,w}$ 63 dB	Traço 4 - $L_{n,w}$ 58 dB
100	47,9	46,8	46,3	48,0
125	59,1	58,8	58,5	58,7
160	64,5	63,6	63,6	65,1
200	70,6	70,8	69,1	66,4
250	68,8	69,4	70,7	66,2
315	69,5	68,6	67,5	64,4
400	73,7	70,5	70,7	66,0
500	71,2	67,7	66,5	59,1
630	69,8	66,4	63,7	53,4
800	68,2	65,5	62,4	50,0
1000	68,6	64,1	59,9	45,8
1250	67,3	62,0	58,7	41,6
1600	65,8	60,3	55,9	35,1
2000	64,7	57,4	52,6	30,3
2500	63,3	54,4	47,9	26,9
3150	61,3	49,6	42,3	23,5
4000	59,3	45,0	38,6	22,2
5000	57,1	41,5	35,5	20,7

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Gráfico 18: Resultados para a espessura de 5,0 cm



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Tabela 15: Valores de L_n para a espessura de 5,0 cm

Hz	Traço 1 - $L_{n,w}$ 73 dB	Traço 2 - $L_{n,w}$ 69 dB	Traço 3 - $L_{n,w}$ 61 dB	Traço 4 - $L_{n,w}$ 58 dB
100	43,9	42,7	43,1	43,1
125	57,2	57,4	56,6	56,9
160	61,1	61,0	60,8	61,6
200	66,8	67,4	66,0	66,6
250	68,3	67,1	67,3	67,1
315	66,2	65,4	63,8	62,2
400	70,7	69,0	66,4	64,9
500	67,6	66,7	63,4	60,6
630	70,4	68,6	62,9	59,2
800	70,8	69,3	62,3	56,8
1000	69,5	65,9	58,0	51,8
1250	68,8	64,9	58,0	47,1
1600	69,0	65,8	55,5	42,2
2000	67,3	63,1	52,4	36,2
2500	65,9	62,0	47,9	28,2
3150	63,5	57,7	42,0	18,1
4000	60,8	53,8	36,1	7,0
5000	57,6	49,9	30,7	0,9

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Gráfico 19: Resultados para a espessura de 7,0 cm

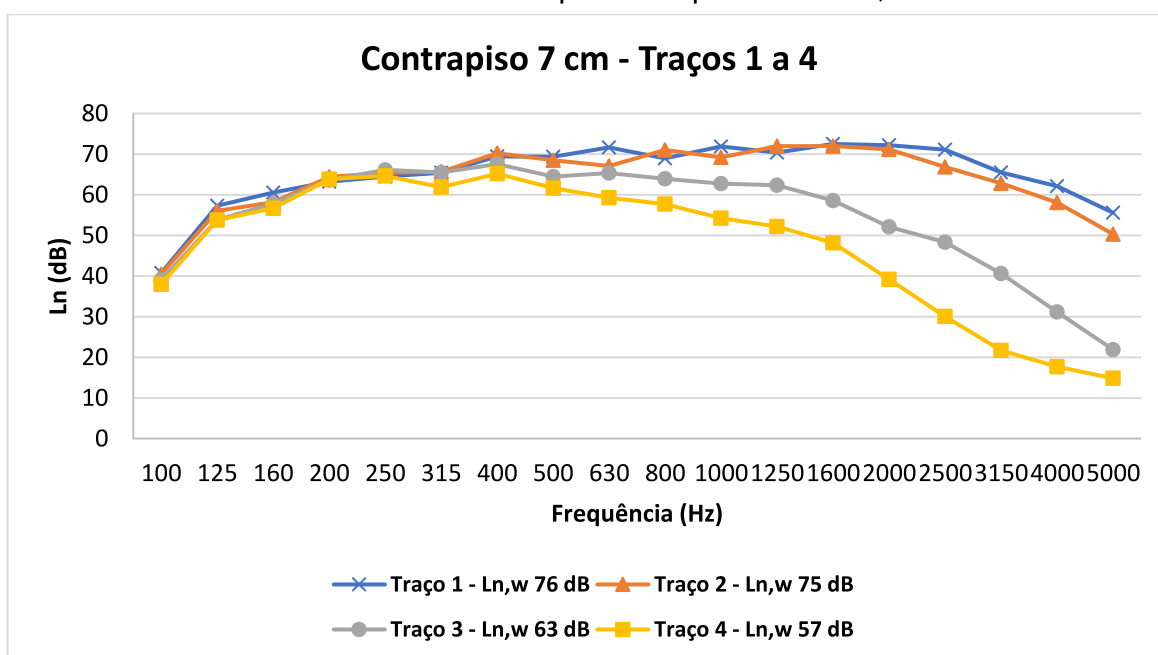


Tabela 16: Valores de L_n para a espessura de 7,0 cm

Hz	Traço 1 - $L_{n,w}$ 76 dB	Traço 2 - $L_{n,w}$ 75 dB	Traço 3 - $L_{n,w}$ 63 dB	Traço 4 - $L_{n,w}$ 57 dB
100	40,8	40,4	39,0	37,9
125	57,3	56,0	53,8	53,8
160	60,5	58,2	57,8	56,7
200	63,2	64,4	63,6	63,8
250	64,5	65,4	66,1	64,6
315	65,4	65,7	65,5	61,9
400	69,5	70,2	67,5	65,2
500	69,4	68,5	64,4	61,6
630	71,6	67,0	65,4	59,3
800	69,0	71,0	63,9	57,7
1000	71,9	69,2	62,8	54,2
1250	70,3	72,0	62,3	52,2
1600	72,5	72,0	58,5	48,2
2000	72,2	71,2	52,1	39,2
2500	71,1	66,8	48,3	30,1
3150	65,5	62,8	40,6	21,7
4000	62,1	58,1	31,2	17,7
5000	55,6	50,3	21,9	14,9

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Os resultados de nível de ruído de impacto normatizado reduziram à medida que o agregado miúdo areia foi substituído por EVA, aprimorando o isolamento do sistema de piso. O traço confeccionado com 100% de EVA apresentou uma redução mais significativa em relação aos demais traços e principalmente em relação ao contrapiso autonivelante de referência, obtendo-se uma diminuição no nível de ruído de impacto normatizado ponderado de 15 dB, com base na espessura de 5,0 cm de contrapiso, que é percebida, principalmente, a partir da frequência de 500 Hz, no entanto, a atenuação ao ruído de impacto ocorreu para as frequência mais elevadas, justamente para o ruído com conotação mais estridente que provoca mais desconforto a audição humana. Os demais traços também apresentaram isolamento ao ruído de impacto quando comparados à laje com contrapiso autonivelante sem substituição. Esse efeito também foi observado no estudo de Zuchetto *et al.* (2015).

A tabela 17 mostra os índices de pressão sonora de impacto normatizado ponderado para todas as dosagens.

Tabela 17: Resumo dos níveis de pressão sonora de impacto normalizado ponderado do piso, medido em laboratório

Traço	Espessura 2,5 cm $L_{n,w}$ (dB)	Espessura 5,0 cm $L_{n,w}$ (dB)	Espessura 7,0 cm $L_{n,w}$ (dB)
Laje sem contrapiso	81	81	81
T1 0% EVA	71	72	76
T2 40% EVA	66	69	75
T3 60% EVA	63	61	63
T4 100% EVA	58	58	57

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A tabela 17 mostra aumentado a quantidade de EVA nas dosagens dos traços se obteve uma redução nos níveis de pressão sonora de impacto normalizado ponderado do piso. Analisando a tabela 17, na vertical, temos a laje padrão com $L_{n,w}$ 81 dB, com a aplicação do contrapiso sobre esta laje na espessura de 2,5 cm obtemos para a dosagem T1 $L_{n,w} = 71$ dB, para T2 $L_{n,w} = 66$ dB, para T3 $L_{n,w} = 63$ dB e para a dosagem T4 $L_{n,w} = 58$ dB, demonstrando que aumentando a substituição da areia por EVA, pode melhorar o desempenho ao ruído de impacto normalizado ponderado, ocorrendo da mesma forma para as demais espessuras.

A análise vertical da tabela 17 percebe-se um ganho de desempenho acústico ao ruído de impacto na ordem de 10 dB, considerando uma laje de concreto armado de 12 cm de espessura e uma camada de contrapiso autonivelante sem o uso do EVA. Já para a utilização de uma camada de contrapiso autonivelante com 100% de EVA, sobre a laje maciça, pode-se obter um ganho na ordem de 23 dB.

Desta verificação da tabela 17, também se faz necessário a verificação na horizontal, para o aumento da espessura, apresentado graficamente os gráficos 20, 21, 22, 23.

Gráfico 20: Resultados para a dosagem T1

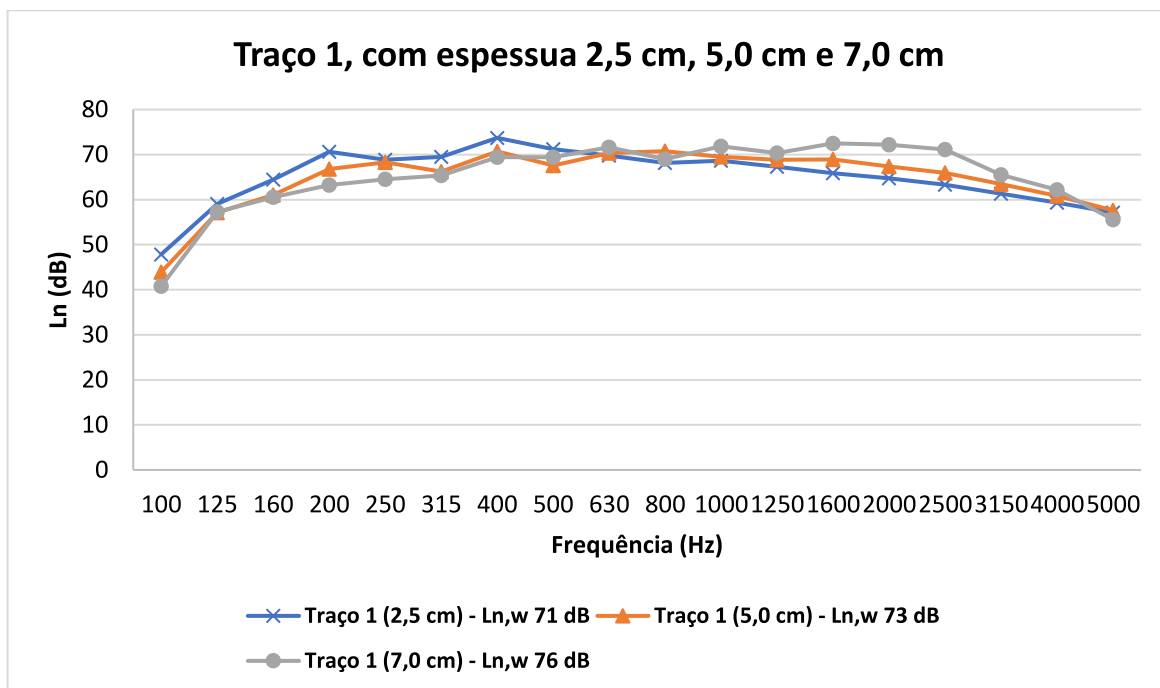


Gráfico 21: Resultados para a dosagem T2

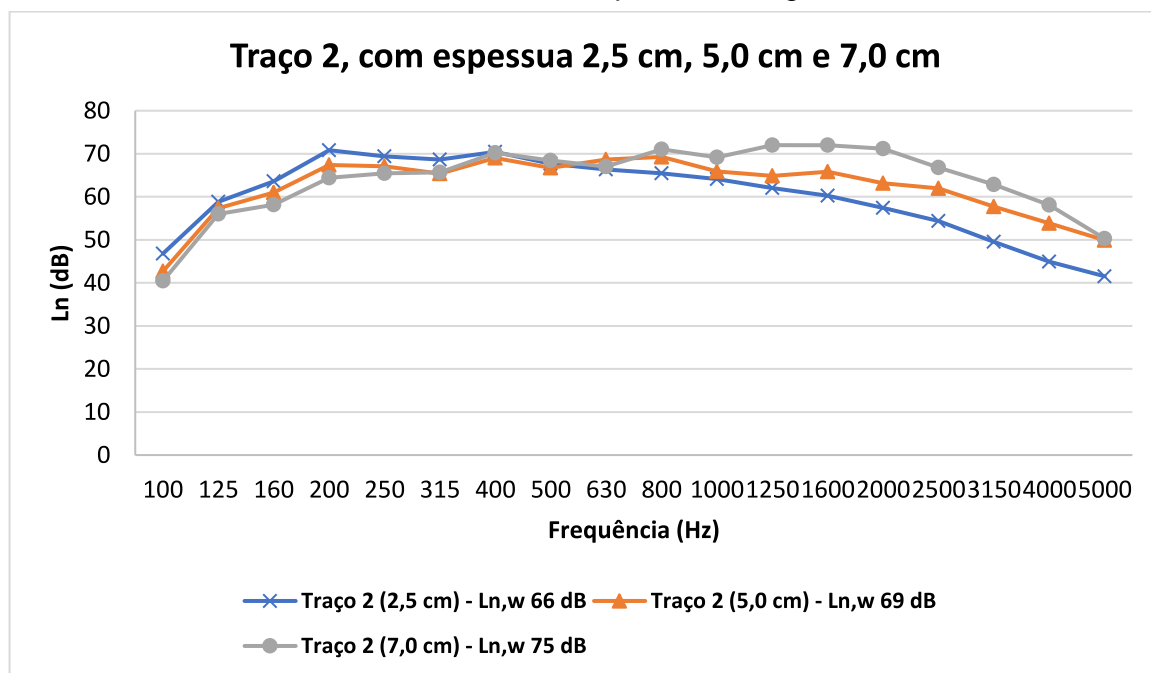


Gráfico 22: Resultados para a dosagem T3

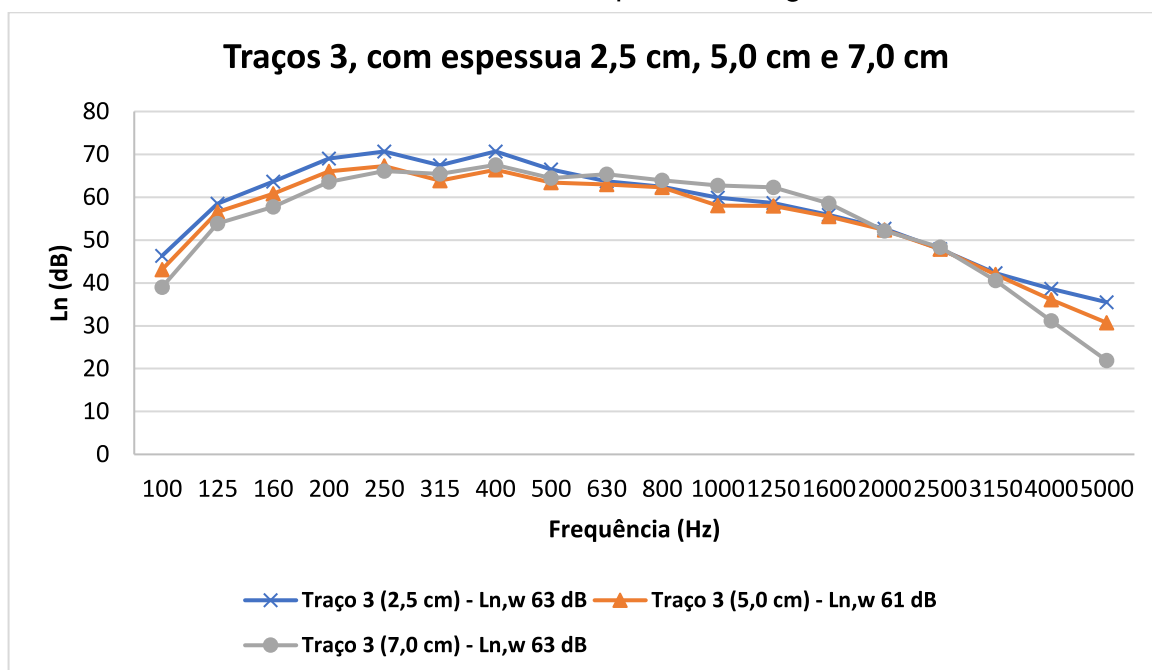
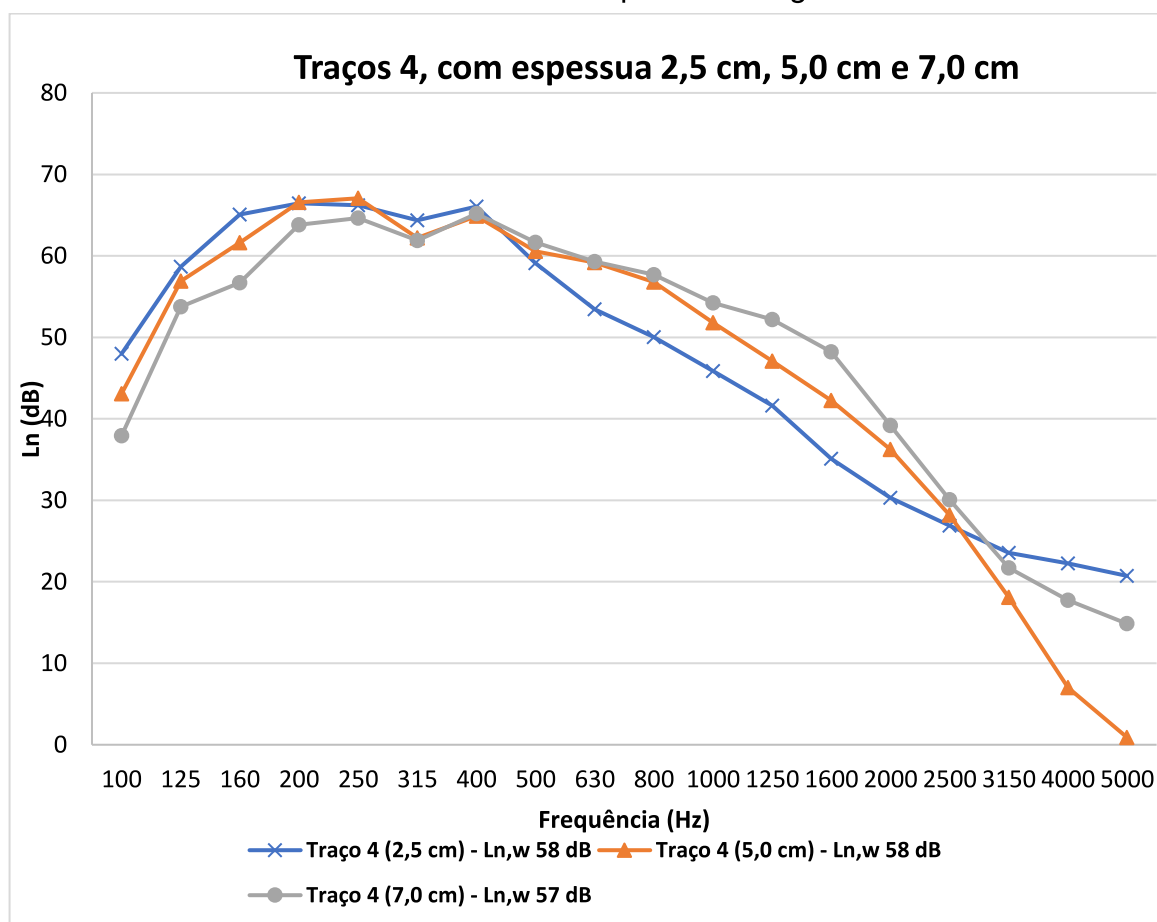


Gráfico 23: Resultados para a dosagem T4



Para o gráfico 20, o traço 1 com 2,5 cm de espessura o $L_{n,w}$ 71 dB, para 5,0 cm de espessura o $L_{n,w}$ 73 dB, e na espessura de 7,0 cm com $L_{n,w}$ 76 dB, nota-se que aumentando a espessura perde-se desempenho acústico, pois quanto maior o número em dB pior é o isolamento acústico ao ruído de impacto.

Analisando os gráficos 20, 21, 22 e 23, os resultados apresentam uma semelhança no desempenho ao ruído de impacto demonstrando que aumentando a espessura do contrapiso com EVA, em sua respectiva dosagem de substituição, não houve ganho de desempenho ao ruído de impacto, mostrando um efeito de amortecimento provocado pelo resíduo de EVA, e também uma inversão na posição das curvas logarítmicas a partir da frequência de 800 Hz associado a isso a densidade do material, principalmente para o gráfico 23 da dosagem com 100% EVA. Este efeito também observado no estudo de ZUCHETTO *et al.*, 2016.

Ainda, escolheu-se a espessura de 5,0 cm de contrapiso, que é a espessura usualmente empregada pelos projetistas das edificações, para reproduzir em toda a área da câmara acústica. Optou-se pelo traço com 100% de EVA, por apresentar melhor atenuação na diminuição do ruído de impacto nas placas moldadas na sala emissora com tamanho reduzido.

Com isso, fez-se uma reprodução de 4 m³ na central dosadora para a moldagem em tamanho real da sala emissora da câmara acústica do itt Performance, como se observa na Figura 21.

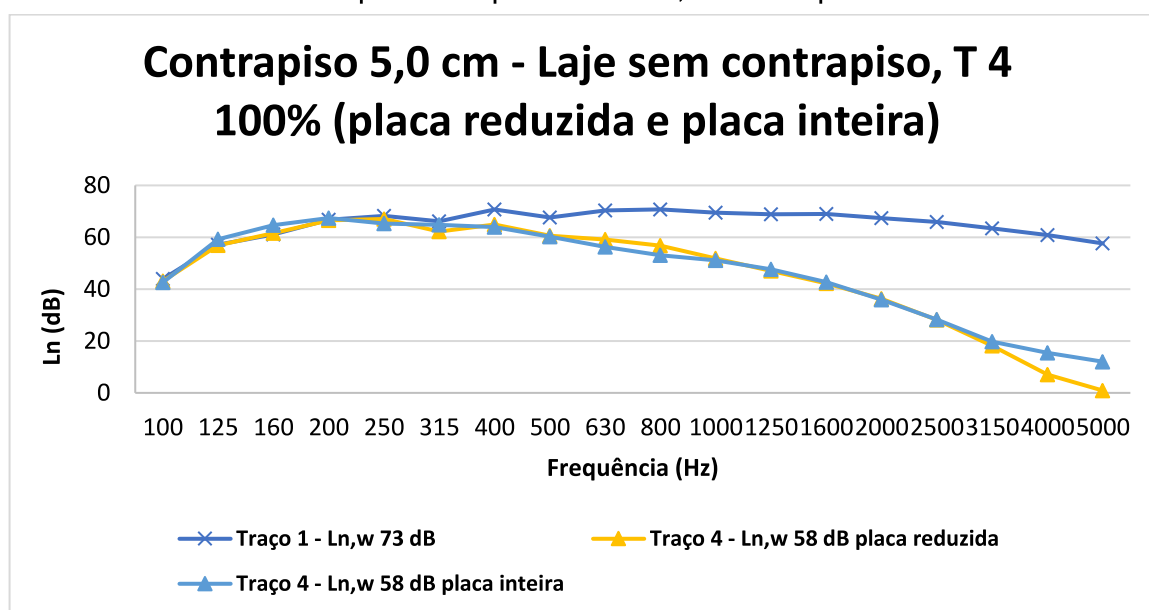
Figura 111: Aplicação do traço 4 com 100% de substituição na laje inteira na câmara acústica, com espessura de 5 cm.



Fonte: Foto do autor (2020).

No gráfico 24 e tabela 18 são apresentados os resultados obtidos, mostrando que não houve perdas significativas no comportamento da amostra em tamanho real em relação às confeccionadas em tamanho reduzido de 80 cm x 80 cm, com 5,0 cm de espessura. Essa preocupação existia no início do estudo em função das placas de tamanho reduzido poderem sofrer ressonância provocada pelo comprimento de onda propagado na câmara de recepção devido ao seu tamanho.

Gráfico 24: Resultados para a espessura de 5,0 cm em placa inteira e reduzida



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Tabela 18: Valores de $L_{n,w}$ para a espessura de 5,0 cm em placa inteira e reduzida

Hz	Laje sem contrapiso $L_{n,w}$ 81 dB	Traço 4 - $L_{n,w}$ 58 dB placa reduzida	Traço 4 - $L_{n,w}$ 58 dB placa inteira
100	48,1	43,1	42,6
125	64,2	56,9	59,2
160	65,7	61,6	64,6
200	73,2	66,6	67,4
250	74,0	67,1	65,3
315	71,9	62,2	64,7
400	76,2	64,9	63,9
500	76,2	60,6	60,3
630	75,1	59,2	56,3
800	77,0	56,8	53,0
1000	76,1	51,8	51,1
1250	76,4	47,1	47,6
1600	75,5	42,2	42,7
2000	75,9	36,2	35,9
2500	74,9	28,2	28,2
3150	73,1	18,1	19,7
4000	70,4	7,0	15,4
5000	66,4	0,9	12,0

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A tabela 19 apresenta um resumo do desempenho encontrado na placa de tamanho real da sala emissora para os estados fresco e endurecido. Observou-se que, na reprodução na central dosadora, não houve perdas significativas em seu desempenho, comparando-se a placa inteira e a placa de tamanho reduzido.

Tabela 19: Resumo de resultados para placa inteira

Espessura 5 cm	Placa reduzida	Placa inteira	Placa reduzida	Placa inteira	Placa reduzida	Placa inteira	Nível pressão sonora de impacto normatizado ponderado (placa reduzida)	Nível pressão sonora de impacto normatizado ponderado (placa inteira)
							$L_{n,w}$ (dB)	$L_{n,w}$ (dB)
Traço 4 100% EVA	Resistência à Flexão (MPa)		Resistência à Compressão (MPa)		Densidade Seca (Kg/m ³)		$L_{n,w}$ (dB)	
28 dias	0,9	0,7	1,5	0,9				
56 dias	1,0	0,9	1,6	0,9	760	700	58	58
91 dias	1,0	1,0	1,6	1,2				

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A tabela 19, temos o resultado a resistência à tração na flexão para 28 dias de 0,9 MPa para placa reduzida e para placa inteira 0,7 MPa. Na resistência a compressão 1,5 MPa e 0,9 MPa entre estes valores uma variação entre as placas de 40%, porém dentro do esperado para este nível de resistência e dosagem com 100% EVA. Para densidade seca obtemos uma variação de 60 kg/m³ placa reduzida e placa inteira, que consideramos pouco para o sistema de piso. Por outro lado, em ambas as placas apresentaram um $L_{n,w}$ de 58 dB. Nesta sequência, a tabela 20 faz um resumo para o traço de referência sem o uso do EVA, com o objetivo de comparar os resultados do tradicional para o novo contrapiso.

Tabela 20: Resumo de resultados para o traço de referência

Espessura 5 cm	Placa reduzida	Placa reduzida	Placa reduzida	Nível pressão sonora (placa reduzida)
				$L_{n,w}$ (dB)
Traço 1 0% EVA	Resistência à Flexão (MPa)	Resistência à Compressão (MPa)	Densidade Seca (Kg/m ³)	$L_{n,w}$ (dB)
28 dias	2,6	6,9		
56 dias	2,7	7,1	1560	73
91 dias	3,0	7,9		

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A tabela 20 demonstra resumidamente os resultados obtidos para o contrapiso autonivelante sem o uso do EVA, no entanto valores maiores que a tabela 19 que

apresenta o resultado do traço com EVA. Desta forma a resistência à tração na flexão, compressão, densidade, foram maiores, como 2,6 MPa para 0,9 MPa, de 6,9 MPa para 1,5 MPa e densidade 1560 kg/m³ para 760 kg/m³, respectivamente sem e com EVA.

Como é possível observar, para a espessura de 5,0 cm de contrapiso aplicado, obteve-se uma redução de ruído de impacto $L_{n,w}$ de 15 dB em relação à referência, fazendo uma analogia para o ensaio de laboratório para em campo, e usando a classificação da norma de desempenho NBR 15575-3 (ABNT, 2013), o contrapiso aproximou-se do nível superior da norma de desempenho NBR 15575-3 (ABNT, 2013), classificando-se no nível intermediário quanto ao ruído de impacto. Com relação à densidade seca, foi otimizado em 45% do seu peso, o que é bom quando se trata de alívio de carga nas estruturas, fator a ser considerado pelos projetistas de estruturas por ser uma opção mais leve e com propriedades de melhorar os níveis de ruído de impacto.

5 CONCLUSÃO

Chegamos no final deste desenvolvimento do contrapiso autonivelante para redução do ruído de impacto em edificações. Diante das informações já descritas e analisadas concluímos dizendo que os nossos objetivos foram alcançados.

No estudo do estado fresco dos traços de contrapiso autonivelante, foi possível verificar a possibilidade da substituição de 100% da quantidade de areia por etileno acetato de vinila – EVA, e os resultados mostraram que, quanto maior a substituição, menor o desempenho no estado plástico. O traço do contrapiso autonivelante de referência e o traço com 40% de substituição apresentaram um espalhamento de 670 mm; o contrapiso autonivelante com 60% de substituição, 600 mm; e o traço do contrapiso autonivelante, com maior substituição, um espalhamento de 500 mm. Demonstrando que o produto perde fluidez com a substituição, mas mantendo-se trabalhável e aplicável. Para as dosagens de contrapiso autonivelante foi ensaiado o índice de consistência como um parâmetro a ser acrescentado nos controles em produção em central dosadora como forma de padronizar a sistema produtivo, e como forma de controlar o consumo inicial da água adicionada.

Nos ensaios com o uso do *mini slump*, analisando-se o antes o depois da colocação do aditivo superplastificante, identificou-se uma dificuldade na realização da medição do espalhamento, porque a quantidade de material empregada é pequena e a reologia do agregado utilizado em substituição da areia não apresenta um índice de forma arredondada, causando um travamento na rolagem dos grãos, dificultando a sua análise.

No estado endurecido, os ensaios de resistência à tração na flexão e à compressão axial foram feitos para idade reduzida, conforme a realização dos ensaios de ruído de impacto na câmara acústica, e subsequentemente, para a idade de 28 dias, 56 dias e 91 dias. Observou-se que o traço de contrapiso autonivelante de referência obteve os maiores resultados à tração e à compressão e, à medida que foi realizada a substituição nos traços de contrapiso autonivelante, o desempenho foi decrescendo. Mas foi possível observar, neste estudo, que a resistência à tração na flexão cresceu na ordem de 23% na primeira idade de 15 dias para 91 dias, e esse crescimento foi na ordem de 21% para a compressão axial. Outro ponto também observado foi que o traço com 100% EVA que obteve os menores resultados de

resistência à compressão axial, ficou 82% menos resistente que o traço de contrapiso autonivelante de referência.

Para os resultados de absorção de água por capilaridade comprovaram que todas as reproduções produzidas de contrapiso autonivelante com substituição do agregado natural por Etileno Acetato de Vinila – EVA apresentaram elevada absorção, indicando uma microestrutura porosa. O contrapiso autonivelante de referência teve o menor coeficiente de absorção (16,15% aos 28 dias de idade), provavelmente devido ao melhor empacotamento dos grãos, ou seja, a absorção foi crescente conforme a substituição, sendo que o traço com 100% de substituição obteve o maior nível do coeficiente de absorção (54,30%), maior índice de vazios (41,11%) e menor densidade seca (760 kg/m^3), o que representa um grande alívio para as estruturas das edificações, por ser um contrapiso autonivelante com baixa densidade.

O foco principal do presente estudo foi avaliar o desempenho acústico ao ruído de impacto dos quatro traços de contrapiso autonivelante em placas de tamanho reduzido, com diferentes espessuras e, posteriormente, reproduzir em tamanho real na câmara acústica o traço com melhor desempenho acústico encontrado. Como demonstrado, a aumento da espessura não influenciou nos resultados de medições acústica de maneira positiva esta situação deve-se ao tipo de material EVA que provoca um amortecimento, pois o aparelho *Tapping machine* foi posicionado diretamente na sua superfície.

Analisando o comportamento acústico dos traços de contrapiso autonivelante, para as diferentes substituições realizadas de 40%, 60% e 100%, os ensaios laboratoriais mostraram a redução dos sons de impacto (ΔL) e dos níveis de pressão sonora de impacto normatizado ponderado ($L_{n,w}$). Todos os ensaios realizados mostraram desempenho superior à laje sem contrapiso e ao traço referência. Essa importante característica encontrada nas dosagens de contrapiso autonivelante interfere positivamente na qualidade acústica das edificações quando se utiliza contrapiso nas edificações residenciais.

Nas bandas entre 100 Hz e 500 Hz, baixas frequências, tem-se uma semelhança de resultados para o estudo. A partir da frequência de 500 Hz percebe-se a redução do ruído de impacto. Observou-se que, quanto maior a porcentagem de resíduo EVA substituindo a areia nas dosagens, maior foi a redução do som de impacto para as médias e altas frequências, melhorando o isolamento ao ruído de impacto. Em contrapartida para os mesmos traços com espessura diferentes a partir

da frequência de 800 Hz percebeu-se o amortecimento e a inversão das curvas logarítmicas que atribuímos este efeito ao uso do resíduo de EVA nos traços.

Os resultados deste estudo são satisfatórios, pois as dosagens analisadas apresentaram resultados de redução dos sons de impacto, e os níveis de pressão sonora de impacto normalizado ponderado ($L_{n,w}$) dos traços com substituição exibiram redução em relação ao traço de referência de 15 dB, comparando-se a dosagem com e sem EVA. É importante ressaltar que, na reprodução em central dosadora em placa inteira com mais de 16 m², o desempenho manteve-se semelhante para os dois tamanhos de placa.

Os contrapisos estudados são uma boa opção para a construção civil, pois apresentam características com potencial de isolamento acústico superior ao contrapiso de referência, para o ruído de impacto, podendo chegar ao nível intermediário com o uso de revestimento cerâmico e podendo chegar ao nível superior utilizando piso vinílico clicado para maior atenuação sonora ao ruído de impacto. Diante da analogia ao quadro 2, referente a NBR 15575-3 (ABNT, 2013), que estabelece resultados para o campo. Sendo também uma opção que contribui com a sustentabilidade, já que permite a redução do descarte do resíduo pela indústria e na minimização do peso sobre as estruturas da edificação.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Diante do programa experimental realizado nesta dissertação, existe um amplo questionamento pertinente que permanece após a sua conclusão. Para se aprimorar ainda mais da pesquisa realizada, tornam-se necessários mais estudos para o conhecimento das formulações e do resíduo, com mais ensaios, pesquisa e desenvolvimento. Por isso sugere-se os seguintes tópicos para trabalhos futuros:

- replicar a argamassa autonivelante para desempenho acústico de entrepisos da edificação em obra, estabelecendo parâmetros de desempenho mecânico e acústico para o uso em contrapiso;
- verificar a resistência superficial das argamassas autonivelantes para o desempenho acústico e determinar qual tipo de argamassa colante seria a mais indicada para utilização sob os contrapisos;
- realizar uma análise econômica de outros tipos de sistemas de pisos para o desempenho acústico;
- realizar novos estudos de dosagem, observando o comportamento de novos materiais e de aditivos para obtenção de um novo comportamento acústico;
- investigar o comportamento acústico frente ao ruído de impacto do contrapiso autonivelante estudado em um sistema de piso flutuante com diferentes revestimentos;
- estudar outras propriedades, como: resistência ao fogo, desempenho térmico, durabilidade, diante das recomendações dadas pela NBR 15575-1 (ABNT, 2013);
- analisar a utilização contrapiso autonivelante com resíduo em construções de edificações com certificados ambientais, com uma avaliação do ciclo de vida do material estudado e de seus impactos ambientais do berço ao túmulo.

REFERÊNCIAS

- ABIPLAST (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PLÁSTICO). Disponível em: <http://www.abiplast.org.br/publicacoes/perfil2018/>. Acesso em: 25 jul. 2020.
- ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecido - determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005.
- ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). **NBR 10004**: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.
- ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.
- ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). **NBR13278**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005.
- ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.
- ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). **NBR 13280**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 2005.
- ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). **NBR 13281**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - requisitos. Rio de Janeiro, 2005.
- ABNT (ASSOCIAÇÃO DE BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). **NBR 15575-1**: Edificações habitacionais - Desempenho: Parte1: requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.
- ABNT (ASSOCIAÇÃO DE BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). **NBR 15575-3**: Edificações habitacionais - Desempenho: Parte 3: requisitos para sistemas de pisos. Rio de Janeiro, 2013.
- ABNT (ASSOCIAÇÃO DE BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). **NBR 15823-2**: Concreto adensável: Parte 2 - determinação do espalhamento e do índice de estabilidade visual: Método do cone de Abrams. Rio de Janeiro, 2017.
- ABNT (ASSOCIAÇÃO DE BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). **NBR 15900**: Água para amassamento de concreto: parte 1 - terminologia. Rio de Janeiro, 2009.

ABNT (ASSOCIAÇÃO DE BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). **NBR 16313:** Acústica - terminologia. Rio de Janeiro, 2014.

ABNT (ASSOCIAÇÃO DE BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). **NBR 16605:** Cimento Portland e outros materiais em pó: determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2017.

ABNT (ASSOCIAÇÃO DE BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). **NBR NM 45:** Agregado - determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

ABNT (ASSOCIAÇÃO DE BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). **NBR NM 52:** Agregado miúdo - determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

ABNT (ASSOCIAÇÃO DE BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). **NBR NM 248:** Agregados - determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

ALRIFAI, A.; AGGOUN, S.; KADRI, A.; KENAI, S.; KADRI, E.H. Paste and mortar studies on the influence of mix design parameters on autogenous shrinkage of self-compacting concrete. **Construction and Building Materials**, v. 47, p. 969-976. 2013.

ANDRADE, J. J. O. Propriedade dos polímeros. *In*: ISAIA, G. C. (org.). **Materiais de construção civil e princípios de ciências e engenharia de materiais**. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2010. v. 2, cap. 41, p. 1323-1350.

ANEPAC (Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção Civil). Mercado: perspectivas para o setor de agregados. **ANEPAC**. Disponível em: <https://www.anepac.org.br/agregados/mercado>. Acesso em: 12 jul. 2020.

ANM (Agência Nacional de Mineração). **Sumário Mineral 2017**. Coordenação Geral: Marina Marques Dalla Costa, Karina Andrade Medeiros e Thiers Muniz Lima. Brasília: ANM, 2019. 201p. Disponível em: https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-contenido/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/sumario-mineral/sumariomineral_2017/view. Acesso em: 28 jun. 2020.

American Society for Testing and Materials – ASTM. **ASTM C1708:** Standard test methods for self-leveling mortars containing hydraulic cements. United States, ASTM International, 2017.

ARNOLD, D. C. M. **Análise da influência da forma dos grãos nas propriedades das argamassas**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale dos Sinos, UNISINOS, São Leopoldo, 2011.

ASDRUBALI, F.; SCHIAVONI, S.; HOROSHENKOV, K. V. Uma revisão de materiais sustentáveis para aplicação acústica. **Construindo Acústicos**, Reino Unido, v.19, n. 4, p. 283-312. 2012.

BARROS, M. M. S. B.; SABBATINI, F. H. Diretrizes para definição da argamassa para contrapisos internos de edifícios. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIAS DAS ARGAMASSAS*, 1., 1995, Goiânia. **Anais [...]**. Goiânia: UFG Escola de Engenharia Civil, 1995. P. 105-114.

BARROS, M. M. S. B.; SABBATINI, F. H. **Tecnologia de produção de contrapisos para edifícios habitacionais e comerciais**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia da Construção Civil. BT/PCC/44. São Paulo: EPUSP, 1991.

BARTOS, P. J. M. **Measurement of key properties of fresh self-compacting concrete**. *In: WORKSHOP MEASUREMENT, TESTING AND STANDARDISATION: FUTURE NEEDS IN THE FIELD OF CONSTRUCTION MATERIALS*, 2000, Paris. **Proceedings [...]**. Paris, 2000.

BASTOS, S. R. B. **Estudo da substituição de agregados miúdos naturais por agregados miúdos britados em concretos de cimento Portland**. 2002. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.118p.

BAUER, E.; SOUSA, J. G. G. Materiais constituintes e suas funções. *In: BAUER, E. (org.). Revestimento de argamassa: características e peculiaridades*. Brasília: LEM-UnB - SINDUSCON, 2005. p. 23-29.

BEZERRA, A. J. V. **Utilização do resíduo da indústria de calçados (EVA – Etileno Acetato de Vinila) como agregado leve na produção de blocos vazados de concreto para alvenaria sem função estrutural**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 2002.

BISTAFA, S. R. **Acústica aplicada ao controle do ruído**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2011.

BISTAFA, S.R. **Acústica aplicada ao controle do ruído**. São Paulo: Edgard Blücher, 2006.

BORGES, R. M. **Análise de desempenho térmico e acústico de unidades habitacionais construídas no conjunto habitacional Benjamin José Cardoso em Viçosa-MG**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

BORGES, J. G. K. **Análise das propriedades acústicas de contrapisos produzidos com materiais reciclados**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), São Leopoldo, 2015.

VOTORANTIM CIMENTOS. **Boletim de qualidade de ensaios de cimento**. 2020. Fábrica: Rio Branco – PR. www.vcimentos.com.br. Acesso em 20 novembro. 2020.

BRANCO, F. G; GODINO, L. On the use of lightweight mortars for the minimization of impact sound transmission. **Construção e Materiais de Construção**, v. 45, p.184-191, ago. 2013. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061813003061>. Acesso em 21 de junho. 2020.

BRANCO, A. C.; BRITO, M. Contrapiso autonivelante. *In*: Programa Inovação Tecnológica: Câmara Brasileira da Indústria da Construção. **2º Caderno de casos de inovação na construção civil**. Salvador: Universidade Federal da Bahia (UFBA), 2014. p. 16-21.

BRASKEM S. A. **EVA**: copolímero de etileno acetato de vinila/ethylene vinyl acetate copolymer. Disponível em:
<https://www.braskem.com.br/cms/Principal/Catalogo/Download?CodigoCatalogo=10>
Acesso em 21 junho. 2020.

CAMPOS, F. S. C.; MAZINI, G. B.; SILVA NETO, G. A. Análise das propriedades físicas e mecânicas de concreto produzido com resíduo sólido de cerâmica vermelha. **Colloquium Exactarum**, v. 4, n. 2, p. 01–11, jul-ago. 2012.

CARASEK, H. **Aderência de argamassas à base de cimento Portland a substratos porosos**: avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo da ligação. 1996. Tese (Doutorado em Engenharia/Construção Civil) - Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

CARVALHO, M. L. U. **Resíduos de poli (tereftalato de etileno) e de pneu na confecção de pisos flutuantes para o isolamento do ruído de impacto**. 2009. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiente) – Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2009.

CARVALHO, R. P. **Acústica arquitetônica**. Brasília: Thesaurus, 2010.

CICHINELLI, G. Contrapiso autonivelante. **Revista Equipe de Obra**: como construir na prática, n. 58, abr. 2013.

CICHINELLI, G. **Construção passo a passo**. São Paulo: Pini, 2009.

CIMPOR. **Procedimento de execução de contrapiso** [Sistema da Gestão da Qualidade] procedimento 03, versão 01, folhas 1 a 6, 2001.

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

D’ALESSANDRO, F.; ASDRUBALI, F.; BALDINELLI, G. Multi-parametric characterization of a sustainable lightweight concrete containing polymers derived from electric wires. **Construction and Building Materials**, v. 68, p. 277-284, out. 2014.

DAMTOFT, J. S.; LUKASIK, J.; HERFORT, D.; SORRENTINO, D.; GARTNER, E. M. Sustainable development and climate change initiatives. **Cement and Concrete Research**, v. 38, p.115-127, 2008.

DNPM (Departamento Nacional de Produção Mineral). **Sumário mineral 2012**. Coordenação geral de Thiers Muniz Lima e Carlos Augusto Ramos Neves. Brasília: DNPM, 2012. 136 p. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/dnpm/sumarios/sumario-mineral-2012>. Acesso em: 28 de junho 2020.

DOMONE, P.L. Self-compacting concrete: an analysis of 11 years of cases studies. **Cement & Concrete Composites**, n. 28, p.197-208, 2006.

EFNARC (European Federation for Specialist Construction and Concrete Systems). **Specification and guidelines for self- compacting concrete**. Farnham: EFNARC, 2002. Disponível em: <https://efnarc.org/publications>. Acesso em: 12. fev. 2020.

EGLE, T. Contrapiso autonivelante. **Téchne**, ed.164 [Online] // PINI. – nov. 2010. – Disponível em: <http://www.revistatechne.com.br/engenhariacivil/164/contrapiso-autonivelante-com-prazo-de-execucao-reduzido-e-custos191782-1.asp>. Acesso em: 25 nov. 2019.

FERRARI, L.; KAUFMANN, J.; WINNEFELD, F.; PLANK, J. Interaction of cement model systems with superplasticizers investigated by atomic force microscopy, zeta potential, and adsorption measurements. **Journal of Colloid Interface Science**, v. 347, p. 5-24, 2010.

FREITAS, J. C. **Uso de aditivo redutor de retração no combate à retração em argamassas autoadensáveis de alta resistência**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

FIORITO, A. J. S. I. **Manual de argamassas e revestimentos: estudos e procedimentos de execução**. São Paulo: Pini, 2009.

GARCIA, J.; BRITO, J. **Pavimentos autonivelantes: excesso de água na amassadura**. Grupo de Estudos da Patologia da Construção - PATORREB. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. s.d.

GARLET, G. **Aproveitamento de resíduos de E.V.A. (ethylene vinyl acetate) como agregado para concreto leve na construção civil**. 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.

GEORGIN, J. F.; AMBROISE, J.; PÉRA, J.; REYNOUARD, J. M. Development of self-leveling screed based on calcium sulfoaluminate cement: modelling of curling due to drying. **Cement & Concrete Composites**, v. 30, p. 769-778, 2008.

GERGES, S. N. Y. **Ruído: fundamentos e controle**. 2. ed. atual. e ampl. Florianópolis: NR, 2000.

GETTU, R.; RONCERO, J. Aditivos superfluidificantes para hormigones de latas prestaciones. *In: SIMPÓSIO SOBRE ADITIVOS PARA HORMIGONES*, 4., 1998, Madri. **Anais** [...]. Madri, 1998.

GODINHO, G.; MASGALOS, R.; PEREIRA, A.; BRANCO, F.G. Sobre o uso de uma pequena câmara acústica para a análise de redução de ruído de impacto de revestimentos de chão. **Ruído Controle Eng**, v. 58, n.6, p. 658-68, 2010.

GOMES, A. O.; GONÇALVES, J. P. Inovações tecnológicas em canteiros de obras. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIAS DE ARGAMASSA*, 10., 2013, Fortaleza. **Anais** [...]. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2013.

GRUNOW, E. **Acústica questão Ambiental**: Akkerman projetos acústicos. São Paulo: C4, 2008.

HARTMANN, C. T. **Avaliação de aditivos superplastificantes base policarboxilatos destinados a concretos de cimento Portland**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) - Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

HASSAN, O. A. B. **Building acoustic sand vibration**: theory and practice. London: Word Scientific Publishing Company, 2009.

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

HOPKINS, C. Airborne sound insulation of beam and block floors: direct and flanking transmission. **Building Acoustics**, v.11, n. 1, p.1-25, 2004.

HOPKINS, C. **Sound insulation**. Burlington: Elsevier, 2012.

ISO (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION). ISO 717-2: **Acoustics**: rating of sound insulation in buildings and of building elements Part 2 - impact sound insulation. Genève, Switzerland, 2004.

ISO. (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION). ISO 9052-1 – **Acoustics**: determination of dynamic stiffness Part 1 - materials used under floating floors in dwellings. Genève, Switzerland, 1989.

ISO (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION). ISO 10140-3: **Acoustics**: Laboratory measurement of sound insulation of building elements Part 3 - measurement of impact sound insulation. Genève, Switzerland, 2010.

ISO (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION). ISO 10140-5: **Acoustics**: Laboratory measurement of sound insulation of building elements Part 5 - requirements for test facilities and equipment. Genève, Switzerland, 2010.

ISO (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION). ISO 16283-2: **Acoustics**: Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements Part 2 - impact sound insulation, Genève, Switzerland, 2014.

ITIM, A.; EZZIANE, H.; KADRI, E.H. Compressive strength and shrinkage of mortar containing various amounts of mineral additions. **Construction and Building Materials**, v. 25, p. 3603-3609, 2011.

JUENGER, M. C. G.; WINNEFELD, F.; PROVIS, J. L.; IDEKER, J. H. Advances in alternative cementitious binders. **Cement and Concrete Research**, v. 41, p. 1232-1243, 2011.

KATSIADRAMIS, A. B.; SOTIROPOULOU, A. B.; PANDERMARAKIS, Z. G. Rheological and mechanical response modifications for a self-leveling mortar. **EPJ Web of Conferences**, v.6, article n. 23002, 2010.

KIM, K.; JEONG, G.; YANG, K.; SOHN, J. Correlation between dynamic stiffness of resilient materials and heavyweigh impact sound reduction level. **Building and Environment**, v.44, p. 1589-1600, 2009.

LA SERNA, H. A. de; REZENDE, M. M. **Agregados para construção civil**. Departamento Nacional de Produção Mineral. Economia Mineral do Brasil, ANEPAC, São Paulo, 2009. p. 602-635. Disponível em: <http://anepac.org.br/wp/wp-content/uploads/2011/07/DNPM2009.pdf>. Acesso em: 23. mar. 2020

LE-BIHAN, T.; GEORGIN, J. F.; MICHEL, M.; AMBROISE, J.; MORESTIN, F. Measurements and modeling of cement base materials deformation at early age: the cause of sulfo-aluminous cement. **Cement and Concrete Research**, v. 42, p. 1055-1065, 2012.

LEE, Y. J; LEE, C. S; CHOI, H. S; LIM, R. A; PARK, S. J; KIM, M. J. Structural behavior of resilient materials subjected to short-term load and long-term load. **IACSIT International Journal of Engineering and Technology**, v. 6, n.1, 2014.

LIBRE, N. A.; KHOSHNAZAR, R.; SHEKARCHI, M. Relationship between fluidity and stability of self-consolidating mortar incorporating chemical and mineral admixtures. **Construction and Building Materials**, v. 24, p. 1262-1271, 2010.

MACIEL, L. L.; BARROS, M. M. S. B.; SABBATINI, F. H. **Recomendações para a execução de revestimentos de argamassa para paredes de vedação internas e exteriores e tetos**. São Paulo, 1998. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5075717/mod_resource/content/1/Apostila_Revestimento%20Argamassa.pdf. Acesso em: 15 nov. 2020.

MARTINS, E. J. **Procedimento para dosagem de pastas para argamassa autonivelante**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

MARTINS, J. Contrapiso. **Revista Equipe de Obra – Como Construir na Prática**, ed. PINI. Nº53 - Novembro de 2012. Disponível em: <http://www.phd.eng.br/biblioteca-phd/revistas-tecnicas/pini/equipe/2/>. Acesso em: 07 set. 2020.

MEHDIPOUR, I.; RAZZAGUI, M. S.; AMINI, K.; SHEKARCHI, M. Effect of mineral admixtures on fluidity and stability of self-consolidating mortar subjected to prolonged mixing time. **Construction and Building Materials**, v. 40, p. 1029-1037, 2013.

MELO, F. J. F. **Caracterização de argamassa modificada por partícula vegetal para nivelamento de contrapiso**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

MELO, R. **Contribuição à dosagem de concreto autoadensável com adição de filler calcário**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

METHA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Ibracon, 2008.

MC BAUCHEMIE BRASIL, **Ficha técnica de produto**. Fábrica: São Paulo - SP <https://www.mc-bauchemie.com.br/produtos/aditivos-para-concreto/#/category-products>. Acesso em: 10 set. 2020.

NAKAKURA, E. H.; BUCHER, H. R. E. **Pisos autonivelantes: propriedades e Instalações**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2., 1997, Salvador. **Anais [...]**. Salvador: Universidade Federal da Bahia e Universidade de Feira de Santana, 1997. p. 305-316.

NAVARRO, J. P.; SÁNCHEZ, G. M.; GOMARIZ, F. de L. R. New challenges for ceramic flooring with respect to the use of anti-impact sheets (tbc dB hr) and the current use of deck screeds with self-levelling mortars. In: CONGRESO MUNDIAL DE LA CALIDAD DEL AZULEJO Y DEL PAVIMENTO CERÁMICO, 13., 2014. **Anais [...]**. Valencia [Espanha]: Colegio Oficial de Ingenieros Superiores Industriales, 2014.

NETO J. B. Viabilidade da implementação da norma de desempenho NBR15575. In: ENCONTRO REGIONAL ASBEA, 9., 2010, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo, 2010.

NEVES, A.; ANTÓNIO, J.; NOSSA, A. Resultados experimentais da rigidez dinâmica de materiais usados sob pavimentos flutuantes. In: TECNIACUSTICA, 2008, Coimbra. **Conferências y comunicaciones**. Coimbra: Sociedade Española de Acústica, 2008. p. 1-12.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 2. ed. São Paulo: PINI, 1997.

NUNES, M. F. O; ZINI, A; PAGNUSSAT, T. D. Desempenho acústico de sistemas de piso: estudo de caso para isolamento de ruído aéreo e de impacto. In: ENCONTRO SOBRAC, 25., 2014, Campinas. **Anais [...]**. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2014. p. 140-156.

OLIVEIRA, M. P. **Materiais compósitos à base de gesso contendo EVA (etileno de acetato de vinila) e vermiculita**: otimização de misturas e propriedades termomecânicas. 2009. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2009.

OLIVEIRA, T. V; CORDEIRO, L. N. P. Argamassas autonivelantes: vantagens, aplicabilidade, propriedades e normas relacionadas. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 60. 2018, Foz do Iguaçu. **Anais [...]**. Foz do Iguaçu: Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON), 2018. p. 1-12.

ONISHI, K.; BIER, T. Investigation into relations among technological properties, hydration kinetics and early age hydration of self-leveling underlayments. **Cement and Concrete Research**, v. 40, p. 1034-1040, 2010.

PATRÍCIO, J. **Isolamento sonoro a sons aéreos e de percussão**: metodologias de caracterização. 6. ed. Lisboa: LENEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil), 2010.

PATRÍCIO, J. Case study: laboratory and field measurements for evaluating the weighted reduction in impact noise associated with floor coverings. **Building Acoustics**, v. 9, n. 2, p. 151-162, jun. 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1260/135101002760164580>. Acesso em: 15 set. 2020.

PENDHARI, S. S.; KANT, T.; DESAI, Y. M. Application of polymer composites in civil construction: a general review. **Composite Structures** v. 84, n. 2, p.114-124, jul. 2008.

PÉRA, J.; AMBROISE, J. New applications of calcium sulfoaluminate cement. **Cement and Concrete Research**, v. 34, p. 671-676, 2004.

PILEGGI, R. G. **Efeito da distribuição granulométrica sobre o comportamento reológico de concretos refratários**. 1996. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais), Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 1996.

POLARI FILHO, R. S. **Contribuição ao processo de reciclagem dos resíduos da indústria de calçados na construção civil**: bloco EVA - uma alternativa às alvenarias das construções. Dissertação (Mestrado Em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2005.

REPETTE, W.L. Concretos de última geração: presente e futuro. *In*: ISAIA, G.C. (ed.). **Concreto**: ensino, pesquisa e realizações. São Paulo: IBRACON, 2005. v. 2, p. 1509-1550.

REZENDE, J. B; RODRIGUES, C. F; VECCI, A. Uma análise de critérios de desempenho acústico para sistemas de piso em edificações. *In*: Simpósio de Mecânica Computacional, 9. 2014. Juiz de Fora. **Anais [...]**. Juiz de Fora: Faculdade de Engenharia de Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), 2014.

RIBEIRO, C. C.; PINTO, J. D. S.; STARLING, T. **Materiais de construção civil**. Belo Horizonte: UFMG, 2006.

RIXON, M. R.; MAILVAGANAM, N. P. **Chemical and mixture for concrete**. London: E & FN Spon, 1999.

RIZWAN, S. A.; BIER, T. A. Blends of limestone powder and fly-ash enhance the response of self-compacting mortars. **Construction and Building Materials**, v. 27, p. 398-403, 2012.

RUBIN, A. P. **Argamassas autonivelantes industrializadas para contrapiso: análise do desempenho físico-mecânico frente às argamassas dosadas em obra**. Dissertação de Mestrado. Porto Alegre, UFRGS, 2015.

SANTOS, A. F. **Avaliação de placas cimentícias com resíduo de EVA quanto ao seu nível de isolamento acústico em sistemas de pisos flutuantes**. 2013. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2013.

SILVA, C. V. **Contribuição ao estudo do desgaste superficial por abrasão em concretos empregados em pisos**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

SILVA, V. D. A importância do processo de desenvolvimento tecnológico na implementação de novas tecnologias: case contrapiso autonivelante. *In*: SBTA – SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSA, 10., 2013. **Anais [...]**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2013. Disponível em: <https://www.gtargamassas.org.br/eventos/category/12-x-sbta>. Acesso em: 07 jul. 2020.

SIMÕES, F. M. **Acústica arquitetônica**. Rio de Janeiro: PROCEL Edifica, 2011.

SNIC (Sindicato Nacional da Indústria do Cimento). **Números da indústria**. Jaguaré, SP. Disponível em: <http://snic.org.br/numeros-industria.php>. Acesso em: 28 jun. 2020.

SOUZA, A. L. R.; MELHADO, S. B. **Projeto e execução de lajes racionalizadas de concreto armado**. São Paulo: O nome da rosa, 2002. v. 1. 116 p.

SOUZA, L.; ALMEIDA, M.; BRAGANCA, L. **Bê-á-bá da acústica arquitetônica: ouvindo a arquitetura**. São Carlos, Editora UFSCar, 2006. 149 p.

SOUZA, N. C. **Análise de desempenho do contrapiso autonivelante em relação ao sistema tradicional**. 2013. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

SOUZA, T. F. **Avaliação da resistência de compósitos de argamassas leves de EVA reforçadas com fibras de piaçava**. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciência, Inovação e Modelagem em Materiais). Pós-graduação em Ciência, Inovação e Modelagem em Materiais, Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, 2012.

SUPRENANT, B. A. Ready mixed mortar has more life. **Masonry Construct**, v.1, n.4, p. 173, 1988.

TONET, K. G; GORNINSKI, J. P. Polymer concrete with recycled PET: the influence of the addition of industrial waste on flammability. **Original Research Article Construction and Building Materials**, v. 40, p. 378-389, 2013.

TUTIKIAN, B. F.; DAL MOLIN, D.C. **Concreto autoadensável**. São Paulo: Pini, 2015.

TUTIKIAN, B. F.; ZUCHETTO, L. K.; SOUZA, R. P. de; OLIVEIRA, M. F. de. Uso de agregado leve de EVA em contrapiso argamassado para isolamento ao ruído de impacto em edificações residenciais. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 3, p. 295-306, jul./set. 2017.

TUTIKIAN, B. F.; NUNES, M. F. O.; LEAL, L. C.; MARQUETTO, L. Hormigón ligero con agregado reciclado de EVA para atenuación del ruido de impacto. **Materiales de Construcción**, v. 63, n. 310, p. 309-316, jul. 2013.

WARNOCK, A. C. C. Controlling the transmission of impact sound through floors. **Construction Technology Update**, Ottawa, n. 35, p.1-6, 1999.

ZINI, A.; ZUCHETTO, L. K; OLIVEIRA, M. F. de; GRISA, A.; PAGNUSSAT, D. T.; ZENI, M. Isolamento acústico de pisos: um novo composto com uma camada de polímero reciclado. **Revista de Engenharia Civil e Arquitetura**. Rio de Janeiro, n.10, p. 861-869, 2016.

ZUCHETTO, L. K.; NUNES, M. F. O.; PATRÍCIO, J. V.; **The effect of addition of layers on impact sound insulation of floors**. 2017, Hamburg: Inter.noise, 2016.

ZUCHETTO, L. K.; SOUZA, R. P.; TUTIKIAN, B. F.; NUNES, M. F. O. **Estudo de contrapisos leves à base de EVA (etileno acetato de vinila) para desempenho acústico e reduzidas cargas permanentes**. 2015, Lisboa: Alconpat, 2015.