



**UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA**

**LAISY MEURER PERIN**

**PEDRO ANTÔNIO PIMENTEL ZAPELINI**

**INVESTIGAÇÃO DO POTENCIAL DE FÍLER DE CALCÁRIO COMO PROMOTOR  
DE VISCOSIDADE PARA ARGAMASSAS AUTONIVELANTES**

**Tubarão**

**2021**

**LAISY MEURER PERIN**  
**PEDRO ANTÔNIO PIMENTEL ZAPELINI**

**INVESTIGAÇÃO DO POTENCIAL DE FÍLER DE CALCÁRIO COMO PROMOTOR  
DE VISCOSIDADE PARA ARGAMASSAS AUTONIVELANTES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Curso de Engenharia Civil da Universidade  
do Sul de Santa Catarina como requisito parcial  
à obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Lucimara Aparecida Schambeck Andrade, Ms.

Tubarão

2021

**LAISY MEURER PERIN**  
**PEDRO ANTÔNIO PIMENTEL ZAPELINI**

**INVESTIGAÇÃO DO POTENCIAL DE FÍLER DE CALCÁRIO COMO PROMOTOR  
DE VISCOSIDADE PARA ARGAMASSAS AUTONIVELANTES**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de Engenheiro Civil e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Civil da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Tubarão, 22 de junho de 2021.



---

Professora e orientadora Lucimara Aparecida Schambeck Andrade, Ms.  
Universidade do Sul de Santa Catarina



---

Prof. Maurício Alberto Büchele Motta, Esp.  
Universidade do Sul de Santa Catarina



---

Rennan Medeiros da Silva (PhD Student)  
Universidade de Ottawa

Às nossas famílias, dedicamos o resultado do esforço realizado ao longo deste percurso, pois é graças ao seu apoio que hoje podemos concluir o nosso trabalho.

## AGRADECIMENTOS

Reservo meus primeiros agradecimentos aos meus pais, Ida e Osório, por me darem a dádiva da vida, os princípios, os ensinamentos e o suporte necessário para me tornar a mulher que sou hoje. Obrigada por não medirem esforços para ver minha felicidade. Não há palavras que expressem minha gratidão por tudo o que fizeram e ainda fazem por mim, mas tento demonstrar isso dando sempre o melhor de mim, pois o mínimo que posso fazer, como forma de retribuição, é deixá-los orgulhosos pela filha que têm.

Às minhas irmãs, Morgana e Adriana por compreenderem minhas escolhas e por trazerem ao mundo as coisas mais preciosas da minha vida, meus sobrinhos: Alice, Davi, Heloísa e Verônica. A eles, guardo um agradecimento especial, por serem a alegria da família, e me motivarem a ser seu exemplo.

Agradeço meu amigo Pedro, pela confiança e parceria, não somente neste trabalho, mas no dia-a-dia. Obrigada pelas palavras de incentivo, por acreditar em mim até mesmo quando eu deixei de acreditar, pela paciência de me ouvir e pelos sábios conselhos.

À minha amiga Isadora, pelos anos de amizade, por estar sempre presente nos momentos bons e, principalmente, nos difíceis. Obrigada por ser essa pessoa de um coração gigantesco, por compreender minha ausência e por ser como uma irmã para mim.

Ao meu amigo Rhuan, por ser meu confidente e incentivador. Obrigada por todo o apoio, pelas palavras de conforto nos momentos difíceis, por comemorar minhas conquistas junto comigo e por sempre se fazer presente.

Aos meus amigos Mônica e Rennan, por me oferecerem oportunidades, me transmitirem conhecimento e serem meu exemplo, tanto no âmbito profissional, como no pessoal.

Aos amigos feitos no decorrer da graduação, em especial Caio, Dhener, Edna, Eduardo, Henrique, Letícia, Otávio, Paola e Thiago.

No mais, agradeço a orientadora deste trabalho, Lucimara Aparecida Schambeck, pela paciência, incentivo e sabedoria transmitida. Gostaria de agradecer a todos os professores pela elevada qualidade do ensino oferecido, em especial ao Professor Maurício Alberto Büchele Motta, que se dispôs a ser banca avaliadora deste trabalho.

Obrigada!

Laisy Meurer Perin

À minha mãe Tavana Pimentel Zapelini, amiga e parceira que mesmo diante de todas as dificuldades sacrificou-se todos estes anos para me apoiar em mais uma etapa da vida. Não tenho palavras que eu possa expressar o quanto sou grato pelo amor que sempre me foi depositado. Obrigado por sempre estar ao meu lado.

Ao meu pai José Paulo Medeiros Zapelini, por confiar e me guiar nas escolhas durante o processo de transformação deste menino em homem.

À minha namorada Ellen Ribeiro Figueiredo, que desde o ensino médio vem me apoiando em todos os meus projetos e sempre estando ao meu lado nos momentos mais difíceis.

Ao meu irmão Paulo Henrique Pimentel Zapelini, por sempre ter cuidado e confiado em mim, sempre me escutando e me ensinando.

Agradeço em especial minha amiga e colega deste trabalho Laisy Meurer Perin, por ter confiado em mim e ter feito confiar nela para que possamos ter desenvolvido este trabalho. Ela é um ser de muito caráter e terá um futuro muito promissor.

Aos meus amigos de Unisul, em especial Dhener Martins Bittercount, Eduardo Anselmo Costa, Felipe Garcia, Henrique de Souza Guimarães, Mônica Menegaz Martins, Otávio Patrício Mateus Júnior e Rhuan Peron Nazário.

To my friend and master on the academic journey Rennan Medeiros da Silva, for always guiding me in the paths of life and believing in my academic ability. Thank you for all knowledge transmitted over these years.

Agradeço, à Professora Lucimara Aparecida Schambeck, minha orientadora, que sempre me incentivou e depositou fé em mim durante este processo acadêmico. Ao Professor Maurício Alberto Büchele Motta por se dispor a participar da banca avaliadora.

Enfim, a todos que, fizeram parte deste desenvolvimento pessoal e intelectual, contribuindo de alguma forma ao longo destes últimos anos em minha vida.

Muito obrigado!

Pedro Antonio Pimentel Zapelini

“A melhor forma de prever o futuro é cria-lo” (Peter Drucker).

## RESUMO

Através da crescente necessidade de métodos que acelerem a produtividade no setor da construção civil, e com os avanços das tecnologias das argamassas, surgiu a argamassa autonivelante, como uma alternativa para execução de contrapisos com alto desempenho inicial, característica que possibilita o seu uso algumas horas após a sua aplicação. Dessa forma, visando o reaproveitamento de resíduos gerados pelas indústrias fornecedoras de matéria prima para a construção civil, no presente trabalho, investigou-se o potencial de resíduos de rochas calcárias, provenientes da região de Botuverá/SC, em argamassas autonivelantes para contrapiso. O teor de material passante na peneira 75µm foi qualificado e utilizado como adição nos traços de argamassa autonivelante, com teores entre 16% e 24% em relação à massa de cimento, substituindo, assim, o aditivo modificador de viscosidade (VMA). Com objetivo de avaliar a influência dos diferentes teores de adições, foram realizados estudos em pasta de cimento, analisando mecanismos envolvidos como medições de fluidez e calorimetria nas primeiras 20 horas. Após a etapa preliminar, foram produzidas argamassas autonivelantes com os teores que apresentaram melhores desempenhos no estudo da pasta. No estado fresco foram feitos os testes em argamassa para determinar sua viscosidade (Mini Funil V), sua fluidez (Mini Slump), o teor de ar e densidade real (Método Gravimétrico). Para as propriedades no estado endurecido foram considerados os ensaios de resistência à compressão axial, determinação da variação dimensional, resistência da tração na flexão, absorção por imersão e absorção por capilaridade. Verificou-se que, a argamassa autonivelante com adição de 20% de fíler de calcário apresentou os melhores resultados, tanto no estado fresco, como no estado endurecido. Assim, realizou-se o ensaio de aderência à tração, comprovando a eficácia da sua utilização para contrapisos.

Palavras-chave: Argamassa autonivelante. Fíler de calcário. Construção civil. Produtividade.

## ABSTRACT

Due to the increasing demand for methods that accelerate productivity in the civil construction sector, and to the advances in mortar technologies, the self-levelling mortar emerged as an alternative for the execution of subfloor with high initial performance, a characteristic that allows its use in a few hours after its application. Thus, aiming at the reuse of waste generated by industries that supply raw materials for civil construction, in the present work, the potential of limestone rock waste, from the region of Botuverá/SC, in self-levelling mortars for subfloor was investigated. The content of passerby material in the 75 $\mu$ m sieve was qualified and used as an addition in the self-levelling mortar traits, with contents between 16% and 24% in relation to the cement bulk, thus replacing the viscosity modifying additive (VMA). In order to evaluate the influence of different levels of additions, studies were carried out in cement paste, analyzing mechanisms involved, such as fluidity measurements and calorimetry in the first 20 hours. After the preliminary stage, self-levelling mortars were produced with the contents that showed the best performance in the study of the paste. In the fresh state, tests were carried out in mortar to determine its viscosity (Mini Funnel V), its fluidity (Mini Slump), the air content and bulk density (Gravimetric Method). For the properties in the hardened state, the test method for compressive strength, linear shrinkage, flexural tensile strength, immersion absorption and capillary absorption were conducted. It was noticed that the self-levelling mortar with the addition of 20% of calcareous filler showed the best results, both in the fresh and in the hardened state. Thus, the adhesive strength test was carried out, proving the effectiveness of its use for subfloors.

Keywords: Self-levelling mortar. Calcareous filler. Civil construction. Productivity.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|                                                                                                                                                                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 – Exemplo genérico do sistema de pisos e seus elementos.....                                                                                                                                                                  | 22 |
| Figura 2 – Manifestação patológica em contrapiso executado com argamassa convencional.                                                                                                                                                 | 23 |
| Figura 3 – Área de estacionamento com contrapiso autonivelante aplicado.....                                                                                                                                                           | 24 |
| Figura 4 – Aplicação da argamassa autonivelante em contrapiso residencial.....                                                                                                                                                         | 31 |
| Figura 5 – Acabamento com rolo quebra bolhas.....                                                                                                                                                                                      | 32 |
| Figura 6 – Organograma principal.....                                                                                                                                                                                                  | 34 |
| Figura 7 – Equipamentos utilizados para caracterização dos finos: a) Frasco de Le Chatelier contendo amostra de fíler. b) Aparelho de Blaine utilizado no ensaio da determinação da superfície específica .....                        | 35 |
| Figura 8 – Cilindro Espanhol utilizado no ensaio .....                                                                                                                                                                                 | 36 |
| Figura 9 – Calorímetro Semi-adiabático .....                                                                                                                                                                                           | 37 |
| Figura 10 – Cone para espalhamento .....                                                                                                                                                                                               | 38 |
| Figura 11 – Funil V .....                                                                                                                                                                                                              | 38 |
| Figura 12 – Formas para moldagem.....                                                                                                                                                                                                  | 39 |
| Figura 13 – Aparelho variação dimensional.....                                                                                                                                                                                         | 40 |
| Figura 14 – Aparelho de arrancamento .....                                                                                                                                                                                             | 41 |
| Figura 15 – Curva granulométrica da areia fina utilizada como agregado.....                                                                                                                                                            | 44 |
| Figura 16 – a) Resíduo bruto de calcário; b) Material passante na peneira 1,18mm e retido na 0,75mm; c) Fíler de calcário.....                                                                                                         | 44 |
| Figura 17 – a) Pasta sem adição de fíler; b) Pasta com 16% de adição de fíler; c) Pasta com 18% de adição de fíler; d) Pasta com 20% de adição de fíler; e) Pasta com 22% de adição de fíler; f) Pasta com 24% de adição de fíler..... | 48 |
| Figura 18 – Espalhamento no Cilindro Espanhol.....                                                                                                                                                                                     | 48 |
| Figura 19 – Curva da evolução de calor de hidratação do cimento.....                                                                                                                                                                   | 49 |
| Figura 20 – Resultados obtidos nos ensaios de Densidade de Massa e Teor de Ar Incorporado .....                                                                                                                                        | 51 |
| Figura 21 – Resultados obtidos nos ensaios de Espalhamento e Funil V.....                                                                                                                                                              | 51 |
| Figura 22 – Resultados da resistência à compressão .....                                                                                                                                                                               | 52 |
| Figura 23 – Resultados da resistência à tração na flexão .....                                                                                                                                                                         | 53 |
| Figura 24 – Resultados da absorção, índice de vazios e capilaridade .....                                                                                                                                                              | 54 |
| Figura 25 – Resultados da variação dimensional .....                                                                                                                                                                                   | 54 |
| Figura 26 – Ensaio de resistência de aderência à tração no traço com 20% de adição de fíler                                                                                                                                            | 55 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 – Composição química do cimento utilizado nos ensaios. ....       | 42 |
| Tabela 2 – Características físicas do cimento utilizado nos ensaios. ....  | 42 |
| Tabela 3 – Propriedades do aditivo TECFLOW 8000 .....                      | 43 |
| Tabela 4 – Características físicas da areia utilizada. ....                | 43 |
| Tabela 5 – Composição química do fíler .....                               | 46 |
| Tabela 6 – Resultados da Massa Específica e da Superfície Específica ..... | 47 |
| Tabela 7 – Proporção de materiais utilizados nas pastas de cimento .....   | 47 |
| Tabela 8 – Proporção de materiais utilizados nas pastas de cimento .....   | 50 |
| Tabela 9 – Resultados de aderência à tração .....                          | 56 |

## **LISTA DE QUADROS**

|                                                                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Quadro 1 – Comparativo entre os tipos de argamassas autonivelantes ensacada e dosada em central e argamassa convencional dosada em obra ..... | 25 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AFAM – Associação Fundo de Auxílio Mútuo dos Militares do Estado de São Paulo

ANEPAC – Associação Nacional das Entidades De Produtores de Agregados para Construção

BSI – British Standards Institution

CSTB – Centre Scientifique et Technique du Bâtiment

EFNARC – European Federation for Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems

FIESC – Federação das Indústrias do Estado de Santa Catarina

LEC – Laboratório de Engenharia Civil

MCS – Material Cimentício Suplementar

PDIC – Programa de Desenvolvimento Industrial Catarinense

UNISUL – Universidade do Sul de Santa Catarina

VMA – Aditivo Modificador de Viscosidade

## LISTA DE SÍMBOLOS

a/c relação água/cimento  
 $\mu\text{m}$  micrômetro  
 $\tau$  tensão de cisalhamento  
 $\gamma$  taxa de deformação  
 $\eta$  viscosidade aparente  
cm centímetro  
 $\text{cm}^3$  centímetro cúbico  
 $^{\circ}\text{C}$  graus celsius  
mm milímetro  
CP V ARI cimento Portland de alta resistência inicial  
 $\text{Al}_2\text{O}_3$  Óxido de alumínio  
 $\text{SiO}_2$  Dióxido de Silício  
 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  Óxido de ferro (III)  
CaO Óxido de cálcio  
MgO Óxido de Magnésio  
 $\text{SO}_3$  Trióxido de Enxofre  
% porcentagem  
min minutos  
 $\text{cm}^2$  centímetro quadrado  
g grama  
MPa megapascal  
kg quilograma  
 $\text{m}^3$  metro cúbico  
ppm partes por milhão  
 $\text{K}_2\text{O}$  Óxido de Potássio  
 $\text{Na}_2\text{O}$  Óxido de Sódio  
 $\text{mm}^2$  milímetro quadrado  
N Newton

## SUMÁRIO

|                                                     |           |
|-----------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO.....</b>                            | <b>18</b> |
| 1.1 JUSTIFICATIVA .....                             | 19        |
| 1.2 OBJETIVOS .....                                 | 20        |
| <b>1.2.1 Objetivo geral .....</b>                   | <b>21</b> |
| <b>1.2.2 Objetivos específicos .....</b>            | <b>21</b> |
| <b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>                 | <b>22</b> |
| 2.1 SISTEMA PARA CONTRAPISO.....                    | 22        |
| <b>2.1.1 Argamassa autonivelante.....</b>           | <b>23</b> |
| 2.1.1.1 Materiais constituintes.....                | 25        |
| 2.1.1.1.1 Cimento.....                              | 26        |
| 2.1.1.1.2 Agregado miúdo.....                       | 27        |
| 2.1.1.1.3 Adição Mineral.....                       | 27        |
| 2.1.1.1.4 Aditivos .....                            | 28        |
| 2.1.1.2 Propriedades reológicas.....                | 29        |
| 2.1.1.3 Aplicação de argamassa autonivelante .....  | 30        |
| 2.1.1.4 Propriedades no estado endurecido .....     | 32        |
| <b>3 METODOLOGIA.....</b>                           | <b>34</b> |
| 3.1 CARACTERIZAÇÃO DO FINO .....                    | 34        |
| 3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS .....              | 35        |
| 3.3 DETERMINAÇÃO DAS PASTAS DE CIMENTO .....        | 36        |
| 3.4 ENSAIOS EM ARGAMASSA NO ESTADO FRESCO.....      | 37        |
| 3.5 ENSAIOS EM ARGAMASSA NO ESTADO ENDURECIDO ..... | 39        |
| <b>4 MATERIAIS .....</b>                            | <b>42</b> |
| 4.1 CIMENTO PORTLAND .....                          | 42        |
| 4.2 ÁGUA.....                                       | 43        |
| 4.3 ADITIVO.....                                    | 43        |
| 4.4 AGREGADOS.....                                  | 43        |
| 4.5 ADIÇÕES .....                                   | 44        |
| <b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>               | <b>46</b> |
| 5.1 DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA .....        | 46        |
| 5.2 DETERMINAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS .....  | 46        |
| 5.3 ENSAIOS EM PASTA.....                           | 47        |

|          |                                    |           |
|----------|------------------------------------|-----------|
| 5.4      | ENSAIOS NO ESTADO FRESCO .....     | 50        |
| 5.5      | ENSAIOS NO ESTADO ENDURECIDO ..... | 52        |
| <b>6</b> | <b>CONCLUSÃO.....</b>              | <b>57</b> |
|          | <b>REFERÊNCIAS .....</b>           | <b>58</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

Na construção civil, a busca por novas tecnologias que visam a otimização dos processos construtivos e o crescimento da produtividade está se tornando cada vez mais comum. Com isso, surgiu a argamassa autonivelante para a produção de contrapisos, material pouco conhecido e estudado no Brasil, mas que, segundo Chaves (2019), é bastante popular na Europa desde a década de 1980.

Em algumas áreas relacionadas à construção civil existe precariedade quanto à atenção dada para certas atividades. Insere-se neste grupo a produção de contrapisos. Em grande parte das situações, esta atividade não possui projeto específico, sendo deixada ao critério do operário da obra a maneira de execução. Ocorre que este funcionário não possui conhecimento técnico para avaliar todas as variáveis envolvidas na realização desta atividade, fator que influencia diretamente na produção e execução e ainda na qualidade final do contrapiso, destaca Nunes et al. (2013).

Os procedimentos de execução utilizados atualmente têm se mostrado ineficientes, o que pode ocasionar futuras manifestações patológicas não somente ao sistema de contrapisos, mas também ao revestimento, em geral cerâmico, aplicado sobre o referido contrapiso. Ainda, os processos empregados apresentam excessivo consumo de materiais, o que implica em um elevado custo para a obra. Além disso, a qualidade final apresentada é questionável, pois uma vez que não há padronização no processo, as camadas de contrapiso podem apresentar espessuras variáveis, fator que também influencia diretamente nas cargas atuantes na edificação (BARROS; SABBATINI, 1991; IRKI et al., 2017).

Isto posto, chama-se a atenção para o concreto autonivelante, que conforme Irki et.al. (2017), tem como característica principal apresentar alta fluidez, viscosidade suficiente e coesão entre seus componentes. Estas propriedades permitem que a mistura se espalhe uniformemente pela superfície sem a necessidade de aplicação de uma força para que isto aconteça, adensando e nivelando-se apenas sob efeito da gravidade. O resultado é um produto uniforme, com homogeneidade e sem segregação ou exsudação. Essas são características semelhantes às que uma argamassa autonivelante deve apresentar a fim de produzir um contrapiso uniforme e de qualidade, que atenda ao desempenho mínimo estabelecido pela NBR 15575-3 (ABNT, 2013), conforme corrobora Gama (2017).

Para que a argamassa autonivelante atenda aos requisitos de instalação, carga e durabilidade, sua composição apresenta de 25 a 45% da massa total de cimento Portland de alta resistência inicial, 40 a 60% de areia fina quartzosa, 10 a 15% de aditivos químicos e adições

minerais, as quais modificam as características reológicas no estado fresco e as propriedades mecânicas no estado endurecido, e por fim, a água compõe 20 a 30% da massa seca total, variando conforme o acabamento ou regularização (NAKAKURA; BUCHER, 1997).

Logo, o presente trabalho visa contribuir para o desenvolvimento das argamassas autonivelantes no país, viabilizando a sua produção com a utilização de resíduos de britagem de rocha calcária como adição mineral.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

A utilização de argamassa autonivelante possibilita acelerar a produtividade, já que seu lançamento é muito rápido e dispensa adensamento e nivelamento, requerendo um número menor de operários no canteiro de obra, se comparado ao método convencional. Consequentemente, demanda menos tempo de serviço.

Em produtos à base de cimento Portland, como a argamassa autonivelante, para se atingir uma melhor fluidez é necessária uma adição maior de água, aumentando a relação água/cimento (a/c) da mistura. Esta maior fluidez evitará a necessidade de vibração e diminui também o tempo e o consumo de energia envolvida em sua execução. Entretanto, com o aumento do fator a/c, o produto apresentará menor densidade, maior risco a segregação dos materiais constituintes e exsudação, o que afetará as propriedades mecânicas, a durabilidade e a vida útil do sistema de piso. Com o intuito de aumentar a fluidez sem afetar estes pontos, faz-se uso de aditivos químicos, como o superplastificante (KATSIADRAMIS; SOTIROPOULOU; PANDERMARAKISA, 2010; IRKI et al., 2017).

Segundo Hartmann et al. (2011) corroborados por Tutikian e Dal Molin (2015), o aditivo superplastificante aumenta a carga negativa do cimento e faz suas partículas se dispersarem devido a repulsão elétrica, consequentemente exigindo menos água para chegar à fluidez desejada. O aumento do nível de hidratação e a baixa porosidade aumentam a resistência e a durabilidade do produto.

Já para aumentar a coesão da mistura e evitar a segregação, utilizam-se aditivos modificadores de viscosidade ou adições mineiras (BENABED et al., 2012; TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2015). Para este fim, nesta pesquisa será utilizado resíduo de britagem de rocha calcária como adição mineral. Este material foi coletado em uma pedreira em operação na região de Botuverá/SC que extrai rocha calcária. O resíduo de interesse para esta pesquisa são os finos menores que 75  $\mu\text{m}$  retidos por aerosseparadores, para que as areias de britagem atendam o teor máximo de material pulverulento permitido pela NBR 7211 (ABNT, 2009).

Assim, além dos benefícios relacionados às propriedades da argamassa, será possível realizar uma expressiva contribuição ambiental, pois estes resíduos são descartados de forma inadequada na natureza.

Desta forma, com a finalidade de encontrar soluções que diminuam os custos para a implementação do contrapiso, além de incrementar sua produtividade e trazer um produto com qualidade suficiente para atender o desempenho estabelecido pela NBR 15575-3 (ABNT, 2013), esta pesquisa propõe o desenvolvimento de argamassa autonivelante fazendo uso dos materiais constituintes disponíveis na região de Botuverá – Santa Catarina, a fim de iniciar uma difusão desta tecnologia no estado.

Entretanto, são poucos os parâmetros nacionais referentes à argamassa autonivelante, pois não há normalização brasileira que especifique como deve ser a elaboração de projetos e a execução de contrapisos. A NBR 15575-3 (ABNT, 2013) preconiza os requisitos que o sistema de pisos deve apresentar para que alcance um desempenho adequado às necessidades dos usuários, onde o contrapiso é uma das camadas constituintes. Porém, por ser uma norma de desempenho, esta não especifica o processo de execução da camada de contrapiso.

Neste sentido, o estudo da argamassa autonivelante para utilização como contrapiso segue o proposto no Programa de Desenvolvimento Industrial Catarinense (PDIC 2022). Este programa, desenvolvido pela Federação das Indústrias do Estado de Santa Catarina (FIESC), tem como objetivo ampliar a prosperidade da indústria catarinense e sua competitividade até o ano de 2022 (FIESC, 2018). O PDIC 2022 visa melhores estratégias para o desenvolvimento de 16 setores, entre eles o da construção civil. O Programa aponta as principais tendências no setor, como intensificação tecnológica, automação de processos, novas técnicas construtivas, novos materiais com melhor relação custo/benefício, tendências estas em que a argamassa autonivelante se enquadra (REVISTA INDUSTRIALIZAR EM CONCRETO, 2014).

Com base no exposto, identificou-se haver a necessidade de investigar o potencial do uso de finos de rocha como promotores de viscosidade para argamassas autonivelantes.

## 1.2 OBJETIVOS

Neste item são apresentados os objetivos geral e específicos definidos para esta pesquisa.

### **1.2.1 Objetivo geral**

Avaliar a produção de argamassa autonivelante com a adição de finos menores que 75  $\mu\text{m}$  oriundos da britagem de rocha como promotor de viscosidade, a fim de contribuir com desenvolvimento da indústria da construção civil.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

Para alcançar o objetivo geral proposto foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Investigar as características físicas e químicas dos finos de rocha menores que 75  $\mu\text{m}$  para possibilitar a construção de correlação com os estudos em argamassa;
- Analisar diferentes pastas produzidas com variados teores de finos de rocha a fim de determinar a de melhor desempenho para ser empregada nas argamassas autonivelantes que serão testadas;
- Investigar as propriedades da argamassa autonivelante no estado fresco e endurecido a fim de determinar a melhor proporção e teor de adição de finos de rocha;
- Com base nos resultados obtidos avaliar qual a melhor dosagem para argamassa autonivelante que atenda aos requisitos de reologia no estado fresco e as propriedades mecânicas no estado endurecido para aplicação em contrapiso.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

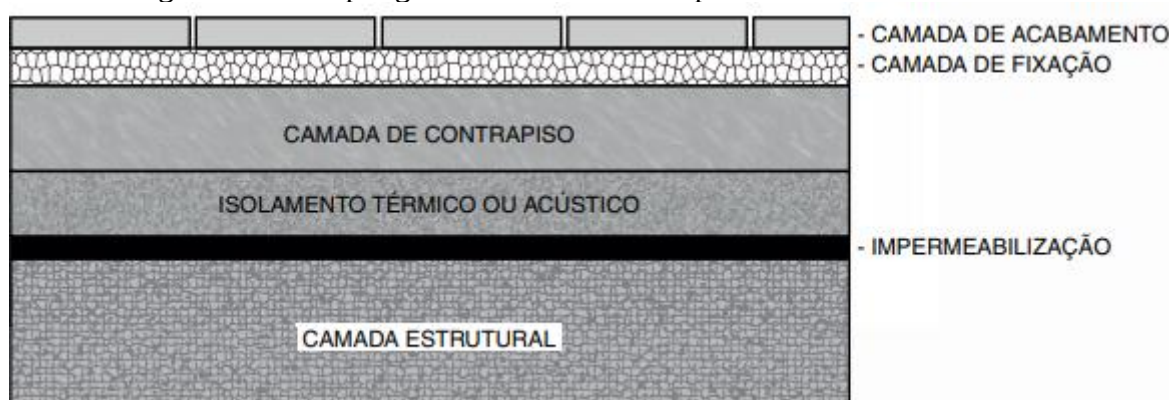
Neste capítulo são apresentados os conceitos fundamentais relacionados aos sistemas de contrapiso assim como aqueles voltados às argamassas autonivelantes, levando em consideração seus materiais constituintes, seu comportamento no estado fresco e endurecido e sua aplicação.

### 2.1 SISTEMA PARA CONTRAPISO

O sistema de contrapiso largamente utilizando em diversos tipos de construções, por não ser detalhado em projeto acaba tornando-se uma atividade deixada de lado, sendo considerada uma operação auxiliar quando comparada a outras atividades dentro do canteiro de obras. Segundo Barros e Sabatini (1991) quando executado o sistema de contrapiso, na maioria das vezes, é utilizado mão de obra desqualificada, resultando dessa forma no mau uso dos materiais em sua composição. A fabricação de argamassa convencional para contrapiso demanda, em muitos casos, um consumo deliberado de materiais, assim desperdiçando mão de obra e tornando a utilização dos equipamentos ociosos.

A NBR 15575-3 (ABNT, 2013) enfatiza que o sistema de contrapiso necessita apresentar características para atender aos usuários boas condições durante toda a vida útil do imóvel, independentemente do tipo de material empregado na sua execução. Ainda segundo a normativa citada, o sistema de piso é composto por um conjunto de camadas parciais ou totais, conforme mostrado na Figura 1, que devem atender os critérios de desempenho proposto.

Figura 1 – Exemplo genérico do sistema de pisos e seus elementos

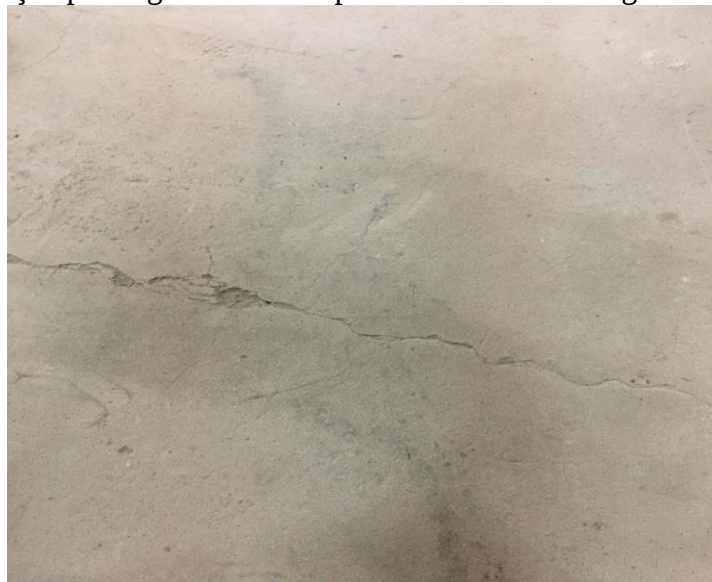


Fonte: NBR 15575-3 (2013).

Os procedimentos de produção devem contemplar os aspectos relativo à mão de obra, materiais e equipamentos disponíveis em todas as fases de fabricação e transporte (BARROS; SABATINI, 1991). A má execução do sistema de contrapiso pode implicar

posteriormente em manifestações patológicas, conforme mostra a Figura 2, estas por sua vez podem ser derivadas da falta de controle de dosagem, na incoerência na utilização dos materiais, assim levando a um aumento no custo final da obra.

Figura 2 – Manifestação patológica em contrapiso executado com argamassa convencional



Fonte: Autores (2020).

Como observado na figura acima, a argamassa do tipo farofa está sujeita a fissuras com frequência por não ter um controle eficaz na espessura. Rubin (2015) relaciona que apesar da NBR 15575-3 estabelecer funções e alguns requisitos de desempenho para o sistema de pisos, a normatização brasileira é ainda muito convencional tratando-se das especificações para execução e controle de cada camada de contrapiso apresentada.

### **2.1.1 Argamassa autonivelante**

Argamassa autonivelante é uma argamassa com características de alta fluidez e baixa viscosidade, capaz de moldar-se em superfícies horizontais com o próprio peso da gravidade sem que ocorra a separação dos materiais constituintes, conhecido como segregação. Em geral, sua composição é monocomponente de base cimentícia de fácil aplicação, executada por meio de procedimentos mecânicos, como a utilização de bombas pneumáticas. Sua aplicação é rápida e simples, e o material se espalha no ambiente aplicado, de forma coesa e homogênea (RUBIN, 2015).

Segundo Martins (2009) a argamassa autonivelante deriva-se da argamassa autoadensável, diferindo-se pela obrigatoriedade de a argamassa autonivelante ser constituída por uma superfície horizontalmente nivelada. Aplicação deste tipo de material está voltada usualmente em contrapisos industriais, sendo também utilizada em menor escala em

residências. A sua fácil aplicabilidade, aliada a uma secagem mais rápida, em virtude da sua espessura mais fina, diminui a mão de obra empregada, principalmente quando comparada aos contrapisos moldados com argamassa convencional do tipo farofa. Como apresentando na Figura 3 a aplicação industrial deste tipo de argamassa está ganhando espaço no mercado construtivo.

Figura 3 – Área de estacionamento com contrapiso autonivelante aplicado



Fonte: Lessa e Coutinho (2013).

Para Chaves (2019), a argamassa autonivelante busca possibilitar uma melhor aplicabilidade e moldagem em sistemas de contrapisos, evitando a falha de aplicação ou de técnica inadequada do operador. Como demonstrado na figura anterior, percebe-se que não há falhas de aplicação, deixando sua superfície uniforme. Ao contrário da argamassa dosada em obra, a argamassa autonivelante possui uma consistência muito melhor, dessa maneira sua trabalhabilidade está atrelada a agilidade na aplicação resulta em um contrapiso com características mecânicas e estéticas capazes de substituir o método convencional.

No Quadro 1 são citadas as vantagens e desvantagens sobre a utilização dos diferentes tipos de argamassas autonivelantes e da argamassa dosada em obra do tipo farofa para aplicação em contrapisos.

Quadro 1 – Comparativo entre os tipos de argamassas autonivelantes ensacada e dosada em central e argamassa convencional dosada em obra

| <b>Argamassa autonivelante de contrapiso ensacada</b>       | <b>Argamassa autonivelante de contrapiso dosada em central</b> | <b>Argamassa convencional de contrapiso dosada em obra</b>  |
|-------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Mistura feita em betoneira convencional                     | Entrega precisa ser programada com antecedência                | Mistura feita em betoneira convencional                     |
| Atentar-se para correta dosagem dos materiais               | Melhor controle de dosagem                                     | Atentar-se para correta dosagem dos materiais               |
| Necessita de mais mão de obra para sua execução             | Menor mão de obra para sua execução                            | Necessita de mais mão de obra para sua execução             |
| A argamassa vai sendo produzida à medida que vai utilizando | A demora da descarga pode acarretar a perda do material        | A argamassa vai sendo produzida à medida que vai utilizando |
| Não necessita de reparos                                    | Não necessita de reparos                                       | Necessita de reparos                                        |
| Secagem em torno de 3 a 4 horas                             | Secagem em torno de 3 a 4 horas                                | Secagem em torno de 1 dia                                   |

Fonte: Adaptado de Souza (2013).

A utilização do sistema de contrapiso com argamassa autonivelante explica algumas vantagens sobre a argamassa convencional do tipo farofa, como: agilidade na produtividade, utilização de menos trabalhadores para a aplicação e produção da argamassa, diminuição do desperdício da argamassa, controle da espessura do contrapiso, melhorando o peso final do sistema de piso.

Sob a perspectiva histórica da construção civil, a argamassa autonivelante no território nacional ainda é considerada uma novidade, principalmente pela barreira encontrada no mercado quando comparada aos métodos tradicionais. Embora, os primeiros estudos sobre este tipo de argamassa datam da década de 80 no mercado europeu. Para Rubin (2015) somente ao decorrer dos últimos 10 anos com a expansão do mercado construtivo pesquisadores e empresas aprofundaram o conhecimento a respeito das propriedades no estado endurecido e fresco e compostos autonivelantes.

#### 2.1.1.1 Materiais constituintes

As propriedades físicas e estéticas da argamassa autonivelante conseguem ser comparadas com o concreto autoadensável, onde um e outro apresentam materiais com o mesmo princípio de adensamento, capaz de moldar-se com o próprio peso através da ação da gravidade, apresentando alta fluidez e baixa viscosidade. Os materiais devem possuir

características específicas e teores de mistura que proporcionem a fluidez adequada sem haver segregação da argamassa (MARTINS, 2009). No entanto, é necessário atentar-se no preparo da mistura e as propriedades físicas dos materiais utilizados para obter uma argamassa autonivelante homogênea e coesa.

Para Felekonglu et al. (2006) a composição do traço da argamassa autonivelante deve ser definida para proporcionar uma melhor trabalhabilidade dos materiais para a consistência requerida. Apesar de os procedimentos de dosagem de argamassa autonivelante não serem normatizados, não havendo um critério fixado para sua elaboração e utilização.

Conforme Nakamura e Bucher (1997), as argamassas autonivelantes são compostas por aglomerante hidráulico de base cimentícia, como o Cimento Portland representando cerca (de 25 a 45% da massa total), agregado miúdo (40% a 60%). Além de uma série de aditivos e adições minerais que ocupam cerca de (10 a 15%) da composição da massa, esses últimos têm o objetivo de modificar suas características físicas-mecânicas no estado fresco e endurecido, adaptando a usabilidade da argamassa autonivelante. A água de amassamento representa cerca de 20 a 30% da massa seca total da mistura, variando de acordo com o tipo de destinação do material.

Apesar de existirem diversas argamassas autonivelantes com bases diferentes (cimento, sulfato de cálcio, magnésio, entre outras), este trabalho apresentará apenas argamassas autonivelantes de base cimentícia, que tenham em sua composição agregado miúdo, aditivos superplastificante e modificador de viscosidade, água e adição mineral de fíler de calcário, basalto ou quartzo.

#### *2.1.1.1.1 Cimento*

O cimento é o principal aglomerante hidráulico utilizado na argamassa autonivelante, servindo como ligante da pasta. É formado por silicatos e aluminatos de cálcio que quando entram em contato com a água, hidratam-se da rigidez à mistura, sem se decompor novamente com a presença de água (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

O cimento deve ser escolhido de acordo com as propriedades que se pretende alcançar na composição final em que se destina. Atentando para os diversos tipos encontrados no mercado, sendo que a utilização de determinado tipo pode acarretar vantagens e desvantagens no produto.

Para Martins (2009) o tipo de cimento utilizado na produção de argamassa autonivelante não é normatizando, assim podendo utilizar qualquer opção no mercado. No

entanto, vale ressaltar que cada tipo de cimento apresenta uma finura e um consumo diferente nas propriedades mecânicas e reológicas da argamassa autonivelante, podendo mudar as propriedades físicas e mecânicas buscadas na argamassa autonivelante.

#### *2.1.1.1.2 Agregado miúdo*

A utilização de agregados na argamassa autonivelante está condicionada a uma dimensão máxima característica baixa, sendo que, para auto nivelar, a argamassa precisa percorrer obstáculos de forma livre. Assim, a granulometria do material utilizado na argamassa autonivelante influirá nas propriedades reológicas. Agregados com granulometria mais grossas impedirão a fluidez da argamassa.

Como afirma Chaves (2019), areias naturais apresentam granulometrias mais finas, sendo bastante indicadas para o uso na argamassa autonivelante. Se possível, adequar a composição granulométrica do agregado miúdo conforme sua utilização, levando em consideração o preenchimento de vazios existente. Quanto maior o índice de finura, melhor a trabalhabilidade e fluidez da argamassa autonivelante.

Já para Martins (2009), a dosagem do agregado miúdo a ser utilizado nos traços de argamassa autonivelante deve ser em função da granulometria, com a curva granulometria mais continua e fina, sendo essa propriedade responsável pela coesão e viscosidade do material. Portanto, se o agregado apresentar um índice de finura maior, isso poderá comprometer a viscosidade da argamassa, reduzindo uma das propriedades principais da argamassa autonivelante, que é um bom espalhamento.

#### *2.1.1.1.3 Adição Mineral*

As adições minerais são um dos componentes essenciais para obtenção das características físicas e mecânicas das argamassas autonivelantes, considerando que a resistência a segregação é impedida através da utilização dessas adições. Para Rizwan e Bier (2012), esta característica é obtida com o uso das adições minerais e uma baixa relação de água/aglomerante, as vezes não necessitando de aditivo químico modificador de viscosidade.

Chaves (2019) diz que o teor de adição mineral nas formulações de argamassa autonivelante é um poderoso influente para que haja benefícios na demanda de água do sistema, teor de cimento, retração, calor de hidratação e na microestrutura, obtendo uma maior resistência e trabalhabilidade da argamassa autonivelante. Tais características influenciam no

auto nivelamento, viscosidade controlada, tempo de pega, secagem rápida, durabilidade da superfície.

Por apresentarem partículas minúsculas, as adições minerais realizam um efeito de fíler na argamassa autonivelante, preenchendo os vazios e aumentando a viscosidade. Isso auxilia na aceleração de hidratação nas primeiras idades, devido ao efeito de compactação dos materiais constituintes, diminuindo as chances de exsudação e segregação da argamassa. Os minerais inertes, como fíler de calcário e quartzo moído, aumentam a capacidade de mistura, enquanto os minerais reativos, representados pela cinza volante, cinza de casca de arroz, metacaulim, escória de alto forno e sílica ativa contribuem para formação de hidratos da pasta cimentícia, aumentando sua resistência e diminuindo sua permeabilidade (METHA; MONTEIRO, 2014).

Portanto, a substituição na mistura deve ser feita de maneira inteligente, uma vez que poderá provocar, dependendo da sua utilização, um aumento da demanda de água utilizada na argamassa autonivelante devido ao aumento da área específica, possibilitando também ocorrência do retardo de pega e retração, ocasionando em fissuras superficiais.

#### *2.1.1.1.4 Aditivos*

A utilização dos aditivos químicos dentro da argamassa autonivelante apresenta uma complexidade externada pelas propriedades que modificam suas características tanto no estado fresco como no estado endurecido. Os principais componentes utilizados para dosagem da argamassa autonivelante são os superplastificantes e os modificadores de viscosidade. A combinação destes dois aditivos resulta num produto de alta fluidez e viscosidade controlada, qualidades importantes neste tipo de argamassa.

Segundo a NBR 11768 (ABNT, 2011), os aditivos superplastificantes são capazes de reduzir em até 12% a água de amassamento, produzindo uma pasta com mesma consistência e sem perda de resistência mecânica. De acordo com Martins (2009), os aditivos superplastificantes oferecem trabalhabilidade a pasta de argamassa, assegurando sua capacidade de espalhamento e reduzindo a tensão de escoamento.

Para Katsiadrimis, Sotiropoulou e Pandermarakis (2010) o uso de aditivos superplastificantes não tem influência absoluta sobre a resistência mecânica das argamassas autonivelantes, uma vez que a interação entre todos os materiais resulta nas características físicas e mecânicas da argamassa autonivelante.

Por outro lado, os aditivos modificadores de viscosidade influenciam na coesão e estabilidade dos componentes de mistura, mantendo a água controlada e evitando a exsudação e segregação dos materiais. O aditivo retém a água da pasta, mantendo as partículas finas em sua composição em suspensão (MARTINS, 2009).

Tutikian e Dal Molin (2008) afirmam que é fundamental um controle quanto ao teor de modificador de viscosidade e sua interação com o aditivo superplastificante, para evitar principalmente problemas com retardo de pega, alteração no desenvolvimento da resistência nas primeiras idades, coesão excessiva e aumento da retração por secagem.

Chaves (2019) caracteriza que, por se tratar de um produto de alta fluidez, a argamassa autonivelante tem uma elevada taxa de cisalhamento, nesse caso a viscosidade diminui, facilitando a execução da peça. Assim, após a aplicação da argamassa, a viscosidade tende a aumentar e garante a capacidade de reter água e manter os materiais coesos entre si.

#### 2.1.1.2 Propriedades reológicas

De acordo com Freitas et al. (2010), a propriedade de adensamento das argamassas autonivelantes ocorre em função da reologia que as tornam bastante fluidas, sem que ocorra exsudação e segregação.

A argamassa autonivelante pode ser definida como uma suspensão de partículas, quando analisada sob o ponto de vista reológico, ou seja, trata-se de uma mistura do tipo sólido/líquido na qual as partículas se distribuem de forma relativa e uniforme através do meio líquido (MARTINS, 2009).

A reologia, segundo Manrich e Pessan (1987), é a ciência que estuda o fluxo e a deformação dos materiais complexos quando submetidos a uma determinada tensão ou solicitação mecânica externa. É conhecida como a ciência da deformação e fluidez da matéria com relação direta entre tensão, deformação e tempo. Os aspectos reológicos permitem prever a força necessária para causar uma dada deformação ou escoamento em um corpo.

A reologia é uma ferramenta utilizada para descrever o comportamento de fluxo, espessamento, perda de trabalhabilidade, estabilidade e, até mesmo, a compactabilidade baseada na suspensão de partículas em pastas, argamassas e concretos (WALLEVIK; WALLEVIK, 2011).

Para melhor avaliar os parâmetros reológicos, torna-se essencial o entendimento dos conceitos relacionados à tensão, deformação e viscosidade. Quando uma tensão de cisalhamento ( $\tau$ ) é aplicada em um fluido ocorre uma deformação. A relação entre a tensão de

cisalhamento que é aplicada em um fluido e a taxa de cisalhamento, ou taxa de deformação ( $\gamma$ ), resultante é denominada de viscosidade aparente ( $\eta$ ) (SCHAEFER, 2013).

Na auto-adensabilidade da argamassa autonivelante, a tensão de escoamento deve ser baixa para garantir o aumento da fluidez, já à viscosidade deve ser moderada para que ocorra a estabilidade necessária (GOMES, 2002).

Quanto menor for a viscosidade, menor será a dissipação de energia, e mais rápida será a movimentação do sistema, resultando em melhores características de moldagem. Todavia, se a viscosidade da pasta for muito reduzida, o material poderá sofrer com a separação de fases, sendo este um grande problema em sua aplicação (ROMANO; CARDOSO; PILEGGI, 2011).

#### 2.1.1.3 Aplicação de argamassa autonivelante

A camada do contrapiso, de acordo com Martins (2009), possui diversas finalidades, como a de regularizar a base para a fixação do revestimento, vedação, estanqueidade, isolamento termoacústico, permite embutimento de instalações, entre outras.

A qualidade final do contrapiso, além de ser definida pela argamassa utilizada, também depende das técnicas utilizadas para a sua execução, que na maioria das vezes não apresentam embasamento teórico e nem um projeto específico, conforme citado por Barros e Sabbatini (1991).

A argamassa autonivelante, por apresentar características específicas que garantem a total horizontalidade do contrapiso, facilita a sua execução (MARTINS, 2009). Todavia, assim como na execução dos contrapisos de argamassa convencional, alguns cuidados devem ser tomados, como o preparo da laje, colocação de juntas e barreiras de contenção, lançamento e aplicação, nivelamento, acabamento e cura (RUBIN, 2015).

Para o preparo da laje, segundo Elder e Vandenberg (1977), o CSTB (1982) e a BS 8204 (BSI, 1987), após a promoção da rugosidade necessária à base e a sua completa limpeza, a superfície deve ser molhada abundantemente de água, pelo menos 24 horas antes da aplicação do contrapiso, para que a hidratação do cimento presente na argamassa não seja prejudicada, bem como sua resistência (apud BARROS; SABBATINI, 1991).

Após o preparo da superfície, as juntas estruturais da edificação devem ser prolongadas ao revestimento autonivelante, antes da sua aplicação (RUBIN, 2015). Para maiores espessuras de argamassa autonivelante, é necessário a colocação de juntas de espuma em todo o perímetro do ambiente, entre a alvenaria e o contrapiso a ser executado, com o intuito

de absorver a possível dilatação do material. Nos vãos do ambiente, devem ser colocadas barreiras para delimitar a área a ser trabalhada e conter o material.

Quanto à aplicação da argamassa autonivelante, Gugelmin (2013) afirma que a forma mais adequada de aplicação do material para sua correta distribuição é em movimentos de zigue-zague. Quanto a espessura do contrapiso, AFAM (2005) atenta que devem ser respeitados os limites máximos e mínimos recomendados pelo fabricante, e se necessário, a aplicação pode ser feita em mais de uma camada, aguardando o tempo de endurecimento de cada camada. A Figura 4 mostra a argamassa autonivelante sendo aplicada.

Figura 4 – Aplicação da argamassa autonivelante em contrapiso residencial



Fonte: Bennter (2021).

De acordo com Rubin (2015), para o nivelamento do material após sua aplicação, utiliza-se o rodo nivelador em casos de baixas espessuras de argamassa e/ou onde os substratos apresentam boa planicidade. Já para os casos de altas espessuras e/ou onde os substratos não apresentam boa planicidade, a verificação do nível é realizada por meio de tripés de nivelamento.

Ainda segundo Rubin (2015), após o nivelamento do contrapiso, é feito o acabamento, com a finalidade de deixar a superfície do produto mais uniforme, melhorar seu assentamento e eliminar bolhas de ar aprisionadas durante a aplicação do material. Para baixas espessuras, utiliza-se o rolo quebra bolhas, conforme mostra a Figura 5, ou o rolo dentado, em movimentos vai-e-vem sobre a argamassa. Já para maiores espessuras, utiliza-se a régua “T” de alumínio, em movimentos perpendiculares entre si, ou movimentos consecutivos de cima para baixo. O acabamento deve ser feito antes do tempo de início de pega do produto.

Figura 5 – Acabamento com rolo quebra bolhas



Fonte: Quartzolit (2020).

Por fim, como se trata de um produto cimentício, deve ser realizada a cura, com o intuito de evitar retração, e consequente fissuração, por secagem. Por não haver uma normativa brasileira específica sobre argamassa autonivelante, há divergência entre diversos autores quanto ao tempo e tipo de cura deste material. Entretanto, segundo Barros e Sabattini (1991, p.100), “recomenda-se, de modo geral, que a cura se processe durante uma semana, cobrindo o contrapiso com uma camada impermeável [...]”.

Comparando os processos de aplicação da argamassa convencional aos da argamassa autonivelante, nota-se que a segunda se destaca pela rapidez e facilidade de aplicação, nivelamento e acabamento.

#### 2.1.1.4 Propriedades no estado endurecido

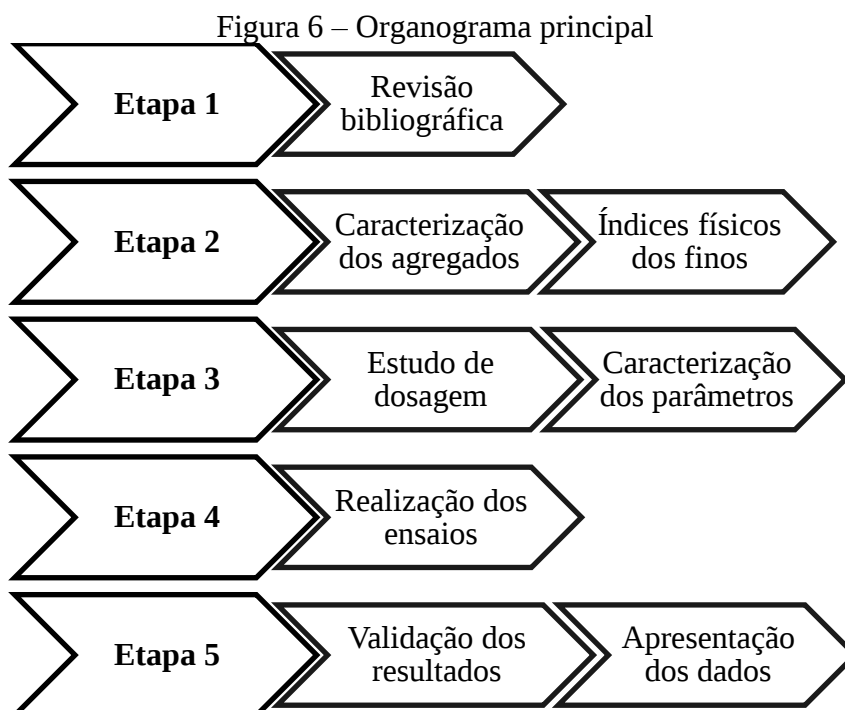
Para que a argamassa autonivelante resulte em um contrapiso de qualidade, o qual atenda aos requisitos de carga, solicitação e durabilidade, conforme indicados pela NBR 15575-3 (ABNT, 2013), esta deve possuir propriedades adequadas no estado endurecido. Para verificar estas propriedades, são realizados ensaios como resistência à compressão, resistência à tração na flexão, índice de vazios, absorção de água e massa específica.

Para verificar a resistência à compressão, os ensaios devem ser realizados segundo a NBR 12041 (ABNT, 2012). Para a resistência à tração na flexão, os ensaios seguem o previsto

na NBR 13279 (ABNT, 2005). Para a obtenção do índice de vazios, absorção de água e massa específica, aplica-se o exposto na NBR 9778 (ABNT, 2005).

### 3 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento desta pesquisa, visando alcançar os objetivos propostos, estruturou-se um planejamento experimental, conforme a Figura 6, organizado nas seguintes etapas:



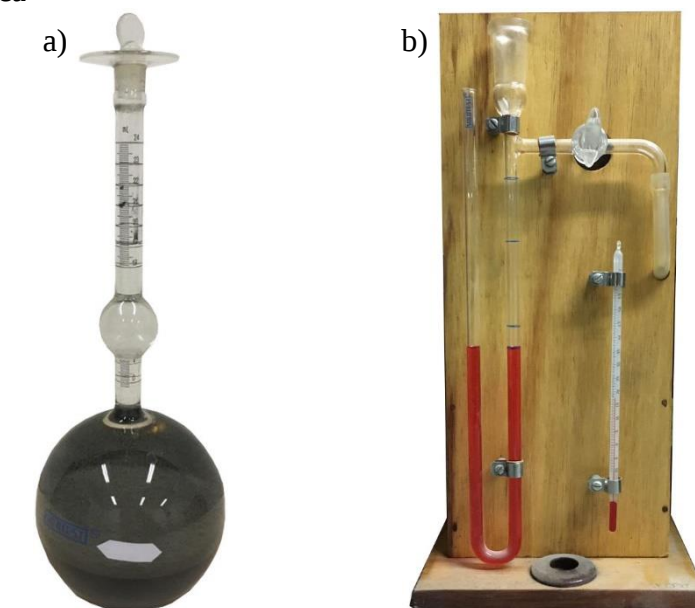
Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

As etapas 2 a 4 serão descritas no decorrer deste capítulo.

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DO FINO

Para a caracterização do fíler de calcário, foi realizada a determinação da sua massa específica através do método preconizado pela NBR 11513 (ABNT, 2016), com a utilização do frasco volumétrico de Le Chatelier, além da superfície específica pelo método Blaine, de acordo com a NBR 16372 (ABNT, 2015). A Figura 7 apresenta os equipamentos utilizados para estes ensaios.

Figura 7 – Equipamentos utilizados para caracterização dos finos: a) Frasco de Le Chatelier contendo amostra de fíler. b) Aparelho de Blaine utilizado no ensaio da determinação da superfície específica



Fonte: Autores (2021).

### 3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS

Para caracterização dos agregados constituintes no traço da argamassa autonivelante baseou-se em suas respectivas normas, que estabelecem os índices físicos dos agregados. Dessa maneira, a escolha correta do agregado miúdo buscou identificar um material com propriedades e dimensões adequadas para compor a argamassa autonivelante.

Segundo Neville (1982) estes materiais podem conter substâncias que interfiram no desempenho da hidratação do cimento, substâncias que cobrem a superfície do agregado impedindo uma boa aderência com a pasta de cimento, compostas por partículas que podem alterar a resistência e durabilidade de concreto e argamassas.

Assim, identificou-se os índices físicos dos agregados através dos seguintes métodos: determinação da massa unitária no estado solto e compactado, utilizando os métodos A e C propostos pela NBR NM 45 (ABNT, 2006), respectivamente; determinação das impurezas orgânicas conforme a NBR NM 49 (ABNT, 2001); determinação da massa específica e absorção de água, de acordo com a NBR NM 30 (ABNT, 2001); determinação da composição granulométrica, conforme a NBR NM 248 (ABNT, 2003); determinação do teor de argila, conforme a NBR 7218 (ABNT, 2010); e determinação do teor de material pulverulento, conforme a NBR NM 46 (ABNT, 2003).

### 3.3 DETERMINAÇÃO DAS PASTAS DE CIMENTO

A determinação das pastas de cimento foi realizada utilizando um traço piloto, baseado no traço de Martins (2009), responsável por estabelecer parâmetros capazes de fixar o estudo como argamassa autonivelante, e modificado para os materiais utilizados nesta pesquisa.

Nestes traços foram realizados ensaios no estado fresco das pastas para determinar a trabalhabilidade e avaliar a pasta cimentícia, observando principalmente a fluidez e coesão. Para isso, foi utilizado o cilindro espanhol (Figura 8), também utilizado por Martins (2009) e criado por um grupo de pesquisadores e profissionais na cidade de Valência. Este equipamento não é normatizado no Brasil, por isso podem haver divergências quanto às especificações e medidas.

Figura 8 – Cilindro Espanhol utilizado no ensaio



Fonte: Autores (2021).

O ensaio consiste na ocupação de todo o cilindro com a pasta cimentícia, utilizando o cronômetro para quantificar o tempo de escoamento do material através de uma abertura no fundo do recipiente. Após o escoamento total, realiza-se a medida do espalhamento na superfície. Estes são os parâmetros utilizados para definir uma pasta cimentícia autonivelante com qualidade de boa fluidez e coesão.

A próxima etapa dos estudos no estado fresco da argamassa autonivelante buscou identificar o tempo de pega através da curva de calor. Para isso, utilizou-se o calorímetro semi-adiabático mostrado na Figura 9, utilizando como base as diretrizes da NBR 12006 (ABNT, 1990) para avaliação do calor de hidratação.

Figura 9 – Calorímetro Semi-adiabático



Fonte: Autores (2021).

O traço padrão preliminar foi desenvolvido com o objetivo de observar as proporções iniciais dos materiais constituintes, conhecendo o comportamento e influência de cada material no traço. Posteriormente à apresentação dos resultados do traço preliminar, foram feitas análises com ajustes sobre alguns teores dos materiais constituintes, que serviram de alicerce para a próxima etapa.

### 3.4 ENSAIOS EM ARGAMASSA NO ESTADO FRESCO

A argamassa autonivelante no estado fresco deve apresentar algumas propriedades que reflitam no estado endurecido, no entanto alguma delas são imprescindíveis para definir ou caracterizar o seu poder de nivelamento. No presente trabalho, estabelecemos alguns métodos para elencar a sua efetividade: teor de ar e densidade no estado fresco, funil V e tempo de pega.

As normas brasileiras não apresentam nenhuma padronização enquanto aos ensaios de argamassas autonivelantes, então, utilizou-se normas concomitantes para realização dos ensaios. Essas normas já são utilizadas para argamassas comuns e concreto autoadensável e foram adaptadas para este trabalho.

A determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado, baseou-se através da NBR 13278 (ABNT, 2005), utilizada para argamassas para assentamento e revestimentos de tetos e paredes.

Para a determinação da fluidez da argamassa, adaptou-se o ensaio preconizado pela a NBR 15823-2 (ABNT, 2017), utilizada para concreto autoadensável com o intuito de

determinação o espalhamento, o tempo de escoamento e o índice de estabilidade visual através do método do cone de Abrams (Figura 10).

Figura 10 – Cone para espalhamento



Fonte: Autores (2021).

Preencheu-se o cone com argamassa autonivelante até o topo, logo após, retirou-se o cone e esperou a argamassa autonivelante adensar-se sobre a placa metálica umedecida. Após isso, mediu-se em três pontos equidistantes o diâmetro da argamassa autonivelante.

Para caracterização do ensaio da determinação de viscosidade da argamassa autonivelante, utilizou-se como base a NBR 15823-5 (ABNT, 2017), também utilizada para concreto autoadensável, que descreve o método do funil V. O funil V utilizado é mostrado na Figura 11.

Figura 11 – Funil V



Fonte: Autores (2021).

Iniciou-se com a limpeza e umedecimento do funil V com água para que o recipiente metálico não absorva à água da argamassa autonivelante, seguindo com o preenchimento total do funil V de forma uniforme. Após, foi realizada a abertura da comporta e cronometrado o tempo que a argamassa autonivelante leva para escoar.

### 3.5 ENSAIOS EM ARGAMASSA NO ESTADO ENDURECIDO

Para o estado endurecido, foram realizados alguns ensaios com o objetivo de comprovar as características necessárias para ter uma argamassa autonivelante com propriedades significativas, representando os bons desempenhos no estado fresco. Foram realizados ensaios de resistência à compressão axial, determinação da variação dimensional, resistência de aderência à tração, resistência da tração na flexão e absorção.

A determinação da resistência à tração na flexão e à compressão foram ensaios adaptados da NBR 13279 (ABNT, 2005), que determina o método utilizado para argamassas para assentamento e revestimentos de paredes e tetos. Moldou-se nove corpos de prova prismáticos com dimensões de 4 cm x 4 cm x 16 cm para os ensaios de resistência à tração da flexão, imediatamente após o preparo da argamassa autonivelante, desferindo pequenas batidas ao redor do prisma. Já para compressão, moldou-se nove corpos de provas cilíndricos com dimensões de 5 cm x 10 cm também logo após o preparo da argamassa. As formas preenchidas pelas amostras estão representadas pela Figura 12. Para o rompimento considerou-se 3 corpos de provas prismáticos e cilíndricos para cada idade: 24 horas, 3 dias e 7 dias.

Figura 12 – Formas para moldagem



Fonte: Autores (2021).

Para a variação dimensional, baseou-se no método da NBR 15261 (ABNT, 2005), também utilizada para argamassas para assentamento e revestimentos de paredes e tetos.

Moldou-se 3 corpos de provas prismáticos com dimensões 2,5cm x 2,5cm x 28,5cm. Após a cura das peças, avaliou-se as dimensões pelo equipamento apresentado na Figura 13, com 3 idades, sendo estas 24 horas, 7 dias e 28 dias.

Figura 13 – Aparelho variação dimensional



Fonte: Autores (2021).

Os ensaios de determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica foram realizados seguindo a NBR 9778 (ABNT, 2005), utilizado para argamassa e concreto endurecido. Foram utilizados os corpos de provas ensaiados para determinação da resistência à tração na flexão, contendo duas amostras com quantidade mínima de material de 150 cm<sup>3</sup>. Para realizar o ensaio, secou-se o corpo de prova em estufa com temperatura de 105°C por 72 horas, determinando sua condição seca. Para sua condição saturada imersa em água manteve-se por 72 horas as amostras submersas em água com temperatura de 23°C. Após completar a etapa de saturação, submeteu-se a água progressivamente ao seu estado de ebulição, sendo mantida por 5 horas em banho térmico à temperatura de 100°C. Após este processo, esperou-se até que a água tornasse à temperatura ambiente, então determinou-se a massa das amostras na condição saturada com superfície seca.

A determinação da resistência de aderência à tração utilizou-se como suporte a NBR 13528 (ABNT, 2019), utilizado para revestimento de paredes de argamassas inorgânicas. O aparelho utilizado está apresentado na Figura 14.

Figura 14 – Aparelho de arrancamento



Fonte: Autores (2021).

Após a realização dos ensaios no estado fresco e endurecido, citados anteriormente, moldou-se um substrato para o traço que apresentou melhor desempenho, com dez pontos a fim de quantificar a resistência de aderência à tração da argamassa autonivelante presente neste trabalho. Dotou-se de dez pastilhas com seção circular de 50mm acopladas ao equipamento de arrancamento demonstrado na figura 14, responsável por medir a carga aplicada no corpo de prova. As pastilhas foram coladas com cola a base de resina epóxi, apresentando propriedades mecânicas compatíveis com o sistema em ensaio.

## 4 MATERIAIS

Este capítulo descreve os materiais utilizados no desenvolvimento deste trabalho, assim como suas propriedades.

### 4.1 CIMENTO PORTLAND

O cimento utilizado no presente trabalho foi o CP V ARI – 32, que possibilita uma alta resistência inicial, característica importante para argamassa autonivelante. As características físicas e químicas devem estar de acordo com a NBR 16697 (ABNT, 2018), como demonstram as Tabelas 1 e 2 a seguir.

Tabela 1 – Composição química do cimento utilizado nos ensaios.

| Propriedade                    | Média (%) | Desvio Padrão | Min   | Max   |
|--------------------------------|-----------|---------------|-------|-------|
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 4,39      | 0,09          | 4,24  | 4,53  |
| SiO <sub>2</sub>               | 19,01     | 0,23          | 18,61 | 19,39 |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 2,88      | 0,17          | 2,65  | 3,22  |
| CaO                            | 61,92     | 1,01          | 60,81 | 63,84 |
| MgO                            | 3,55      | 0,72          | 2,41  | 4,30  |
| SO <sub>3</sub>                | 2,69      | 0,04          | 2,63  | 2,77  |
| Perda Fogo                     | 3,78      | 0,12          | 3,53  | 3,94  |
| CaO Livre                      | 1,59      | 0,37          | 0,95  | 1,99  |
| Resíduos Insolúveis            | 0,78      | 0,12          | 0,60  | 0,99  |
| Equivalente Alcalino           | 0,66      | 0,03          | 0,61  | 0,70  |

Fonte: Itambé Cimentos (2021).

Tabela 2 – Características físicas do cimento utilizado nos ensaios.

| Propriedade              | Unidade | Média              | Desvio Padrão | Min  | Max    |
|--------------------------|---------|--------------------|---------------|------|--------|
| Consistência Normal      | %       | 29,3               | 0,6           | 28,4 | 30,4   |
| Expansibilidade Quente   | mm      | 0,4                | 0,4           | 0,0  | 1,0    |
| Tempo de Pega            | Início  | min                | 181,0         | 15,0 | 160,0  |
|                          | Fim     | min                | 242,0         | 17,0 | 210,0  |
| Finura                   | Blaine  | cm <sup>2</sup> /g | 4386,0        | 40,0 | 4340,0 |
|                          | # 200   | %                  | 0,1           | 0,1  | 0,3    |
|                          | # 325   | %                  | 0,8           | 0,6  | 1,9    |
| Resistência à Compressão | 1 dia   | MPa                | 23,5          | 0,4  | 22,9   |
|                          | 3 dias  | MPa                | 37,9          | 0,8  | 36,6   |
|                          | 7 dias  | MPa                | 44,3          | 0,7  | 43,6   |
|                          | 28 dias | MPa                | 52,6          | 1,3  | 51,0   |

Fonte: Adaptado de Itambé Cimentos (2021).

## 4.2 ÁGUA

A água utilizada é proveniente da cidade de Tubarão/SC onde localiza-se o Laboratório de Engenharia Civil (LEC), fornecida pela Tubarão Saneamento S.A.

## 4.3 ADITIVO

Para o desenvolvimento deste trabalho, foi introduzido na argamassa autonivelante o aditivo TECFLOW 8000, fabricado pela empresa GCP *Applied Technologies*, sendo um aditivo de alta eficiência, desenvolvido para concretos autoadensáveis, proporcionando trabalhabilidade por elevados períodos e obtenção de altas resistências iniciais e finais. As propriedades deste aditivo se encontram na Tabela 3.

Tabela 3 – Propriedades do aditivo TECFLOW 8000

| Propriedades        | Especificação | Unidades          |
|---------------------|---------------|-------------------|
| Coloração           | Alaranjado    | -                 |
| Massa específica    | 1,080 – 1,120 | g/cm <sup>3</sup> |
| Dosagem recomendada | 0,3 a 2       | %                 |

Fonte: GCP Applied Technologies (2021).

## 4.4 AGREGADOS

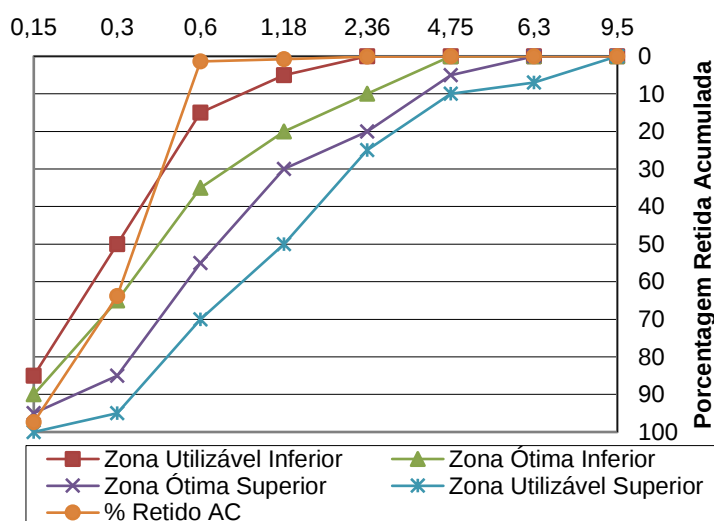
A areia fina, agregado utilizado no presente trabalho, é proveniente de uma jazida em Imbituba/SC e foi cedida pela empresa Traço Forte Concretos, no mesmo município. Suas características físicas foram determinadas em laboratório e estão representadas na Tabela 4. A Figura 15 representa a curva granulométrica da areia.

Tabela 4 – Características físicas da areia utilizada.

| Propriedades                                   | Unidades          | Areia Fina | Parâmetros da NBR 7211 |
|------------------------------------------------|-------------------|------------|------------------------|
| Módulo de Finura                               | -                 | 1,63       | 1,55 – 2,20            |
| Dimensão Máxima                                | mm                | 0,6        | Não especificado       |
| Massa Unitária em Estado Solto                 | kg/m <sup>3</sup> | 1532       | Não especificado       |
| Teor de Material Pulverulento                  | %                 | 0,5        | ≤ 3                    |
| Impurezas Orgânicas e Húmicas                  | ppm               | < 300      | < 300                  |
| Teor de Argila em Torrões e Materiais Friáveis | %                 | -          | ≤ 3                    |
| Massa Específica Aparente                      | g/cm <sup>3</sup> | 2,65       | Não especificado       |
| Absorção                                       | %                 | 0,21       | Não especificado       |

Fonte: Autores (2021).

Figura 15 – Curva granulométrica da areia fina utilizada como agregado



Fonte: Autores (2021).

Através da curva granulométrica, obteve-se a distribuição das dimensões dos grãos do agregado miúdo utilizado, assim possibilitando a determinação geral de suas características físicas quanto ao tamanho de suas partículas.

#### 4.5 ADIÇÕES

Como adição, utilizou-se o fíler de calcário proveniente da cidade de Botuverá/SC, em substituição ao aditivo modificador de viscosidade (VMA). O resíduo foi peneirado em laboratório, utilizando a peneira 0,75mm, resultando no fíler, conforme Figura 16. As características químicas e físicas deste material serão apresentadas nas seções 5.1 e 5.2, respectivamente.

Figura 16 – a) Resíduo bruto de calcário; b) Material passante na peneira 1,18mm e retido na 0,75mm; c) Fíler de calcário.



Fonte: Autores (2021).

O calcário empregado foi extraído da empresa Calcário Botuverá LTDA, possui cor acinzentada e origem calcítica, conforme mostra a figura anterior e a análise química mostrada na Tabela 5, no tópico 5.1.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O capítulo em questão tem por objetivo apresentar os resultados alcançados através dos ensaios laboratoriais realizados durante o estudo, discutindo sobre as características observadas da adição do fíler de rocha calcária, e a viabilidade do seu uso como promotor de viscosidade na argamassa autonivelante.

### 5.1 DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA

Para a determinação da composição química do fíler, a amostra foi enviada para o Laboratório de Análises Química da UNISUL campus Tubarão/SC. A composição química está apresentada na Tabela 5.

Tabela 5 – Composição química do fíler

| Elemento                       | Composição |
|--------------------------------|------------|
| CaO                            | 45,91      |
| SiO <sub>2</sub>               | 1,83       |
| K <sub>2</sub> O               | 1,06       |
| Na <sub>2</sub> O              | 1,05       |
| SO <sub>3</sub>                | 0,39       |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,19       |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,15       |

Fonte: Autores (2021).

De acordo com Martins (2018), o fíler de calcário é classificado como um Material Cimentício Suplementar (MCS), logo, sua principal influência em compósitos cimentícios não está ligada à sua composição química, mas ao efeito físico.

### 5.2 DETERMINAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Após a especificação da composição química do fíler, foi feito a caracterização física através da determinação da massa específica, utilizando o frasco de Le Chatelier e da determinação da superfície específica, através do método de Blaine. Os métodos estão descritos no item 3.1. Ambos os ensaios foram realizados três vezes, obtendo-se a média desses valores, os quais são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Resultados da Massa Específica e da Superfície Específica

| Ensaio | Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> ) | Superfície Específica (cm <sup>2</sup> /g) |
|--------|---------------------------------------|--------------------------------------------|
| 1      | 2,79                                  | 8871,23                                    |
| 2      | 2,75                                  | 8845,90                                    |
| 3      | 2,74                                  | 8898,17                                    |
| Média  | 2,76                                  | 8871,77                                    |

Fonte: Autores (2021).

Para que o ensaio de superfície específica seja validado, os valores encontrados para este ensaio entre duas repetições não devem diferir mais do que 1% entre si. Como a maior diferença encontrada foi de 0,59%, os resultados foram aceitos.

### 5.3 ENSAIOS EM PASTA

Inicialmente, foram produzidas várias pastas de cimento contendo diferentes teores de fíler de calcário com o objetivo de promover viscosidade à pasta substituindo o uso do aditivo modificador de viscosidade (VMA). A Tabela 7 apresenta a proporção de materiais utilizados nas pastas de cimento submetidas ao ensaio do cilindro espanhol, as quais obtiveram os melhores resultados.

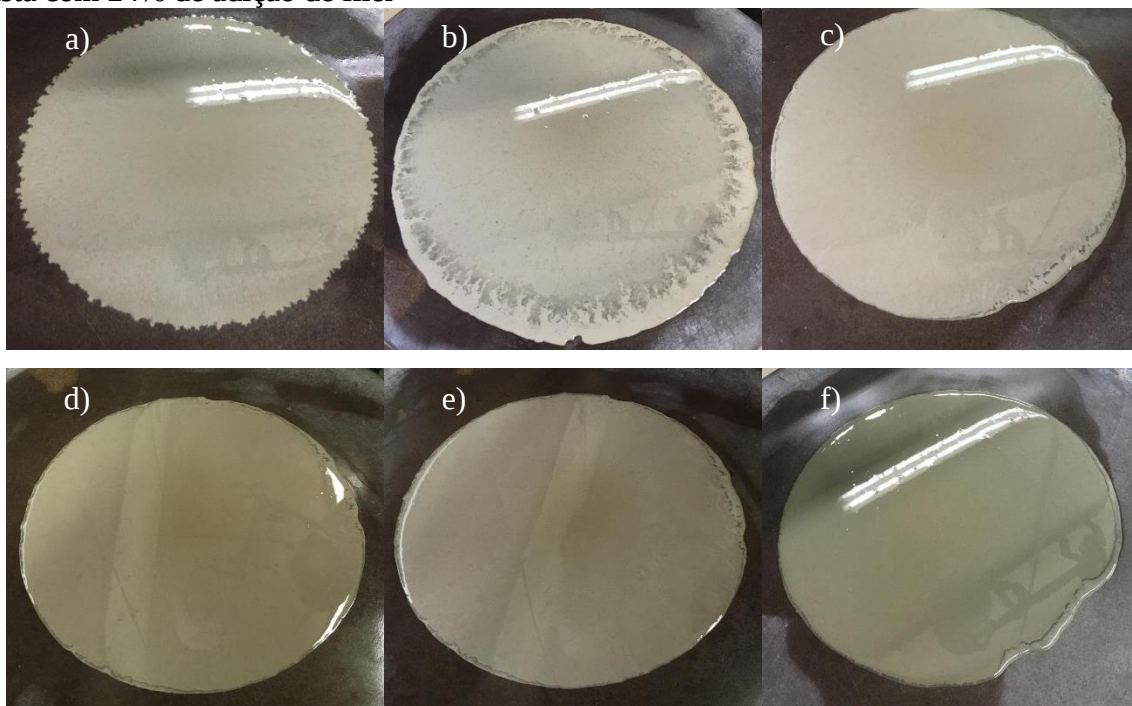
Tabela 7 – Proporção de materiais utilizados nas pastas de cimento

| Material           | 0%   | 16%  | 18%  | 20%  | 22%  | 24%  |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|
| Cimento            | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    |
| Fíler              | 0    | 0,16 | 0,18 | 0,20 | 0,22 | 0,24 |
| Superplastificante | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Água               | 0,3  | 0,3  | 0,3  | 0,3  | 0,3  | 0,3  |

Fonte: Autores (2021).

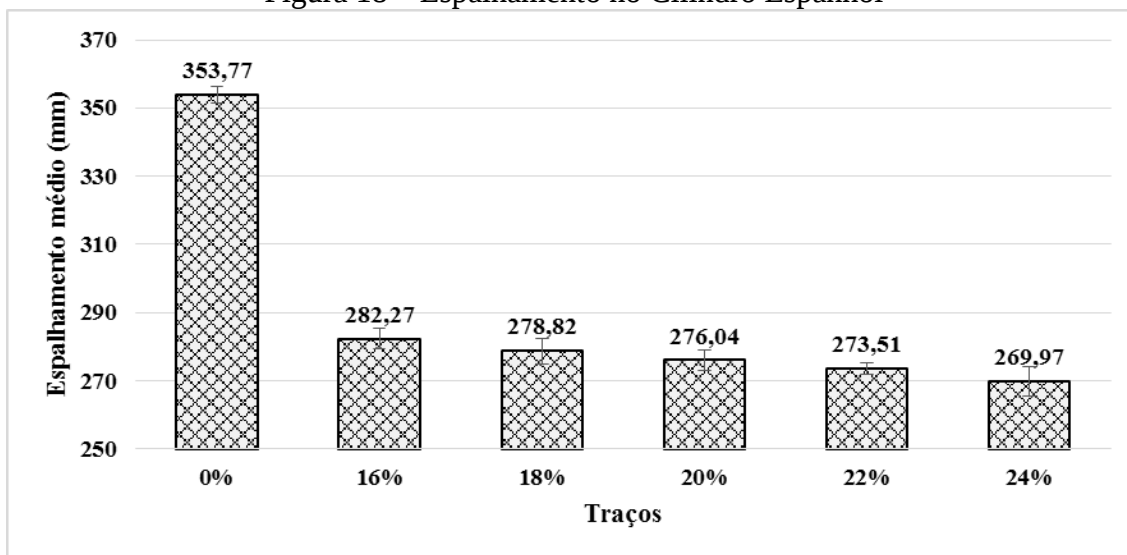
A Figura 17 mostra o espalhamento das cinco pastas que apresentaram os melhores resultados no cilindro espanhol, além da pasta sem o fíler, para fins comparativos. O espalhamento médio das pastas, obtido através da medida de 5 pontos, é exibido na Figura 18.

Figura 17 – a) Pasta sem adição de fíler; b) Pasta com 16% de adição de fíler; c) Pasta com 18% de adição de fíler; d) Pasta com 20% de adição de fíler; e) Pasta com 22% de adição de fíler; f) Pasta com 24% de adição de fíler



Fonte: Autores (2021).

Figura 18 – Espalhamento no Cilindro Espanhol



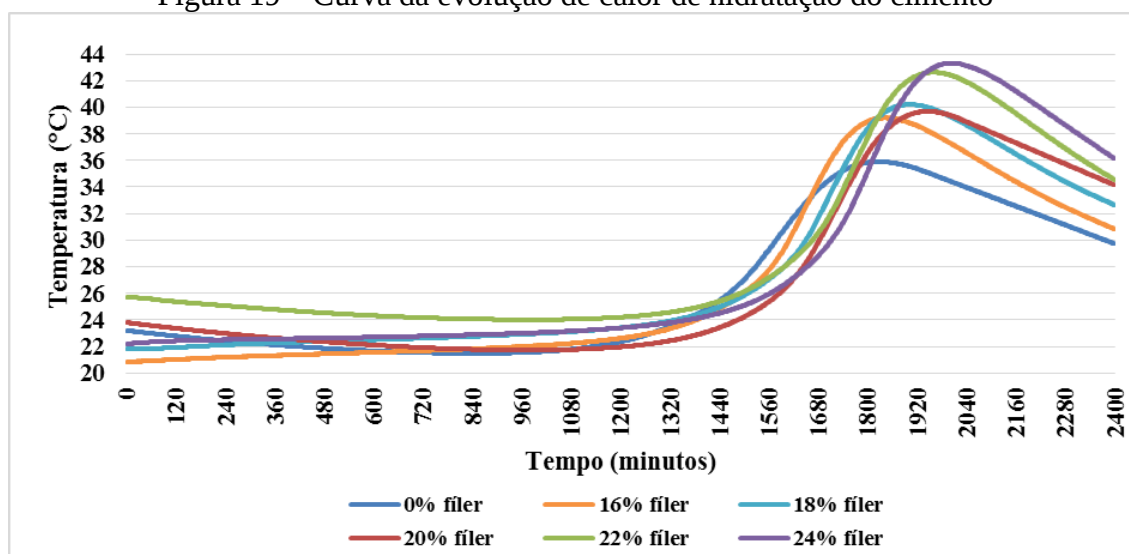
Fonte: Autores (2021).

Ao analisar as imagens e os valores obtidos do espalhamento no cilindro espanhol, percebe-se que a pasta com 0% de adição de fíler ficou muito fluída, apresentando bordas desuniformes e um elevado espalhamento, não se enquadrando nos valores de 25 a 35 cm, propostos como ideais por Martins (2009).

Os demais teores ficaram dentro dos parâmetros de espalhamento estabelecidos, não apresentando segregação e as bordas ficaram uniformes. A pasta com 24% de fíler apresentou borda desuniforme devido ao ressecamento da placa, já que, por conta da maior viscosidade, a pasta levou mais tempo para espalhar.

Outra propriedade considerada importante para ser avaliado foi o tempo de pega das pastas contendo os diferentes teores de fíler. Esta propriedade foi investigada através do ensaio de calorimetria semi-adiabática. A Figura 19 mostra esses resultados.

Figura 19 – Curva da evolução de calor de hidratação do cimento



Fonte: Autores (2021).

As pastas foram confeccionadas com as mesmas quantidades de cimento e aditivo, variando apenas a adição de fíler de calcário, mantendo a metodologia utilizada de mistura da argamassa autonivelante. Para todas as amostras foi percebido um fluxo inicial constante, como pode ser observado na figura anterior, sendo que a amostra sem o fíler de calcário apresentou uma liberação de calor maior nos minutos iniciais.

Ao analisar as curvas da evolução de calor de hidratação do cimento, percebe-se que o início de pega das amostras com 22% e 24% foram prematuras quando comparadas com as demais amostras, sendo o seu fim de pega, o pico do gráfico. Para Mindess et al. (2002) o início da pega é considerado quando a curva começa a crescer de maneira exponencial, e o seu pico na mesma curva é considerado o fim da pega, logo após, é visto o período de dormência da pasta.

Com isso, as amostras com maior índice de adição de fíler tiveram temperaturas mais elevadas, enquanto as com menores adições de fíler levaram mais tempo para começar o processo da pega. Como explica, Schankoski (2017), a presença de fíler gnaiss aumenta o grau

de hidratação do aglomerante em comparação apenas com as pastas de cimento, indicando assim, uma aceleração na hidratação do cimento.

#### 5.4 ENSAIOS NO ESTADO FRESCO

A partir dos ensaios nas pastas, desenvolveu-se os traços das argamassas com adição do fíler de calcário. Como todos os teores de adição na pasta apresentaram valores semelhantes, foram suprimidos os teores de 18% e 22%. Logo, foram desenvolvidos quatro traços, os quais estão exibidos na Tabela 8.

Tabela 8 – Proporção de materiais utilizados nas pastas de cimento

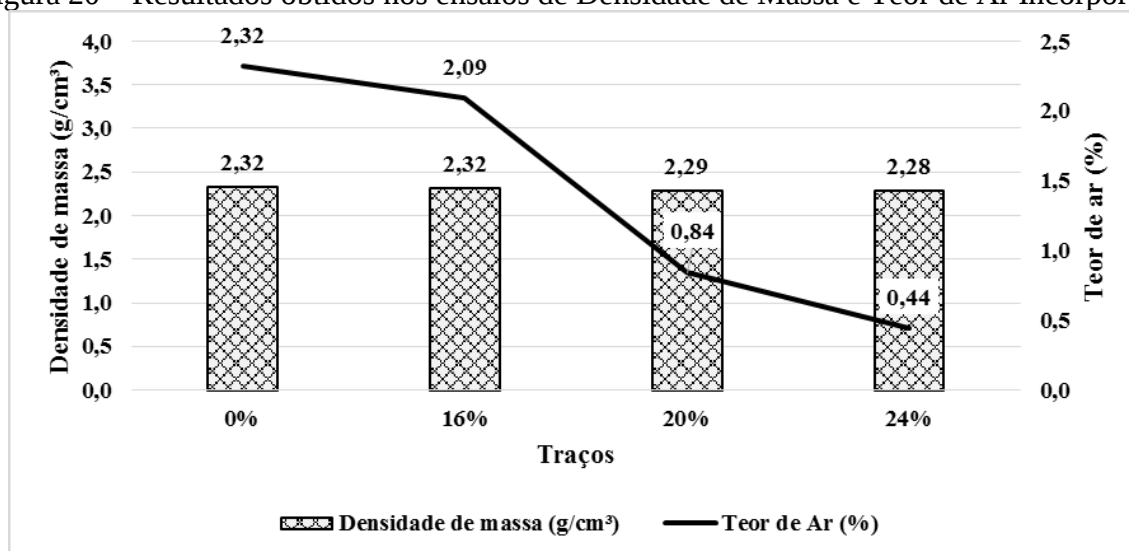
| <b>Material</b>    | <b>0</b> | <b>16%</b> | <b>20%</b> | <b>24%</b> |
|--------------------|----------|------------|------------|------------|
| Cimento            | 1        | 1          | 1          | 1          |
| Areia fina         | 1,5      | 1,34       | 1,3        | 1,26       |
| Fíler              | 0        | 0,16       | 0,20       | 0,24       |
| Superplastificante | 0,01     | 0,01       | 0,01       | 0,01       |
| Água               | 0,3      | 0,3        | 0,3        | 0,3        |

Fonte: Autores (2021).

O preparo da mistura para a realização dos ensaios seguiu as diretrizes apresentadas na NBR 16541 (ABNT, 2016).

Conforme descrito no item 3.4, o primeiro ensaio realizado visou a determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado, adaptado de acordo com a NBR 13278 (ABNT, 2005), em que os resultados estão expressados na Figura 20. Então, foi realizado o ensaio de espalhamento, utilizando o mini slump, tendo como base a NBR 15823-2 (ABNT, 2017), com o objetivo de determinar a fluidez da argamassa. Por fim, para a especificação da viscosidade utilizou-se o método do funil V, de acordo com a NBR 15823-5 (ABNT, 2010). A Figura 21 apresenta a média de espalhamento, obtida da medida de três pontos, bem como os tempos de escoamento da argamassa no ensaio do funil V.

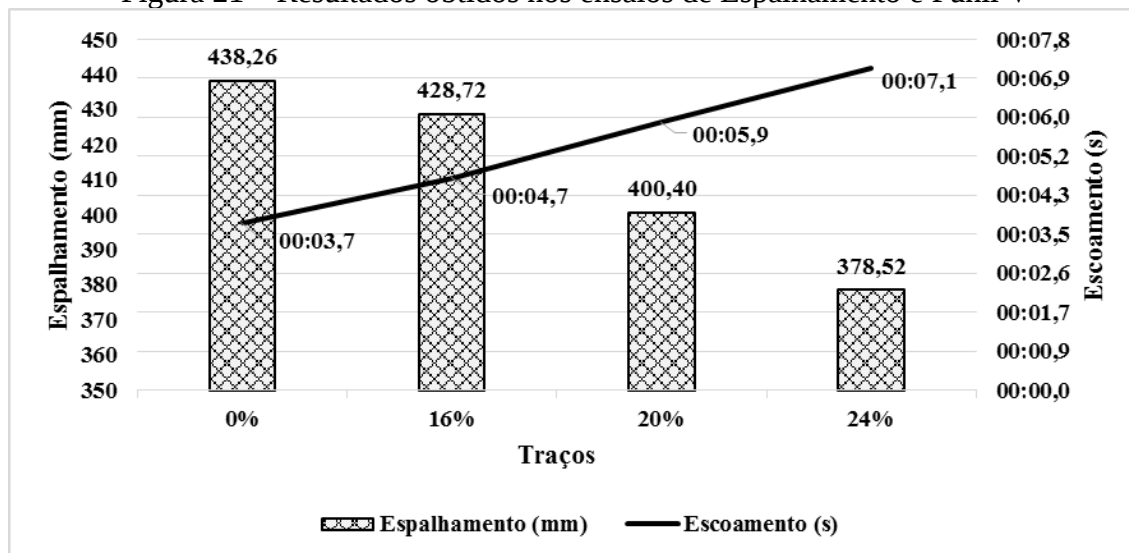
Figura 20 – Resultados obtidos nos ensaios de Densidade de Massa e Teor de Ar Incorporado



Fonte: Autores (2021).

Ao analisar o gráfico da Figura 20, observa-se a tendência à redução do ar incorporado conforme o aumento da quantidade de fíler no traço. Quanto à densidade de massa, a quantidade de fíler não interfere significativamente no valor, apresentando uma pequena diminuição com o aumento do teor de material no traço.

Figura 21 – Resultados obtidos nos ensaios de Espalhamento e Funil V



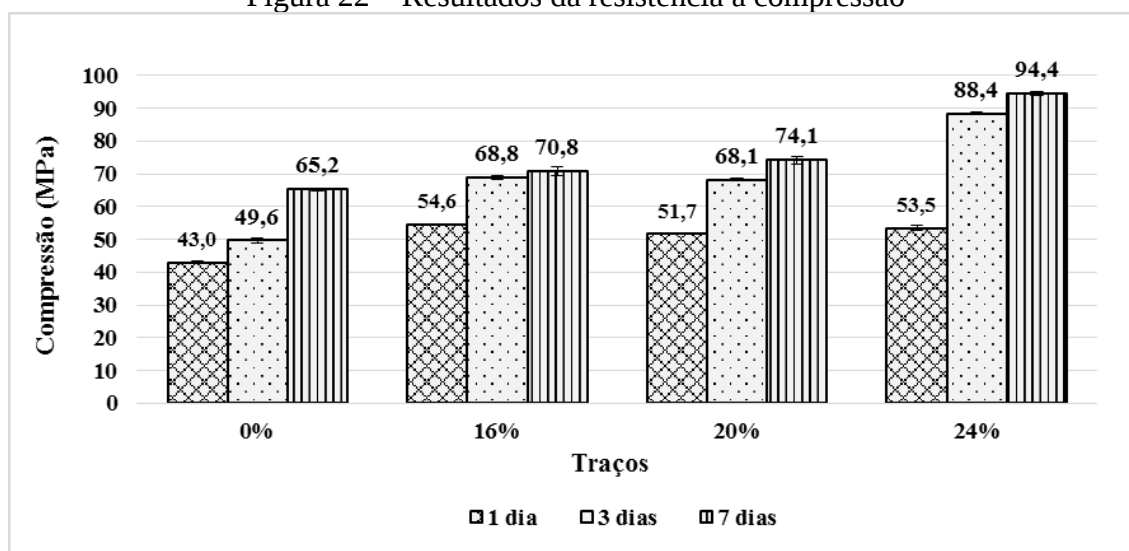
Fonte: Autores (2021).

Através do gráfico da Figura 21, pode-se observar que a adição do fíler de calcário provocou uma diminuição na fluidez da argamassa, já que, quanto maior a quantidade de fíler na composição, menor foi o espalhamento. Além disso, pode-se observar que, quanto maior a porcentagem de fíler no traço, maior é o tempo de escoamento, logo, pode-se afirmar que o material promoveu viscosidade à argamassa.

## 5.5 ENSAIOS NO ESTADO ENDURECIDO

Para a análise do desempenho no estado endurecido, foram realizados os ensaios para determinação da resistência à tração na flexão e à compressão, adaptados da NBR 13279 (ABNT, 2005). Para estes ensaios, os corpos de prova foram submetidos ao processo de cura em banho térmico com temperatura regulada em 23°C, conforme estabelecido na NBR 5738 (ABNT, 2016). Após este processo, as amostras submetidas ao ensaio de resistência à compressão foram preparadas, tendo suas faces retificadas, a fim de tornar os resultados mais precisos e confiáveis. Os referidos ensaios foram realizados com as idades de 24 horas, 3 e 7 dias. Os resultados da resistência à compressão são apresentados na Figura 22.

Figura 22 – Resultados da resistência à compressão



Fonte: Autores (2021).

Como pode-se observar na Figura 22, dentre as amostras rompidas 24 horas após a moldagem, o traço com 16% de adição obteve o melhor resultado, 54,6 MPa. Após 3 dias, todos os traços apresentaram um crescimento razoável de resistência, entretanto, o traço com 24% de adição apresentou um ganho muito significativo de resistência, atingindo 88,4 MPa, resistência que superou os demais traços, mesmo após 7 dias.

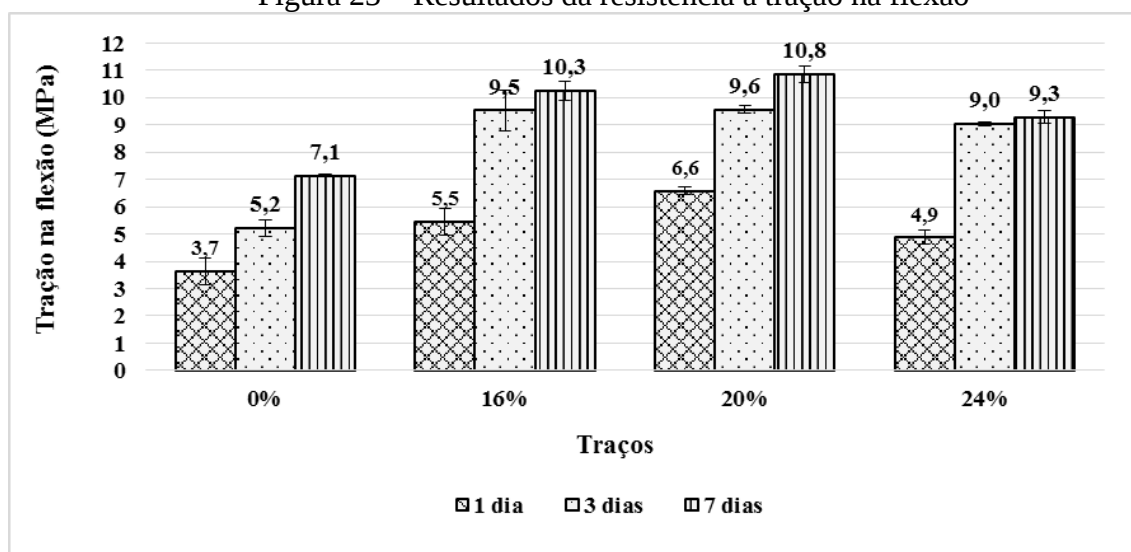
Como era o esperado, todos os traços ganharam resistência com o aumento da idade. Nota-se que, com 7 dias, a resistência dos traços aumenta proporcionalmente com a adição de fíler na argamassa, logo, pode-se presumir que o fíler interfere positivamente na resistência à compressão.

Visando uma maior produtividade e ganho de tempo, é essencial que a argamassa apresente uma elevada resistência inicial, para que, após 24 horas da sua aplicação, suporte o tráfego de pessoas e equipamentos leves.

De acordo com a NBR 11801 (ABNT, 2012), as argamassas de alta resistência mecânica para pisos devem possuir resistência à compressão simples maior que 40 MPa, logo, mesmo com a idade de 24 horas, todos os teores se enquadram nesse parâmetro.

Na Figura 23 estão apresentados os resultados da resistência à tração na flexão.

Figura 23 – Resultados da resistência à tração na flexão

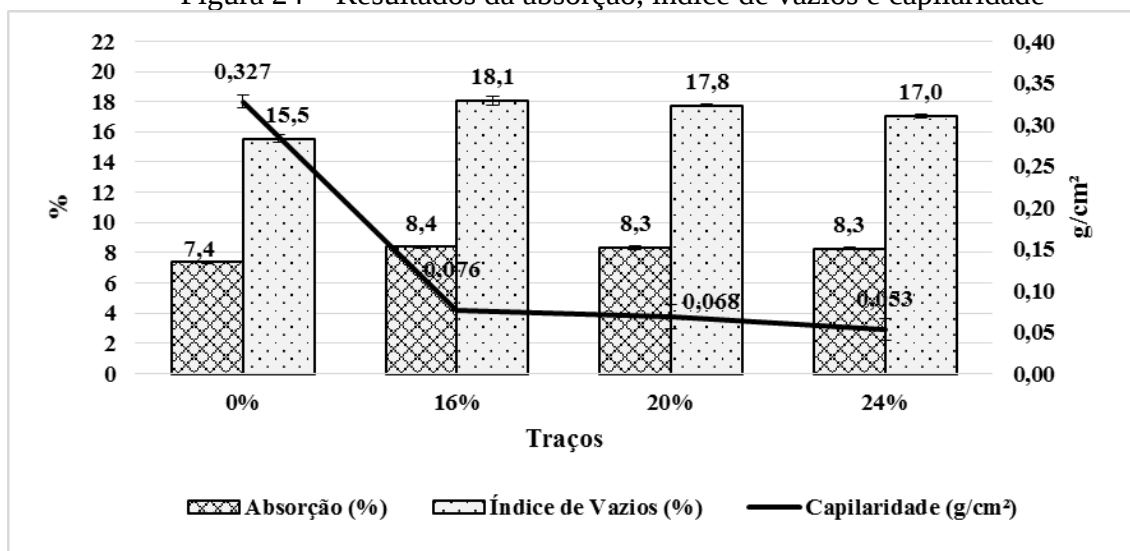


Fonte: Autores (2021).

Ao analisar o gráfico da resistência à tração na flexão, percebe-se que todas as argamassas apresentaram ganho de resistência com o aumento de idade. Entretanto, a argamassa com 24% de adição de fíler apresentou uma menor resistência, quando comparada aos demais teores, mostrando que a adição de fíler promoveu ganho de resistência à tração na flexão até determinado teor, sendo 20% neste caso.

Na Figura 24 são apresentados os valores de absorção, índice de vazios e capilaridade.

Figura 24 – Resultados da absorção, índice de vazios e capilaridade



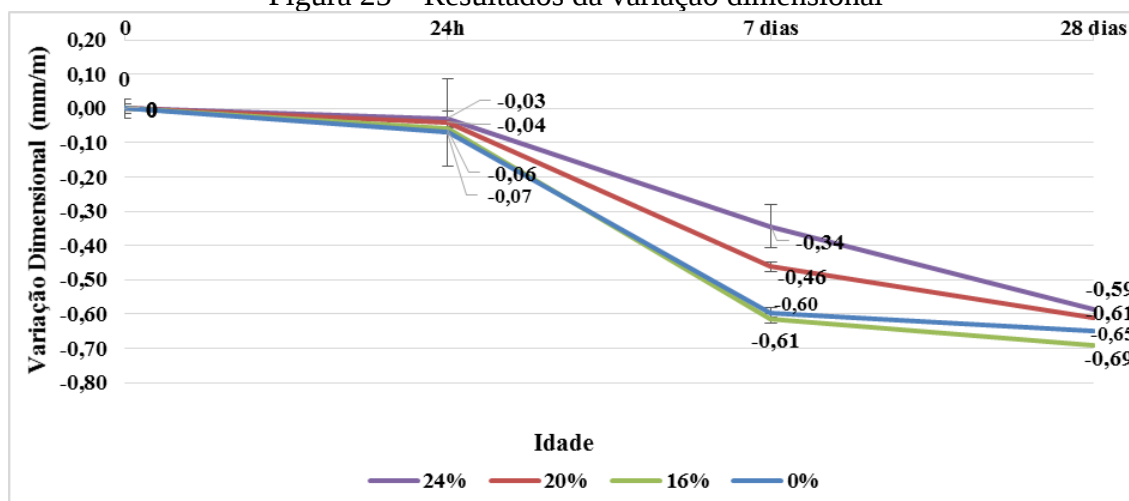
Fonte: Autores (2021).

Ao analisar os valores, pode-se perceber que quanto maior a quantidade de finos, melhores são os resultados, indicando uma menor quantidade de vazios, conforme já havia mostrado o ensaio do teor de ar, no estado fresco.

Segundo Chaves (2019), as argamassas que apresentam alta resistência mecânica, normalmente possuem uma microestrutura pouco porosa, logo, tendem a ser mais resistentes a agentes agressivos externos, os quais geram degradação no material. Sendo assim, correlacionando os índices de vazios com as resistências à compressão, valida-se a afirmação do autor citado.

Quanto ao ensaio da variação dimensional, na Figura 25 são apresentados os resultados obtidos.

Figura 25 – Resultados da variação dimensional



Fonte: Autores (2021)

No estudo da variação dimensional linear das argamassas, analisa-se que os valores obtidos no ensaio são negativos, indicando retração. Como a argamassa desenvolvida não apresentava nenhum componente que pudesse ocasionar expansão, já era o esperado a retração das amostras.

Com 24 horas de ensaio, ocorre uma pequena retração em todas as argamassas. Já com 7 dias, há um aumento significativo da retração. Entre as idades de 7 e 28 dias, a retração aumenta de forma menos acentuada. A intensidade da retração pode ser explicada pela redução das pressões capilares, já que os poros tendem a perder água para o ambiente externo, e com o passar dos dias, a retração por secagem diminui.

Os traços com 0% e 16% de adição de finos apresentaram uma maior retração em todas as idades. Segundo Scolaro (2020), quando a argamassa apresenta distribuição de tamanho de poros semelhantes, quanto maior a porosidade, mais o material retrainá.

Após analisar todos os resultados, verificou-se que, no geral, a argamassa que apresentou o melhor desempenho, tanto no estado fresco, como no estado endurecido, foi a argamassa com 20% de adição de filer de calcário. Então, moldou-se um substrato com este traço para a realização do ensaio da resistência de aderência à tração, conforme Figura 26.

Figura 26 – Ensaio de resistência de aderência à tração no traço com 20% de adição de filer



Fonte: Autores (2021).

Na Tabela 9 estão expressos os resultados obtidos através do ensaio de resistência de aderência à tração.

Tabela 9 – Resultados de aderência à tração

| <b>Amostra</b>       | <b>Área (mm<sup>2</sup>)</b> | <b>Carga Máxima (N)</b> | <b>Ruptura (%)</b> | <b>Forma de Ruptura</b> | <b>Tensão de Ruptura (MPa)</b> |
|----------------------|------------------------------|-------------------------|--------------------|-------------------------|--------------------------------|
| 1                    | 1963,5                       | 3920                    | 85                 | AS*                     | 2,00                           |
| 2                    | 1963,5                       | 4018                    | 90                 | AS*                     | 2,05                           |
| 3                    | 1963,5                       | 2969                    | 100                | AS*                     | 1,51                           |
| 4                    | 1963,5                       | 3261                    | 95                 | AS*                     | 1,66                           |
| 5                    | 1963,5                       | 4004                    | 90                 | AS*                     | 2,04                           |
| 6                    | 1963,5                       | 3882                    | 100                | AS*                     | 1,98                           |
| 7                    | 1963,5                       | 4077                    | 85                 | AS*                     | 2,08                           |
| 8                    | 1963,5                       | 3257                    | 50                 | AS*                     | 1,66                           |
| 9                    | 1963,5                       | 3549                    | 90                 | AS*                     | 1,81                           |
| 10                   | 1963,5                       | 2918                    | 100                | AS*                     | 1,49                           |
| <b>Tensão Média:</b> |                              |                         |                    |                         | <b>1,83</b>                    |

\* AS indica ruptura na interface argamassa/substrato

Fonte: Autores (2021).

Segundo EFNARC (2001) para pisos cimentícios autonivelantes com substrato de concreto, a resistência de aderência à tração deve apresentar valores acima de 1,0 MPa. Logo, o resultado obtido através do ensaio, 1,83 MPa, ultrapassou este parâmetro, mostrando um ótimo desempenho.

## 6 CONCLUSÃO

O presente trabalho visou investigar a influência do fíler de calcário em argamassas autonivelantes, resíduo proveniente da indústria fornecedora de material para construção civil. Assim, procura-se atender às demandas do setor em acelerar a sua aplicação em contrapisos, já que seu lançamento dispensa o adensamento e nivelamento, tornando um produto com custo-benefício maior do que a argamassa aplicada convencionalmente.

Através dos ensaios laboratoriais realizados, foi possível verificar a influência do fíler de calcário nas propriedades reológicas e no estado endurecido, melhorando essas características quando adicionado às argamassas autonivelantes.

O uso do fíler de calcário proporcionou melhores resultados mecânicos de maneira geral, apresentando maiores resistências à compressão axial nas primeiras idades, essencial para este sistema de contrapiso, adequando-se a NBR 11801 (ABNT, 2012), que trata de argamassas de alto desempenho mecânico. No que se refere aos resultados dos ensaios no estado fresco e endurecido, a argamassa autonivelante com adição de 20% de fíler apresentou melhor desempenho. Dessa forma, foi validada a sua resistência de aderência à tração, demonstrando ótimo desempenho quando comparado aos resultados de outros autores.

Desta maneira, pode-se afirmar que os objetivos propostos no presente trabalho foram alcançados, visto que os ensaios realizados para avaliação do uso de fíler de calcário em argamassas autonivelantes foram capazes de demonstrar a influência positiva dessa adição na argamassa, não necessitando exclusivamente do uso de aditivo modificador de viscosidade (VMA) para promover sua viscosidade.

Por fim, conclui-se que a utilização do fíler de calcário, atendeu as expectativas necessárias, tanto para o seu uso em argamassa autonivelante, como também para redução da poluição caso esse resíduo fosse descartado no meio ambiente. O grupo de ensaios utilizado mostrou-se capaz de avaliá-los, proporcionando uma análise mais abrangente, visto que no Brasil não existe nenhuma NBR capaz de parametrizar a composição ou aplicação da argamassa autonivelante. Ainda, estes métodos possibilitam que o mercado da construção civil faça uso cada vez mais deste tipo de aplicação de argamassa, substituindo o convencional, ganhando em padronização e aplicabilidade, aumentando assim a produtividade nas obras.

## REFERÊNCIAS

AFAM – ASOCIACIÓN NACIONAL DE FABRICANTES DE MORTERO. **Guía Morteros especiales**. 1ª Edición: Madrid, marzo de 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7218**: Agregados Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11513**: Materiais granulares usados em fundição – Determinação da massa específica pelo uso do frasco volumétrico de “Le Chatelier”. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11768**: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11801**: Argamassa de alta resistência mecânica para pisos - Requisitos. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12006**: Determinação do calor de hidratação pelo método da garrafa de Langavant. Rio de Janeiro, 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12041**: Argamassa de alta resistência mecânica para pisos – Determinação da resistência à compressão simples e à tração por compressão diametral. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13278**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005.

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.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13528**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15261**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos Determinação da variação dimensional (retração ou expansão linear). Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-3**: Edificações habitacionais Desempenho; Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **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. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15823-5:** Concreto autoadensável; Parte 5: Determinação da viscosidade – Método do funil V. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16372:** Cimento Portland e outros materiais em pó Determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (método de Blaine). Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16541:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e teto – Preparo da mistura para realização de ensaios. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697:** Cimento Portland Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248:** Agregados Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 30:** Agregado miúdo Determinação da absorção de água. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45:** Agregados Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 46:** Agregados Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 49:** Agregado miúdo Determinação de impurezas orgânicas. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS ENTIDADES DE PRODUTORES DE AGREGADOS PARA CONSTRUÇÃO – ANEPAC. **Mercado: Perspectivas para o Setor de Agregados.** Disponível em: <<http://www.anepac.org.br/agregados/mercado/item/101-perspectivas-parao-setor-de-agregados>> Acesso: 17 mar. 2021.

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 de Construção Civil. BT/PCC/44. São Paulo: EPUSP, 1991.

BENABED, B.; KADRI, E.; AZZOUZ, L.; KENAI, S.. Properties of self-compacting mortar made with various types of sand. **Cement and Concrete Composites**, [s.l.], v. 34, n. 10, p.1167-1173, nov. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2012.07.007>.

CHAVES, P. S. **Argamassa autonivelante com adição mineral (fíler) de resíduo de beneficiamento de mármore e calcário.** Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará, Brasil, 2019.

EFNARC – EUROPEAN FEDERATION FOR SPECIALIST CONSTRUCTION CHEMICALS AND CONCRETE SYSTEMS. **Specification & guidelines for Polymermodified cementitious flooring as wearing surfaces for industrial and comercial use.** United Kingdom, 2001.

- FELEKOĞLU, B. et al.. **The effect of fly ash and limestone fillers on the viscosity and compressive strength of self-compacting repair mortars.** Cement and Concrete Research. V. 36. pag. 1719-1726, 2006.
- FIESC. **Programa de Desenvolvimento Industrial Catarinense: O que é o Programa.**
- FIESC. **Santa Catarina em Dados.** 24. ed. Florianópolis: Fiesc, 2018.
- FREITAS, E. R. F. de et al. **Estudo das adições e aditivos minerais nas propriedades de argamassas autonivelantes.** In: CONGRESSO NORTE NORDESTE DE PESQUISA E INOVAÇÃO, 5., Maceió, 2010. Anais [...] Maceió, 2010.
- GAMA, H. M. A.. **Desenvolvimento de contrapiso autonivelante com adição de metacaulim, aditivo polifuncional e aditivo modificador de viscosidade.** 2017. 86 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Desenvolvimento de Ensino, Instituto Federal de Sergipe, Aracaju, 2017.
- GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. 5 ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- GOMES, P. C. C. **Optimization and characterization of high-strength selfcompacting concrete.** 2002. 139p. Tese – Escola Tècnica Superior D'Enginyers de Caminus, Universitat Politècnica de Catalunya, Catalúnya, 2002.
- HARTMANN, C. et al. Aditivos Químicos para Concretos e Cimentos. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.). **Concreto: ciência e tecnologia.** São Paulo: IBRACON, 2011. p. 347-380.
- IRKI, I.; DEBIEB, F.; OUZADID, S.; DILMI, H. L.; SETTARI, C.; BOUKHELKHEL, D..Effect of Blaine fineness of recycling brick powder replacing cementitious materials in self compacting mortar. **Journal Of Adhesion Science And Technology**, [s.l.], v. 32, n. 9, p.963-975, 6 nov. 2017. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/01694243.2017.1393202>.
- KATSIADRAMIS, N. J.; SrubiOTIROPOULOU, A. B.; PANDERMARAKIS, Z. G.. Rheological and Mechanical Response Modifications for a Self-Leveling Mortar. **Epj Web Of Conferences**, Athens, p.1-7, jun. 2010.
- LESSA, F.; COUTINHO, M. **Weber Saint-Gobain.** Anais. X SBTA - Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassa. Anais... Fortaleza, 2013.
- MANRICH, S.; PESSAN, L. A.; **Reologia: conceitos básicos.** São Carlos: Gráfica UFSCar,1987.
- MARTINS, E. J.. **Procedimento para dosagem de pastas para argamassa auto-nivelante.** 2009. 139 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.
- MARTINS, Monica Menegaz. **Investigação da influência do uso de materiais cimentícios suplementares em substituição parcial ao cimento Portland.** 2018. 79 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Sul de Santa Catarina - UNISUL, Tubarão, 2018.
- METHA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedade e materiais.** São Paulo: Ed. Ibracon, 2014.
- MINDESS S., YOUNG J.F., DARWIN D. Concrete. 2nd edition. Prentice Hall, 2002. 644 p.
- NAKAKURA, E. H.; BUCHER, H. R. E. **Pisos auto-nivelantes.** Propriedades e Instalações. II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Salvador, 1997.
- NEVILLE, Adam M. Tad. S. G. **Propriedades do Concreto.** São Paulo, PINI, 1982.

- NUNES, S.; MATOS, A. M.; DUARTE, T.; FIGUEIRAS, H.; COUTINHO, J. S.. Mixture design of self-compacting glass mortar. **Cement and Concrete Composites**, [s.l.], v. 43, p.1-11, out. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2013.05.009>.
- RAUEN, F. J. **Roteiros de Pesquisa**. 1 Ed. Rio do Sul. Editora Nova Era, 2006.
- REVISTA INDUSTRIALIZAR EM CONCRETO. São Paulo: ABCIC, v. 1, n. 3, dez. 2014. Anual.
- 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.
- ROMANO, R. C. O.; CARDOSO, F. A.; PILEGGI, R. G. Propriedades do concreto no estado fresco. In: **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações**. Organizador: ISAIA, G. C. IBRACON, 1 ed., vol. 1, 2011.
- RUBIN, A. P. **Argamassas autonivelantes industrializadas para contrapiso: análise do desempenho físico-mecânico frente às argamassas dosadas em obra**. Dissertação 99 (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Porto Alegre - RS, 2015.
- SCHAEFER, C. O. **Valorização de fonte alternativa de sulfato de cálcio para a produção de argamassas autonivelantes**. 2013. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.
- SCHANKOSKI, R. A.. **Estudo de concreto autoadensável contendo fíler de britagem: características das partículas, floculação e reologia**. 2017. 346 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.
- SCOLARO, T. P.. **Influência de diferentes fíleres nas propriedades mecânicas e na retração de argamassas autonivelantes**. 2020. 144 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2020.
- SOUZA, N. C. **Análise de desempenho do contrapiso autonivelante em relação ao sistema convencional**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em construção civil. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2013.
- TUTIKAN, B. F.; DAL MOLIN, D. C. **Concreto auto-adensável**. Ed. PINI, São Paulo, 2008.
- TUTIKIAN, B. F.; DAL MOLIN, D. C.. **Concreto auto-adensável**. 2. ed. São Paulo: Pini, 2015.
- WALLEVIK, O. H.; WALLEVIK, J. E. Rheology as a tool in concrete science: The use of rheographs and workability boxes. **Cement and Concrete Research**, 2011, vol. 41, pp. 1279 - 1288.